



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"ESTUDIO COMPARATIVO DE PROPIEDADES
FISICOQUIMICAS DE 4 POLIMEROS (PET, PP, PVC,
Y HDPE) QUE SE EMPLEAN EN LA ELABORACION DE
BLISTERS PARA ENVASAR EL ACIDO
ACETILSALICILICO (ASPIRINA)."

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
ROGELIO MIGUEL QUIROGA MARIN



MEXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

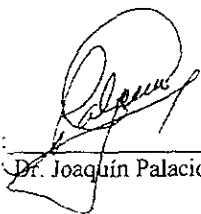
Jurado Asignado

Presidente	Joaquín Palacios Alquisira
Vocal	Berta Lilia Amenyro Flores
Secretario	Rafael Herrera Nájera
1er sup.	Joaquín González Robledo
2do sup.	Eduardo Vivaldo Lima

Lugar donde se desarrolló el tema:

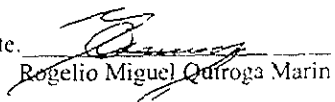
Laboratorio 108, Departamento de Físicoquímica, Edificio D Facultad de Química

Asesor:



Dr. Joaquín Palacios Alquisira

Sustentante:



Rogelio Miguel Quiroga Marín

Dedicatorias

A mi Madre, por su amor, apoyo y paciencia.

A mi Familia.

A Cynthia, a Guillermo, a Takeshi, por ser unas personas tan increíbles.

A los integrantes del mejor equipo en el que he estado... Pilares.

A mis amigos de la Facultad de Química, por su amistad y apoyo.

Y a todas aquellas personas con espíritu progresivo que se han cruzado en mi camino.

La Disciplina nunca es un fin en si mismo. sólo un medio para llegar a ese fin
Robert Fripp.

Agradecimientos

Al Dr. Joaquín Palacios por su tiempo y apoyo.

A la Facultad de Química y a la UNAM.

A Hércules- México por toda la ayuda brindada.

Contenido

	Página
Índice.....	1
Lista de Figuras.....	4
Glosario de Términos.....	5
Capítulo I. Introducción.....	6
1.1 Definición del problema	
1.2 Justificación del problema	
1.3 Hipótesis	
Capítulo II. Objetivos.....	7
2.1 Objetivos Generales	
2.2 Objetivos Particulares	
Capítulo III. Antecedentes.....	8
3.1 Terminología	
3.2 Papel de los materiales para embalaje	
3.3 Criterios para la selección de material	
3.4 Breve Historia de los Envases	
3.5 Empaques de Burbuja	
3.6 Termoformado, Llenado, y Sellado	
Capítulo IV. Generalidades del Proceso de Termoformado ..	16
4.1 Procesos de Transformación	
4.2 Clasificación	
4.3 Definición de Termoformado	
4.3.1 Ventajas y Restricciones	
4.3.2 Aplicaciones Actuales	
4.4 Descripción del Termoformado	
4.4.1 Posicionamiento	
4.4.2 Calentamiento	
4.4.3 Formado	
4.4.4 Enfriado	
4.4.5 Desmoldeo	
4.4.6 Corte del Deperdicio	
4.4.7 Moldes para Termoformado	
4.4.8 Tipos de Procesos	
4.5 Tipos de Máquinas	

Capítulo V. Generalidades de las tabletas de ácido acetilsalicílico.35

- 5.1 Estructura
- 5.2 Propiedades del ácido acetilsalicílico
- 5.3 Excipientes
- 5.4 Reacciones

Capítulo VI. Propiedades de los Polímeros en estudio.39

6.1 Poli(cloruro de vinilo) PVC.....39

- 6.1.1 Generalidades
- 6.1.2 Propiedades del PVC a nivel industrial
- 6.1.3 Propiedades Físicas
- 6.1.4 Propiedades Térmicas
- 6.1.5 Propiedades Químicas
- 6.1.6 Acondicionamiento Previo
- 6.1.7 Termoformado

6.2 Poli(etileno) de Alta Densidad HDPE.43

- 6.2.1 Generalidades
- 6.2.2 Estructura
- 6.2.3 Propiedades Fisicoquímicas
- 6.2.4 Aplicaciones
- 6.2.5 Acondicionamiento Previo
- 6.2.6 Termoformado

6.3 Poli(propileno) PP.....47

- 6.3.1 Generalidades
- 6.3.2 Poli(propileno) homopolímero
- 6.3.3 Poli(propileno) copolímero
- 6.3.4 Poli(propileno) copolímero random
- 6.3.5 Propiedades Físicas
- 6.3.6 Propiedades Térmicas
- 6.3.7 Propiedades Mecánicas
- 6.3.8 Propiedades Químicas
- 6.3.9 Acondicionamiento Previo
- 6.3.10 Termoformado

6.4 Poli(tereftalato de etileno) PET.....53

- 6.4.1 Generalidades
- 6.4.2 Estructura
- 6.4.2 Propiedades
- 6.4.4 Acondicionamiento Previo
- 6.4.5 Termoformado
- 6.4.6 Aplicaciones

Capítulo VII Cálculos.....60

- 7.1 Cálculos de las dimensiones de los blisters y de las tabletas.

- 7.2 Cálculos del volumen libre ocupado por los diferentes gases que hay en los blisters.
- 7.3 Cálculos de moles de ácido acetilsalicílico que contiene una tableta en promedio
- 7.4 Cálculos para el espesor de un blister, considerando el esfuerzo normal
- 7.5 Cálculos del esfuerzo normal que presentan los blisters de acuerdo a su presión, y a su volumen.

Capítulo VIII. Gráficas de Propiedades Físicoquímicas;..... 90

Discusión de resultados..... 95

Conclusiones.....99

Bibliografía101

Anexo: Métodos ASTM..... 103

Lista de Figuras:

- 4.1 Termoformado a Vacío Directo
- 4.2 Termoformado a Presión Libre
- 4.3 Termoformado Mecánico
- 4.4 Termoformado a Presión con Colchón de Aire
- 4.5 Termoformado a Vacío con Ayuda de Pistón
- 4.6 Termoformado con Deslizamiento
- 4.7 Termoformado Multicapa
- 4.8 Máquina de 1 Estación
- 4.9 Máquina de 2 Estaciones
- 5.1 Estructura del ácido acetil salicílico
- 5.2 Reacción del ácido acetil salicílico en medio básico
- 5.3 Hidrólisis básica del ácido acetil salicílico
- 5.4 Reacción del ácido acetil salicílico en medio básico
- 5.5 Reacción del ácido acetil salicílico en presencia de O₂
- 6.1 Estructura química del PVC
- 6.2 Estructura química del HDPE
- 6.3 Estructura química del PP
- 6.4 Estructura química del PET
- 7.1 Diagrama de una tableta para el criterio 1
- 7.2 Diagrama de una blister para el criterio 1
- 7.3 Diagrama de una blister para el criterio 2
- 7.4 Diagrama de una blister para el criterio 2
- 8.1 Gráfica de Densidad de los Polímeros
- 8.2 Gráfica de Temperatura de Fusión de los Polímeros
- 8.3 Gráfica de Resistencia a la Tensión de los Polímeros
- 8.4 Gráfica de % de Elongación de los Polímeros
- 8.5 Gráfica de Permeabilidad de los Polímeros al O₂
- 8.6 Gráfica de Permeabilidad de los Polímeros al CO₂
- 8.7 Gráfica de Permeabilidad de los Polímeros al Vapor de Agua
- 8.8 Gráfica de Permeabilidad de los Polímeros al N₂
- 8.9 Gráfica de Esfuerzo a la Tensión de los Polímeros
- 8.10 Gráfica de Módulo a la Tensión de los Polímeros

Glosario de Términos

Elongación: Longitud a lo largo de una cierta dirección en que se aplica una tensión que separa a un punto de posición de equilibrio.

Permeabilidad: Capacidad de una membrana o cuerpo de permitir el paso de algún fluido (líquido o gas) en un determinado tiempo. Sus unidades son los barrers = $\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \Delta P \times 10^{-10}}$

Densidad: Masa de un cuerpo por unidad de volumen

Dureza: Resistencia que oponen los materiales a ser rayados. Depende de la cohesión de los mismos y de su estructura reticular. Se puede medir por medio de la escala Rockwell.

Tensión: Intensidad de una fuerza aplicada por unidad de superficie. Sus unidades en MKS son kg/cm^2 .

Ley de Hooke: La relación lineal entre el alargamiento y la fuerza axial que produce la relación tensión-deformación.

Flexión: Deformación transversal producida en un cuerpo elástico al ser sometido a una fuerza capaz de superar su resistencia.

Capítulo I: Introducción

1.1 Definición del problema

En la industria farmacéutica se emplean polímeros para fabricar envases primarios. Se ha observado durante estudios reportados que el ácido acetilsalicílico se degrada por la presencia de O_2 y Vapor de agua durante su almacenamiento en forma de tabletas de aspirina. El empleo de diferentes polímeros para formar los envases primarios (blisters) puede eliminar el problema de la hidrólisis. El empleo de materiales con permeabilidad al O_2 y al Vapor de agua muy bajas puede eliminar los problemas de oxidación. En ésta tesis me propongo hacer un estudio y análisis comparativo de las propiedades de 4 polímeros con el propósito de determinar cuál de ellos presentaría la mejor opción para su empleo en la fabricación de blisters.

1.2 Justificación

En la industria química, y en especial en la industria farmacéutica, es muy importante proteger el producto, envasándolo y empacándolo correctamente. Para lograr esto es necesario escoger el material que estará en contacto directo con el producto (envase primario), así como los materiales que estarán en un contacto indirecto (envase secundario y terciario).

Los envases han evolucionado de acuerdo al desarrollo tecnológico en el que vivimos, y por lo mismo es necesario que tengan características óptimas para el consumo.

1.3 Hipótesis

Un análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas de materiales poliméricos como el PET, PVC, HDPE, Y PP permitirá seleccionar de entre ellos el mejor material o el material con propiedades óptimas para emplearse en la fabricación de envases primarios del ácido acetilsalicílico (aspirina).

Con el propósito de mejorar las propiedades de la permeabilidad como una manera de protección al fármaco, también se ha propuesto el empleo de películas compuestas de una combinación de estos materiales.

Capítulo II: Objetivos

2.1 Objetivos Generales

- 1.- Estudiar el proceso de Termoformado, el cual es utilizado para la manufactura de envases primarios (blisters), así como identificar las variables de control de dicho proceso.
- 2.- Hacer un estudio comparativo de 4 materiales Poli(Cloruro de Vinilo)-PVC, Poli(Propileno)-PP, Poli(Etilen Tereftalato)-PET, y Poli(Etileno) de Alta Densidad-HDPE, plásticos que se utilizan en la fabricación de envases primarios para la industria farmacéutica.
- 3.- Con base en sus propiedades fisicoquímicas, recomendar cuál es el polímero más adecuado para la fabricación de blisters, para envasar al ácido acetilsalicílico.
- 4.- Una vez que conocemos el material más conveniente para producir blisters, decir con qué gas se ejercería más presión en el interior de los blisters, es decir aire o nitrógeno puro, a diferentes temperaturas, siguiendo la ecuación de Van der Waals.

2.2 Objetivos Específicos

Para los materiales poliméricos: PVC, PP, HDPE, y PET comparar sus propiedades físicas y mecánicas:

- 1.- Enfocarse a las propiedades mecánicas: Esfuerzo Normal. Resistencia a la Tensión
- 2.- Estudiar sobre todo la propiedad física de Permeabilidad de diversos gases, como el O_2 y el vapor de agua, a través de películas de polímeros.
- 3.- Justificar el uso de los materiales poliméricos con base en las propiedades mecánicas y fisicoquímicas para producir blisters
- 4.- Hacer un estudio comparativo de las propiedades de los 4 materiales, preparando gráficas y tablas
- 5.- Después de reconocer al material más apropiado para hacer blisters, comparar el esfuerzo normal que hay en el interior de estos, a diferentes temperaturas, y considerando además 3 criterios para medir el volumen del blíster y de la aspirina.

CAPITULO III: ANTECEDENTES (1,13)

3.1 Terminología:

Es importante mencionar la diferencia que existe entre envase, empaque y embalaje. Es el sector más importante en cuanto al consumo de los plásticos

Envase primario

Material rígido o flexible que almacena, protege y está en contacto directo con el producto. Incluye: botellas, tarros, vasos, charolas, películas flexibles para hacer bolsas, cubetas, baldes, tapas, blister, clam-shells (empaques de concha), tambores, barriles.

Empaque o Envase Secundario

Su función es proteger y transportar diversos productos envasados. Generalmente son rígidos, por ejemplo, cajas, tarimas, espumas protectoras. Es aquel que contiene uno o varios envases primarios y puede tener como función principal el agrupar los productos.

Embalaje o Envase Terciario

Todo aquello cuya función primaria es envolver, contener y proteger debidamente a los productos envasados, sobre todo en las operaciones de transportación, almacenamiento y comercialización. En algunos casos los envases secundarios requieren de un recipiente que contenga dos o más, a este contenedor se le conoce como envase terciario, y normalmente resulta en un embalaje.

El embalaje por tanto implica asegurar la protección del contenido, Por lo tanto los materiales embalados son seleccionados no sólo por su habilidad para proteger, sino también por su atractivo y valor de mercado.

3.2 Papel de los Materiales para Embalaje

Los primeros requerimientos de materiales para embalaje son asegurar la completa protección de los contenidos. La selección del material apropiado para cada producto para ser empacado es por lo tanto esencial. Como el costo del embalaje siempre incrementa el costo de mercado, la selección del material para embalaje debe ser considerada para su costo. Existen una amplia variedad de materiales, algunos son muy similares, algunos son completamente diferentes en naturaleza, manufactura y uso. Los materiales para embalaje son generalmente agrupados en dos categorías: Materiales suaves y materiales duros. Los suaves son por ejemplo: papel, celofán, cartón (plano o

corrugado), plásticos suaves, productos laminados y telas. Materiales duros incluyen : madera, plásticos duros, fibras, vidrio, y metales. La selección de materiales se hace con bases que aquí explicamos.

3.3 Criterios para la selección del material:

1) Cantidad de protección necesaria: Hay ciertos productos que requieren una delgada protección para poder ser embalados en papel (simple o encerado), celofán, cartoncillo o plásticos suaves. Si es necesaria una protección más grande los materiales necesarios pueden ser plásticos duros, madera o metal.

Como primer requerimiento un material de embalaje seleccionado para un propósito definido no debe dañar la calidad del contenido. Después de varios meses de almacenamiento y transporte la calidad de la mercancía debe permanecer tan bien como cuando fue empacada el primer día.

Un material para embalaje debe estar seleccionado para prevenir cualquier daño. Si el contenido está rasgado, perforado o presenta cualquier defecto, no nos serviría. El material no debe impartir algún sabor externo al producto, ni modificar su sabor original, por alguna acción química, catalítica, o sinérgica. Lo mismo aplica a los olores. Los cuales deben permanecer fragantes como cuando el producto fue empacado. En este caso las calidades de transmisión de vapor del embalaje deben ser consideradas. Por último el material nunca debe absorber algún olor.

2) Pruebas de Humedad: Si la protección a la humedad es requerida, los materiales suaves no deben ser usados. Es preferible el metal o el vidrio. Lo mismo aplica a la transmisión de vapor.

El contenido de humedad del producto debe permanecer igual, aún cuando un ligero cambio en las condiciones probablemente alteraría sus propiedades. Esto aplica no sólo a ejemplos que puedan sufrir corrosión sino también comidas, cosméticos y otros productos donde la retención de una cantidad definitiva de humedad es de suma importancia.

3) Dureza del Contenedor: Si el empaque es sometido a una ruda transportación, y almacenamiento, debe seleccionarse el material que ofrezca una mejor protección. La fuerza del contenedor está basada en varias consideraciones, como si tuviera una protección extra de empaque en grandes cantidades.

El grosor y la fuerza del material debe ser suficiente para prevenir daños que el empaque podría tener en condiciones normales de uso. Para la transportación y el almacenamiento se requiere de materiales durables para el empaque en si. Por otro lado cuando algunos envases son embalados, en algunos casos por madera o metal es posible usar materiales de baja tensión y que sean resistentes para los contenedores primarios.

4) Corrosión por ácidos y bases: Otra importante consideración es la protección en contra de la acción química de ácidos y bases. En algunos casos son necesarios los materiales suaves, además de la madera y de los metales, porque muchas veces estos son inadecuados, para mejores resultados se pueden usar el vidrio y otros tipos de plásticos

5) Resistencia a grasas: Ya que algunos materiales contienen grasas, y también los envases están en contacto con grasa externamente, es necesario seleccionar un material que no permita la difusión de la grasa desde el lado interno o la contaminación por grasa de la parte externa.

La grasa es un efectivo medio de protección en contra de la acción química de ácidos y bases y otros químicos. De cualquier forma debemos recordar que las grasas son solventes activos de varios materiales. Como resultado los materiales que pueden ser disueltos por grasas como la goma y algunos plásticos o cuando puedan sufrir algún daño por contacto con ese material debe definitivamente ser evitado. También es importante recordar que la grasa disuelve tintas y que bajo condiciones de defecto del empaque, puede quitar la tinta de las etiquetas y causar confusión por prevenir la identificación de propiedades del producto empacado.

6) Protección en contra de sales: El agua de mar y el aire con sal son dos ejemplos muy importantes que causan el deterioro y afectan los materiales de embalaje. además de su contenido. Por lo tanto una protección suficiente debería darse a los productos susceptibles durante la transportación a otros países, principalmente cuando el tiempo de transportación de un producto es muy largo. Las condiciones de humedad que prevalecen en el mar y a temperaturas favorables muchas veces causan una doble o triple acción del agua de sal o humedad del aire y también la presencia de moho y bacterias

7) Diferencias de Temperatura: En muchos casos, la protección debería estar asegurada en contra de diferencias de temperatura, principalmente temperaturas elevadas y temperaturas bajo cero. De preferencia deben ser materiales poco conductores de calor. Los metales deben ser evitados.

Las altas temperaturas pueden causar cambios indeseables en muchos materiales para embalaje y sus contenidos. Algunos materiales son frágiles, otros se dilatan y otros se deforman, y por lo tanto reducen la protección del contenido. Las bajas temperaturas causan fragilidad en algunos materiales, deformación y contracción en otros, y eventualmente un rompimiento del contenido. Algunos materiales son muy débiles para usarse como envases y no servirían cuando se prolongan las bajas temperaturas.

8) Luz: La luz excesiva causa decoloración de algunos materiales para embalaje y en algunos casos, los cambios fotoquímicos en los contenidos. Es bien conocido que el vidrio blanco provoca que los cambios fotoquímicos tomen lugar, como también algunos tipos de conservadores y químicos.

9) Fuego: Cuando los empaques no tienen una protección extra del lado externo, las condiciones de almacenamiento adecuadas, deben ser resistentes al fuego. De preferencia deben de dar a los materiales resistencia a altas temperaturas, pero que no causarán daño a los contenidos

3.4 Breve Historia de los Envases (16,17,18 19)

Los primeros envases

Los primeros envases fueron creados hace más de 10.000 años y servían simplemente como contenedores. Su principal trabajo fue almacenar productos necesarios para sobrevivir, especialmente comida y agua.

Contenedores Naturales

Los contenedores primitivos fueron probablemente tomados directamente de la naturaleza, las primeras vasijas para almacenamiento y para poder beber, pudieron haber sido cáscaras de cocos o conchas. Después, tazones de madera imitaban las formas de estas conchas. La madera y otras fibras vegetales, también fueron usados para hacer canastos tejidos, que fueron los primeros contenedores ligeros y a gran escala.

Otros de los primeros envases en ser creados fueron las valijas de agua, hechas de pieles de los animales. Estas valijas permitieron a los cazadores y exploradores buscar por otras tierras, lejos de sus manantiales. Esto hizo que la recolección de comida fuera más fácil y más confiable, ayudando a reducir la posibilidad del hambre.

Es muy claro que estas formas de envasar eran muy rudimentarias, y no siempre higiénicas.

Las civilizaciones antiguas, nos legaron recipientes que a nuestros ojos parecen más bien artesanías, que ejemplos de empaques. De hecho, ellos son los predecesores de nuestros actuales empaques y contenedores. Aunque las innovaciones técnicas fueron pocas y muy lejanas, las colecciones de cerámica y vidrio soplado, que llenan nuestros museos hoy en día, demuestran que los contenedores llegaron a ser indispensables en la vida de nuestros ancestros como herramientas para sobrevivir.

En la Edad Media, los barriles de madera llegaron a ser muy usados, para preservar los bienes. Ellos fueron usados para almacenar todo tipo de sólidos y líquidos, protegiéndolos de la luz, el calor y la humedad. Su considerable diámetro les permitió ser transportados en los caminos más peligrosos de la época y ser llevados por botes.

El descubrimiento de la alfarería

Los siguientes contenedores desarrollados por las primeras sociedades fueron cazuelas de arcilla, las cuales datan del año 6000 a C. Los primeros trabajos de alfarería fueron de Siria, Mesopotamia y Egipto. Además de ser funcionales, las cazuelas de arcilla, vasos y otros recipientes fueron un medio artístico que actualmente proporciona importantes pistas considerando la cultura y los valores de los antiguos.

El vidrio surgió, en el lejano Oriente en el año 5000 a.C. fue una invención destinada a la capacidad del hombre revolucionario para conservar y transportar bienes.

Aunque la fabricación del vidrio empezó en el año 7000 a.C. como un ramal de la alfarería, fue primeramente industrializado en Egipto en el año 1500 a.C. Hecho de materiales base como la piedra caliza, arena y sílica, todos estos materiales simplemente se fundían juntos y se moldeaban mientras estaban calientes.

Los moldes separados desarrollados en los siglos XVII y XVIII proporcionaron una ayuda para las formas irregulares y decoraciones. La identificación del fabricante y del nombre del producto, podían ser moldeados en los contenedores de vidrio, como si fueran manufacturados. Como las técnicas se refinaron en los siglos XVIII y XIX, los precios de los contenedores decrecieron. Un desarrollo que impulsó al proceso fue la primer máquina automática giratoria para hacer botellas, patentada en 1889. Mientras otros productos para envasar, como los metales y los plásticos, fueron ganando popularidad un siglo después, los envases de vidrio tienden a reservarse para productos de gran valor. El tipo de vidrio de envase rígido tiene muchos usos actualmente.

Metales

Las primeras copas y cajas fueron hechas de plata y oro, fueron muy valiosas para el uso común. Otros metales, aleaciones fuertes y recubrimientos fueron eventualmente desarrollados.

En 1764, los productores de tabaco, empezaron a sellar el aroma en canastos de metales, otro tipo actual de empaque rígido.

La preservación de la comida en contenedores de metal fue finalmente realizada en Francia a principios de 1800.

El francés Nicolas Appert inventó la lata en 1810, aunque fue hecha de vidrio y no de metal, representa el nacimiento de un gran avance para la preservación de la comida. La comida enlatada fue puesta a prueba en la guerra de Crimea y durante la guerra civil americana, antes de que estuviera disponible para los consumidores

Plásticos

El plástico es el material más joven en comparación con otros materiales para envasar. Aunque el plástico se descubrió en el siglo XIX, la mayoría de los plásticos fueron usados para asuntos bélicos.

El estireno fue primeramente destilado del árbol de bálsamo en 1831. Pero los primeros productos eran quebradizos y se rompían fácilmente. Alemania perfeccionó el proceso de destilación en 1933 y en los años 50's la espuma fue disponible alrededor del mundo. Los materiales aislantes y acolchonados, también las cajas de espuma, tazas, y bandejas para carne para la industria alimenticia se volvieron populares.

El cloruro de vinil, descubierto en 1835, proporcionó un desarrollo en la química del caucho. Para el empaque, las botellas moldeadas fueron introducidas en 1947 y en 1958, las películas encogibles por calor, fueron desarrolladas de la mezcla del estireno mezclado con el caucho sintético. Actualmente contenedores de agua y aceite vegetal están hechas de poli (cloruro de vinil).

El acetato de celulosa fue el primer derivado de la pulpa de la madera en 1900 y desarrollado para usos fotográficos en 1909. En 1920, la invención del celofán transparente, marcó el inicio de la era del plástico. El poli (etileno) fue el primer plástico usado para el empaque, descubierto en 1933. La lámina de aluminio, que llegó un poco más tarde hizo posible un eficaz sellado para los medicamentos y otros productos sensibles. Las películas de poli (etileno) fueron reservadas para los militares. En 1933, las películas protegían los cables de teléfono submarinos y después fueron muy importantes en la Segunda Guerra Mundial para los cables de radar y el envase de fármacos en forma de tabletas.

Otros celofanes y películas transparentes han sido refinadas como envolturas externas que mantienen su forma cuando se doblan. Originalmente claras, algunos tipos de películas ahora pueden ser opacas, de color o con relieves.

El período de 1940 a 1960 dió un paso en el número de las innovaciones para los envases y empaques que reflejaron cambios en nuestra sociedad.

El contenedor de poli (tereftalato de etileno) PET sólo llegó a estar disponible durante las dos últimas décadas para uso de bebidas entrando al mercado en 1977. Para 1980, los alimentos, y otros productos del siglo XX, como el envasado del jamón también fueron sellados con PET, por medio del sellado con calor.

El cambio en los patrones de vida, trajeron la más significativa innovación en la historia de los empaques y envases, para la distribución de la comida, la llegada del supermercado. Este nuevo tipo de tiendas fue en gran parte de auto-servicio.

Los nuevos contenedores fueron necesarios para acomodar estos cambios de la granja a la ciudad, y de las tiendas al supermercado. Empaques de cartones y cartulinas llenaron esta nueva necesidad admirablemente. Ellos mantenían las cantidades medidas de café, cereales, sal y otros productos básicos. Estos fueron fácilmente almacenados, transportados y etiquetados.

En esta era también vimos el uso de un nuevo material para envasar, el plástico. Los empaques y envases hechos de plástico fueron menos caros y más fáciles de producir que otros materiales. Fueron también muy ligeros, lo cual ayudó a reducir los costos de transportación

Para alcanzar el deseo continuo de hacer más fácil y más económicos a los productos, los ingenieros recientemente diseñaron empaques durables y ligeros, hechos de nuevos materiales híbridos, que contienen combinaciones de metal, papel y plástico, como los blisters

3.5 Empaques de burbuja o blisters:

En su forma más simple, consiste en una hoja de plástico con una pestaña que se fija a una tarjeta de apoyo, con adhesivo, grapa, o sello de calor. La burbuja puede ser de una forma muy simple, tal como un círculo o un rectángulo, o puede adquirir la forma del objeto u objetos que serán empaquetados.

Las burbujas son hechas por el proceso de termoformado, tal como formación al vacío o formación a presión.

Muchas compañías farmacéuticas tienen su propio equipo de termoformado y así pueden ser independientes de los proveedores. Hoy en día hay una amplia gama de equipo de fabricación de blisters o empaques de burbuja, desde las máquinas manuales hasta las máquinas totalmente automáticas. Estas últimas son sólo económicas si se requieren en grandes cantidades.

3.6 Termoformado, Llenado y Sellado:

El proceso de termoformado, llenado, sellado, es un método de empaquetamiento importante y altamente eficaz. Puede describirse como un funcionamiento de línea de empaquetamiento que involucra dos tejidos de material. El tejido base es el termoformado de las burbujas o blisters, que después de llenarse, son tapados por la aplicación de un tejido superior sellable con calor. Las aplicaciones principales incluyen farmacéuticos sólidos orales, como tabletas y cápsulas, jeringas quirúrgicas, etc.

Para introducir los fármacos orales al blister se requiere que la máquina, tenga un brazo mecánico para que los coloque dentro del empaque de burbuja.

El material de tapado superior usado para el empaquetamiento de tabletas y cápsulas es una lámina de aluminio, cubierta en la parte inferior con una laca de vinil. El tejido de plásticos debe ser lo suficientemente rígido para proteger las tabletas durante la distribución de fármacos, pero bastante flexible para permitir empujar la tableta a través de la lámina de aluminio. La lámina de aluminio debe tener un temple duro, es decir, que se rompa fácilmente cuando la tableta se empuja contra ésta cuando sea requerida.

Si las burbujas son selladas con calor (éste es el método más común de sellar) entonces la tarjeta se cubre con un sello adhesivo de calor. El llenado es llevado al cabo, colocando, el objeto u objetos dentro de las burbujas y las tarjetas se colocan encima. La prensa calentada se baja y las burbujas selladas se eliminan de la plantilla. Las velocidades de sellado son aumentadas por el uso de tablas rotatorias para que puedan hacerse funcionamientos continuos. Varios grados de automatización son posibles, incluyendo la carga automática del sello con calor que cubrió las tablas del área de sellado y la descarga automática con los empaques sellados, pasándose hacia una mesa de trabajo para un mayor manejo. El llenado de las tabletas normalmente es de

Capítulo IV: Generalidades del proceso de Termoformado (2.9)

4.1 Procesos de Transformación

A la par del descubrimiento y síntesis de los materiales plásticos, la creatividad del hombre ha ideado formas para moldearlos con el objeto de satisfacer sus necesidades. Por ejemplo: la sustitución de los materiales tradicionales como el vidrio, metal, madera o cerámica, por otros nuevos que permiten una mejoría en las propiedades, facilidad de obtención, por las necesidades del presente siglo, la posibilidad de implementar producciones masivas de artículos de alto consumo a bajo costo.

En 1825 Oersted produjo las primeras partículas de aluminio, pero hasta 1910, se fabricaron las primeras láminas de aluminio.

En 1926, la expansión de materiales poliméricos y las experiencias en el diseño de máquinas para procesarlos, estimulan la creación de máquinas con aplicación industrial, en la construcción y fabricación en serie de inyectoras de émbolo, impulsada por la síntesis del poli (estireno) PS.

En 1935 Paul Troester, en Alemania, construye una máquina extrusora de termoplásticos, basada en diseños anteriores para el procesamiento de hule. A partir de esas fechas inicia el uso de electricidad para el calentamiento, que sustituye al vapor.

En 1938, se concibe la idea industrial del termoformado, y en 1940 el moldeo por soplado. A la fecha, se cuenta con la existencia de cientos de polímeros patentados: de ellos aproximadamente 5 son imprescindibles, llamados *commodity plastics*.

Los productos manufacturados con plásticos, son obtenidos por más de 20 procesos de moldeo distintos, aproximadamente 10 gobiernan la mayor parte del volumen de plásticos transformados.

4.2 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE TRANSFORMACION

A continuación se presenta un listado de los procesos de transformación, agrupados de acuerdo con su aplicación a los polímeros:

Procesos para Termoplásticos:

- Extrusión
- Inyección
- Soplado
- Termoformado
- Calandreo
- RIM
- Recubrimiento por cuchillas
- Inmersión

Procesos para Termofijos:

- Laminado
- Embobinado de filamento continuo

Procesos para Termoplásticos y Termofijos:

- Vaciado
- Rotomoldeo
- Compresión
- Esparado
- RIM

Aunque existe un mayor número de procesos de moldeo, los anteriores se pueden encontrar con más frecuencia.

Otra clasificación de los procesos de transformación de los polímeros, se basa en los cambios de estado que sufre el plástico dentro de la maquinaria. Así podemos encontrar la siguiente división:

- Procesos Primarios
- Procesos Secundarios

En el primer caso, el plástico es moldeado a través de un proceso térmico, donde el material pasa por el estado líquido, y finalmente se solidifica, mientras que en los procesos secundarios, se utilizan medios mecánicos o neumáticos para formar el artículo final, sin pasar por la fusión del plástico.

Los materiales primarios se funden, pasando por el estado líquido, y la temperatura del proceso es mayor a la temperatura de fusión.

Con base en estos criterios, los procesos de transformación principales, se clasifican como:

Procesos Primarios:

- Extrusión
- Inyección
- Soplado
- Calandreo
- Inmersión
- Rotomoldeo
- Compresión

Procesos Secundarios:

- Termoformado
- Doblado
- Corte
- Torneado
- Barrenado

4.3 Definición del Termoformado (3,4,10)

El proceso de Termoformado es un proceso de transformación secundario que consiste en una lámina de material termoplástico que se moldea por la acción de la temperatura y la presión. La temperatura ayuda a reblandecer la lámina y por medio de moldes y la intervención del vacío o presión, se adquiere, o da la forma final.

La palabra lámina que se relaciona con el termoformado es usada para describir un material de plástico liso, que es relativamente más pesado, en contraste, con las películas plásticas delgadas; también se puede definir como una porción de cualquier materia extendida en superficie y de poco grosor; sus dimensiones dependen en cuanto a longitud y ancho, y respecto al grosor normalmente no rebasan los 5 mm.

4.3.1 Ventajas y Restricciones

La alta productividad es una ventaja del termoformado, en razón de que por ser un proceso de transformación secundario, no se llega a la fusión de la resina, sino únicamente a reblandecerla.

También se presenta el requenimiento de moldes muy sencillos, en comparación a los moldes por inyección para la fabricación de una misma pieza. La sencillez relativa en la construcción de moldes ofrece al proceso de termoformado una mayor agilidad e inversiones bajas cuando se cambia de diseño o de producto lo cual, es tardado y costoso en un cambio de moldes para inyección.

En cuanto a las restricciones del proceso, se debe partir de una lámina de material plástico en lugar de materia prima en forma de pellets o polvos. Así el costo de materias

primas para el proceso es mucho mayor que para los procesos de transformación primarios como la inyección, la extrusión o el soplado.

Se tiene un límite en los espesores y dimensiones del producto. En el primer caso, láminas muy gruesas no permiten un calentamiento uniforme en su parte interna, por la baja conductividad térmica de los plásticos, que impedirá el formado de la pieza. En el caso de las dimensiones del producto, por ser un proceso basado en estiramientos de una lámina, la forma final está restringida a las propiedades mecánicas de la resina y al espesor de la lámina.

La inserción de partes metálicas o la producción de piezas con perforaciones, no es posible directamente; se debe recurrir a métodos de maquinado posteriores y no se usa el

100% de la lámina en artículo terminado, ya que una parte de ésta debe ser cortada y reciclada.

4.3.2 Aplicaciones Actuales

El proceso de termoformado, tiene su mayor mercado en productos de vida corta como aplicaciones para envase y embalaje de alimentos, medicinas y artículos diversos, así como en productos desechables. Sin embargo, también tiene aplicaciones de tipo industrial. Ejemplos de estas son las siguientes:

Envase y Embalaje

- Vasos de tapa pelable para alimentos y yoghurts.
- Charolas para embalaje de alimentos: repostería como galletas y confitería
- Burbujas para envase de productos farmacéuticos: blister pack para pastillas.
- Ampollas para envases de artículos diversos: blister pack para pilas, rastrillos, tornillos, botones, etc.
- Recipientes para embalaje en panaderías: charolas para pasteles y gelatinas
- Embalaje de artículos diversos. clam shell ó “empaques de concha”, para guardar alimentos

Artículos de oficina:

- Protectores para teclado de computadora

Artículos de consumo.

- Desechables: vasos, platos.

- Formas decorativas de temporada: motivos navideños

Industrial

- Interiores de refrigeradores: liners.

Otros

- Burbujas para maquetas
- Domos para tragaluz.

4.4 Descripción del proceso

4.4.1 Posicionamiento

Consiste en sujetar firmemente la lámina en el bastidor de formado mediante pinzas u otros dispositivos que impidan el desplazamiento lateral de la lámina. Si se moldea una lámina gruesa (espesor mayor a 0.25 mm) se sujeta la misma con un bastidor o pinzas, pero si la lámina se alimenta en rollo o es delgada (espesor menor de 0.25 mm), puede ser sujeta con clavos que la mantengan firme durante su moldeo.

4.4.2 Calentamiento

Al calentar a la lámina, ésta se reblandece hasta que alcanza su respectiva temperatura de formado por tres métodos diferentes.

a) Radiación

Es el método más utilizado para suministrar energía directa y uniforme a la lámina, se emplea para materiales de bajo calibre y puede ser aplicado de varias formas:

- Alambres en espiral de níquel-cromo
- Calentadores en barras de acero
- Calentadores en tubo de cuarzo
- Placas de cerámica con alambres empotrados como resistencias
- Lámparas de radiación infrarroja
- Micro ondas

Como la transferencia de energía radiante no depende de la distancia de separación entre la fuente y el receptor, sino de la efectividad de la radiación, la forma ideal de realizar este proceso es por medio de lámparas de radiación infrarroja.

El rango de longitud de onda de la radiación para el calentamiento en el proceso de termoformado es de 0.3 μm a 20 μm y la zona del infrarrojo es de 10^{12} nm a 10^{14} nm, mientras que las otras fuentes de calentamiento y radiación se salen de este rango.

El único riesgo es que el mal uso de ésta energía puede provocar un calentamiento excesivo (posibilidad de quemado del material), si la lámina es gruesa, existirá una mala distribución de la temperatura en su superficie.

b) Convección

Se emplea para láminas gruesas y consiste en hacer circular aire previamente calentado en un horno para lograr el reblandecimiento de la lámina.

c) Conducción

Se realiza mediante una placa metálica porosa que se calienta y se mantiene en contacto con la lámina a formar; se emplea en el método de formado de la lámina atrapada.

4.4.3 Formado

Consiste en forzar la lámina previamente sujeta y calentada, a tomar los contornos del molde. Para ello se requiere de una fuerza externa que puede ser de tres tipos.

a) Vacío

Por medio de una bomba, se acciona el vacío que jala la lámina hacia la superficie del molde hasta lograr que se adhiera a él.

b) Presión

A través de aire a presión, se empuja la lámina hacia el molde para que ésta se adhiera a él y tome la forma del mismo

c) Mecánico

Se le denomina también como termoformado Hembra-Macho y consiste en un molde con contramolde y, por medio del ensamble de ambos, se logra que la lámina reblandecida tome los contornos del molde.

En esta parte del proceso, la lámina sufre una deformación para alcanzar la forma final, la cual puede ser denominada como estiramiento

El grado de estiramiento de la lámina depende de.

- Temperatura de la lámina
- Nivel de fuerza aplicada durante el formado
- Grado de orientación y orden molecular del material
- Comportamiento de esfuerzo-estiramiento del material

En el proceso de termoformado se tiene un complejo sistema de estiramiento, ya que en ocasiones, se presenta un estiramiento uniaxial o biaxial. No siempre se obtienen espesores uniformes en el artículo final.

En algunos procesos de transformación, antes de la etapa del formado, se realiza un paso de estiramiento biaxial para alcanzar mayor uniformidad en el espesor en el producto final. Esto se puede lograr mediante el formado libre de una burbuja o con un estiramiento directo de la lámina.

4.4.4 Enfriamiento

Se deja la pieza sostenida en el paso de formado hasta que se enfríe, o bien, dependiendo de los requerimientos del proceso se implementa un sistema de enfriamiento que puede ser:

- Introduciendo agua al molde por algunos canales
- Forzando aire a presión sobre la pieza terminada
- Rociando un poco de agua como spray sobre la pieza

Esta última forma es poco común y sólo se aplica cuando el material no presenta problemas en sus propiedades mecánicas por la humedad.

4.4.5 Desmoldeo

Después de que la pieza se enfría, se desmolda, es decir se saca del molde, y desprende de las piezas sujetadoras.

4.4.6 Corte del Desperdicio

En esta etapa, se corta la parte innecesaria o no deseada de la lámina. Este corte se realiza por:

- Compresión
- Desgarre
- Calor
- Abrasión

En el proceso automático de termoformado, los mecanismos de corte más utilizados son la compresión y el desgarre:

a) Compresión

Es el equivalente al suajado o troquelado de golpe, se basa en una fuerza que se aplica a una superficie plana, donde la placa que ejerce la fuerza consiste en una cuchilla metálica o en un fleje que toma la forma del corte deseado y que a la vez actúa como una cuchilla. Cuando en el corte, por fleje no existe exactitud, el corte con troquel de golpe se realiza simultáneamente en el momento del formado.

b) Desgarre

Es el sistema denominado como troquelado, consiste en aplicar fuerza por arriba y por debajo de la lámina para lograr el desgarre del material. También se le conoce como corte con cizalla. De esta forma operan las máquinas donde primero se realiza el formado y después el corte.

4.4.7 Moldes para Termoformado

A diferencia de los procesos de soplado e inyección, el termoformado puede utilizar diversos materiales en función del volumen de producción requerido.

Con la ventaja de que en termoformado los moldes están expuestos a presiones bajas, que comúnmente no rebasan el 5% de la presión que requeriría un molde de inyección de tamaño similar, los materiales para fabricación de estos van desde madera y pastas hasta aluminio y aceros de alta resistencia

a) Moldes de Madera

Generalmente se utilizan para fabricación de prototipos o producciones cortas. Deben ser maderas duras no resinosas, que generalmente reciben tratamientos de secado en horno antes del maquinado para evitar deformaciones durante la fabricación.

Dependiendo de la complejidad del molde, en algunas ocasiones se requiere de hacer ensambles, usándose adhesivos como el resorcinol, o epóxicos

b) Moldes de Resina

Para productos en los que la temperatura superficial del molde no sea mayor a 60°C, es factible el uso de resinas termofijas epóxi o poliéster insaturado, empleando como refuerzo fibra de vidrio.

Es necesaria una cuidadosa construcción del molde, ya que pequeñas burbujas bajo la superficie pueden generar depresiones y perforaciones durante el proceso.

c) Moldes Metálicos

Aluminio

Para grandes producciones, los moldes metálicos son muy utilizados principalmente por su resistencia térmica y mecánica que son superiores a las de la madera y resinas. así como por su excelente conductividad térmica. Para una mayor resistencia se utilizan aluminios grado aeronáutico. Debido a que el aluminio presenta un coeficiente de expansión térmica mayor que el acero, se debe tener cuidado al remplazar moldes de estos materiales para evitar deformaciones.

Acero

Debido a que los talleres metal-mecánicos comúnmente utilizan aceros de altas especificaciones para construir por ejemplo, moldes de inyección, también estos materiales se utilizan para fabricar los moldes de termoformado a pesar de que los requerimientos de presión, temperatura y desgaste son mucho menores.

4.4.8 Tipos de Procesos

Procesos Básicos o de un solo Paso (Una Etapa):

- Formado al Vacío Directo
- Formado a Vacío Molde Macho
- Formado a Presión Libre
- Formado a Presión
- Formado Mecánico

Procesos Multipasos (Multietapas)

- Formado a Vacío con Colchón de Aire
- Formado a Presión con Colchón de Aire
- Formado a Vacío con Retorno
- Formado a Presión con Retorno

Procesos con Ayuda de Pistón

- Formado a Vacío con Ayuda de Pistón
- Formado a Presión con Ayuda de Pistón
- Formado a Vacío con Colchón de Aire y Ayuda de Pistón
- Formado a Presión con Colchón de Aire y Ayuda de Pistón

Procesos Especiales

- Formado a Vacío con Deslizamiento
- Formado a Presión con Diafragma
- Formado de Lámina Atrapada

- Formado de Cuerpos Huecos
- Formado Multicapa

A) Procesos Básicos

Formado a Vacío Directo

En este proceso se tiene un molde hembra sobre el que se coloca la lámina previamente calentada y bajo él se aplica vacío; de esta forma, la lámina baja y adquiere la forma final.

Ventajas:

- Sencillez en moldes
- Facilidad de procesamiento
- Bajo costo

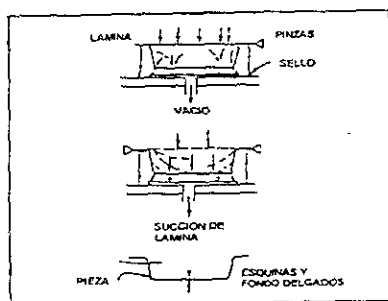
Desventajas:

- No se logra uniformidad
- Profundidad limitada
- Fondo y esquinas delgadas y borde grueso

Aplicaciones:

- Charolas
- Platos desechables
- Protectores y separadores de fruta
- Protecciones de cosméticos
- Protecciones de fármacos
- La gran mayoría de blister-pack

Figura 4 1: Formado a Vacío Directo



Formado a Vacío Molde Macho

En este caso la lámina reblandecida, se coloca sobre un molde macho y debajo de éste se aplica el vacío para que el material tome la forma del mismo

Ventajas:

- Fácil desmolde de las piezas
- Se pueden utilizar moldes más complicados que el caso anterior
- Moldes más económicos que el caso anterior

Desventajas:

- No se logra uniformidad en el espesor
- Fondo y esquinas gruesas
- Paredes delgadas

Aplicaciones:

- Blisters en los que se desee proteger el producto, blister unido con cartón.

Formado a Presión Libre

En este proceso, se carece de moldes. Un sensor determina la altura de la burbuja. Para fabricar la burbuja, se fija la lámina reblandecida sobre la cámara de presión y se le inyecta aire hasta que la burbuja alcanza la altura deseada.

Ventajas.

- Muy bajo costo
- Facilidad de moldeo
- No se requieren de moldes

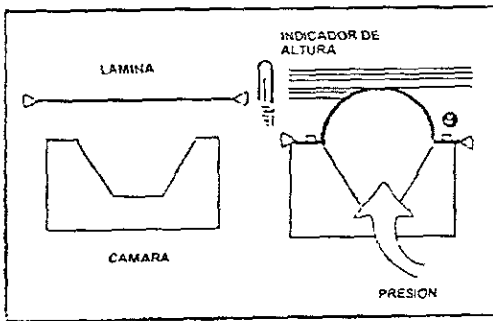
Desventajas:

- Sólo se pueden obtener burbujas
- El control de tamaño de la burbuja depende de la exactitud del sensor y de la habilidad del operario.

Aplicaciones.

- Todo el bubble-pack y protecciones que sean semiesféricas.
- Domo

Figura 4.2 Formado a Presión Libre.



Formado a Presión

En este proceso se sigue el principio de vacío. Para ayudar a bajar la lámina hasta el fondo del molde, se coloca sobre ésta una cámara de presión y se inyecta aire; de esta forma, la lámina alcanza la profundidad total y se puede reducir un poco el adelgazamiento de las paredes, al ejercer dos fuerzas en el momento de formado.

Ventajas:

- Se alcanzan mayores profundidades
- La diferencia en el espesor de la pared se reduce

Desventajas:

- Se requiere de dos sistemas: uno de vacío y otro de inyección de aire
- Costoso

Aplicaciones:

- Para piezas de superficie muy detallada
- Para materiales difíciles de termoformar, como el poli (propileno)

Formado Mecánico

Se realiza al presionar la lámina reblandecida entre un juego de moldes hembra-macho. La presión que se aplica es de 50 psi (3.4 kg/cm²) y llega a ser de 150 psi (10 kg/cm²).

Ventajas:

- Uniformidad en el espesor
- Ciclo de formado corto

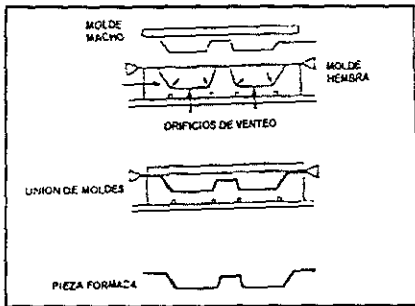
Desventajas:

- Se eleva el costo de los moldes
- Se requiere de una prensa

Aplicaciones:

- Recipientes con tapa pelable
- Artículos de poli (estireno) espumado: charolas, platos, bandejas, empaque de huevo.

Figura 7.3 Formado Mecánico



Procesos Multipasos

También existen procesos de dos o más pasos, en los que se involucran fuerzas para el formado, obteniendo productos de mayor calidad. Esto es debido a que una primera fuerza estira previamente la lámina y una segunda fuerza la forma. De esta manera, la lámina modifica sus dimensiones antes de adquirir la forma final para que el producto terminado tenga uniformidad en el espesor de sus paredes.

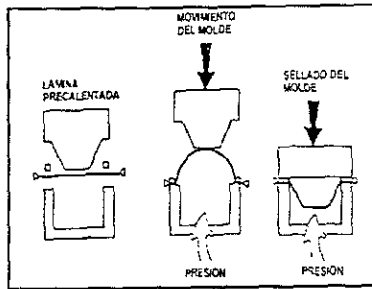
Formado a Vacío en Colchón de Aire

Sigue el principio de formado a vacío directo, antes de aplicarlo, se forma una burbuja inyectando aire que estira la lámina

Formado a Presión con Colchón de Aire

En este caso también se forma una burbuja y, cuando la lámina toca el molde, éste baja hasta cerrar la cámara y logra que la presión haga que la lámina se adhiera a él.

Figura 7 4 Formado a Presión con Colchon de Aire



Formado a Vacío con Retorno

Es semejante al caso anterior, sólo que la burbuja en lugar de generarse por presión, se produce al aplicar vacío y ésta no toca al molde hasta que se cierra la cámara, es entonces cuando nuevamente se aplica vacío pero en sentido inverso para lograr que el material se adhiera totalmente al molde.

Formado a Presión con Retorno

En este caso, la presión crea la burbuja y la fuerza que logra que la lámina adquiera la forma del molde. Genera una burbuja inversa a la cavidad final del recipiente.

c) Procesos con ayuda de Pistón

En algunos casos, además del uso del aire ya sea como presión o fuerza de vacío para lograr un previo estiramiento, el proceso se auxilia de medios mecánicos como un pistón, para alcanzar grandes profundidades antes de efectuar el proceso de formado total.

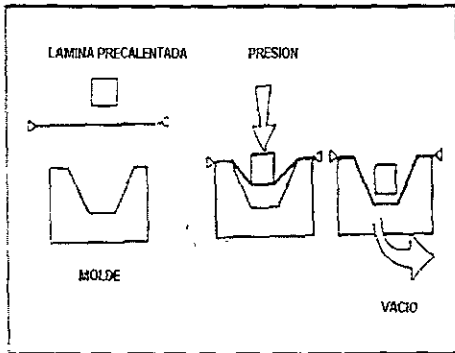
Esto se podría considerar casi como una orientación de los recipientes y se presenta para casos especiales.

Los procesos utilizados son:

Formado a Vacío con Ayuda de Pistón

Es similar al formado a vacío, pero antes de aplicarlo, un pistón hace descender la lámina hasta que toque el molde. Esto puede ser utilizado para casos de formado de piezas muy profundas en el moldeado de materiales difíciles de termoformar

Figura 7 5: Formado a Vacío con Ayuda de Pistón



Formado a Presión con Ayuda de Pistón

El proceso es semejante al sistema de Formado a Presión, con la diferencia de que en este tipo se auxilia de un pistón.

Formado a Vacío con Colchón de Aire y Ayuda de Pistón

Primero se genera una burbuja para estirar la lámina, después un pistón la baja hasta que toque el fondo del molde y finalmente se aplica vacío para que el material se adhiera al molde y adquiriera la forma final.

Formado a Presión con Colchón de Aire y Pistón

También en este caso se produce una burbuja, la diferencia con el proceso anterior consiste en que para hacer bajar la lámina se ayuda del pistón y de aire a presión, formando la lámina al aplicar vacío.

d) Procesos Especiales

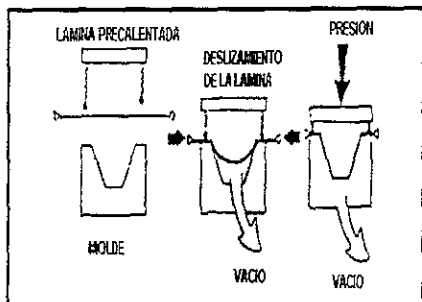
Existen otros procesos que son particulares para cada material o aplicación.

Formado a Vacío con Deslizamiento

En esta variante la lámina reblandecida no se sujeta con firmeza, sino que se hace por medio de unos resortes que le proporcionan la posibilidad de moverse. En el momento de aplicar vacío, la lámina no sólo se estira, sino que también se desliza para no adelgazar demasiado su espesor. Cuando la lámina ha bajado suficientemente, se aplica presión

sobre ella para sostenerla y aplicar el vacío total hasta que la pieza quede totalmente terminada.

Figura 7.6 Formado a Vacío con Deslizamiento



Formado a Presión con Diafragma

Se utiliza para plásticos como PET o Nylon, que tienden a ser muy quebradizos y pueden reventarse por el estiramiento durante el proceso de formado. Ello sucede porque durante la etapa de calentamiento, el material se reblandece y puede ser estirado fácilmente, pero con un ligero enfriamiento tiende a endurecerse y a fracturarse en el momento de estirarlo.

Es así, que en el proceso se utiliza un diafragma de caucho que puede ser calentado y sobre el que se coloca la lámina ya reblandecida. El diafragma mantiene a la lámina tibia y reblandecida, por eso es fácil de estirar. Posteriormente, el diafragma se infla para estirar la lámina y hacerla llegar al fondo del molde, y con aire a presión, se logra que la lámina se adhiera totalmente al molde y adquiera su forma definitiva.

Formado de Lámina Atrapada

Se utiliza para materiales altamente orientados como el Poliestireno Orientado (OPS) o materias sensibles a la temperatura como el Polietileno y Polipropileno. La lámina se sujeta contra una placa porosa que va a ser la fuente de calentamiento. Cuando se alcanza la temperatura de formado, se aplica presión a través de la placa para forzar la lámina a descender al fondo del molde y al mismo tiempo, puede aplicarse vacío para lograr el formado total.

Formado de Cuerpos Huecos

Ha sido durante años, un proceso técnicamente viable. Consiste en precalentar dos láminas separadamente y llevarlas posteriormente, a un arreglo doble de molde hembra. Una pipeta de soplado es colada entre ambas láminas, que una vez fijadas juntas, son infladas con aire a presión contra sus respectivos moldes.

Para artículos de alta capacidad, esta técnica compite con el proceso de soplado

Formado Multicapa

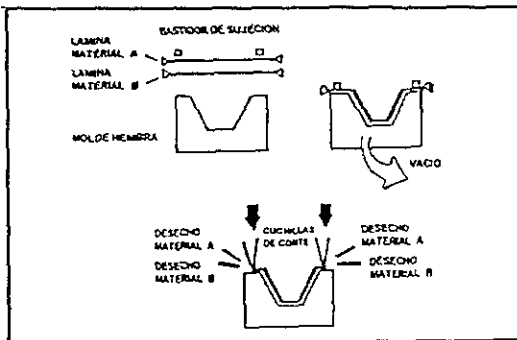
Se emplea para artículos donde se requiere presentar una barrera al oxígeno. Los materiales desarrollados más efectivos como barrera son esencialmente plásticos incompatibles (PP, PA, PET, PVDC, entre otros).

Los reactores de desecho en láminas coextruidas con algunos de estos materiales no pueden ser usados. Como resultado, se desarrolló una variación del proceso de formado de cuerpos huecos, donde láminas individuales son alimentadas desde rodillos independientes hacia los precalentadores y llevados juntos posteriormente, a la estación de formado.

Una vez que el producto multicapa formado ha sido recortado, las capas individuales pueden ser separadas y limpiadas para ser recicladas y producir una nueva lámina multicapa.

Las capas de material en el producto formado sólo están adheridas por contacto y pueden ser deslaminadas por malos tratos.

Figura 7 7: Formado Multicapa



4.5 Tipos de Máquinas

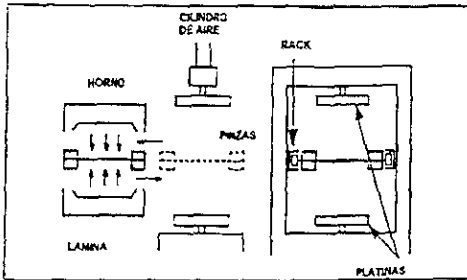
Existen los siguientes tipos de acuerdo al producto que se desea obtener.

a) Máquinas de Una Estación

En este caso, la lámina permanece estática en su posición desde el calentamiento hasta su desmoldeo. Su ciclo de producción es largo.

Esto quiere decir que la lámina se sujeta mediante un bastidor y, bajo el armazón de la máquina, se realizan las etapas de calentamiento, formado y enfriamiento, para enseguida extraerla y cortar los bordes inútiles a la pieza.

Figura 7.8. Máquina de Una Estación

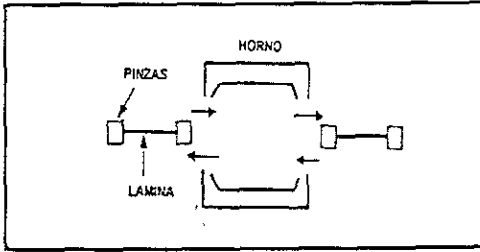


b) Máquinas de Dos Estaciones

Este equipo es una variante del caso anterior, en él sólo se utilizan dos estaciones de trabajo y un horno. Presenta dos bastidores y mientras uno entra al horno para reblandecer la lámina, el otro sale para formar la que previamente fue calentada.

Después de extraerla del molde, se coloca otra lámina para que continúe el proceso. El equipo se utiliza cuando las piezas son muy grandes y requieren de mayor tiempo de calentamiento.

Figura 7.9 Máquina de Dos Estaciones



C) Máquinas Rotativas

En este caso, se tienen tres bastidores montados sobre un carrusel, cada uno de ellos pasa por las estaciones de calentamiento, formado y posicionamiento de la lámina, por lo que en todo momento se produce una pieza terminada. Este proceso es útil para piezas grandes donde se requiere mayor producción.

d) Máquinas de Termoformado en Línea Intermitente

En este equipo se alimenta en rollo y después de que se reblandece, es formada en el molde, después sigue su recorrido para sincronizarse con el corte de la rebaba y se obtiene el producto final.

Se emplea para fabricar piezas de espesores delgados como vasos platos y tazas desechables o contenedores de alimentos

e) Máquinas de Termoformado en Línea Continua

Es parecido al caso anterior, con la diferencia de que el molde se coloca en un tambor que gira a velocidad constante para formar de manera continua la lámina. Cuenta con la

posibilidad de que mientras se enfría la pieza formada, camina para lograr alimentar continuamente la lámina formada. Generalmente, este tipo de máquinas se conectan en línea con una sección de llenado y sellado, para realizar simultáneamente el Formado/Llenado/Sellado de empaque para alimentos o fármacos.

Algunos equipos en lugar de poseer un tambor, presentan un carro reciprocante que en el momento del termoformado, jala la lámina hacia delante y cuando ésta se libera, el carro retrocede para termoformar otra sección de ella

De los cinco casos, los más utilizados son: las máquinas de una estación y las de termoformado en línea, ya sea intermitente o continua.

Capítulo V: Generalidades de las Tabletas de Aspirina

A continuación se describen brevemente algunas características, y propiedades del ácido acetilsalicílico, así como los excipientes que pudieran estar contenidos en una tableta de aspirina y las posibles reacciones del ácido acetilsalicílico con ácidos y bases.

Las tabletas de aspirina contienen no menos del 95% y no más del 105% de la cantidad de $C_9H_8O_4$ indicada en el marbete, esto es que una tableta de 500 mg contiene entre 475 y 525 mg de ácido acetilsalicílico.

5.1 Estructura:

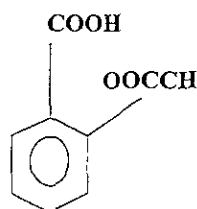


Figura 5 1: Estructura del ácido acetilsalicílico

5.2 Propiedades del ácido acetilsalicílico

Descripción del ácido acetilsalicílico: Polvo blanco cristalino. Es estable en aire seco; en aire húmedo se hidroliza gradualmente en ácido salicílico y acético.

Solubilidad del ácido acetilsalicílico: Fácilmente soluble en alcohol; soluble en cloroformo y éter, ligeramente soluble en agua.

Conservación: En recipientes bien cerrados, al abrigo de la luz, el ácido acetilsalicílico reacciona gradualmente cuando está expuesto a una atmósfera húmeda; en recipientes bien cerrados. Es estable en aire seco, pero en contacto con la humedad se hidroliza gradualmente en ácido acético y ácido salicílico.

5.3 Excipientes

Cada tableta contiene 0.5 g del $C_9H_8O_2$ pero en promedio una tableta pesa 0.6007 g. es decir en promedio 0.1007 g son excipientes.

Excipientes: Son los componentes de la forma farmacéutica que no tienen actividad farmacológica, y cuya función es la de proveer de estabilidad física, química y/o biológica al fármaco; así como la de favorecer su dosificación. Influyen determinadamente en la biodisponibilidad del fármaco, así como en los parámetros a evaluar en las tabletas.

Los excipientes deben cumplir con las siguientes características: inertes, fáciles de adquirir, sin sabor u olor, de color compatible con el principio activo, baratos, no sensibilizantes, compatibles con los componentes de la formulación, estables, no deben interferir con la biodisponibilidad del fármaco y que no sean tóxicos.

En la fabricación de tabletas de ácido acetilsalicílico, se pueden emplear algunos de los siguientes excipientes:

Diluyentes: Sirven para ajustar el peso de las tabletas y conseguir una masa adecuada para comprimir, preferentemente deben ser hidrófilos; los más utilizados son: almidón, lactosa, dextrosa, sacarosa, manitol, sorbitol, glucosa, celulosa microcristalina, fosfato dibásico y tribásico de calcio, sulfato de calcio, caolín y cloruro de sodio.

Aglutinantes: Son materiales cohesivos capaces de ligar partículas de polvo para formar gránulos cohesivos con un contenido mínimo de finos y producir tabletas con buena dureza y baja friabilidad a bajas presiones de compresión. Estos materiales pueden ser incorporados en polvo seco en un intervalo de 1 a 5%, o en solución en un intervalo de 10 a 20%, los más utilizados son: gelatina en solución acuosa; gomas naturales como la acacia, tragacanto, pectina, metilcelulosa, carboximetilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa, etilcelulosa; almidones de maíz, papa y arroz como geles acuosos.

Desintegrantes: Facilitan la desintegración o disgregación de la tableta en agua o en jugo gástrico, con el fin de acelerar la liberación del fármaco de la tableta; esto se logra mediante el aumento de la porosidad de la tableta; su incorporación puede ser en la fase externa, o interna, si es en la fase externa del granulado para garantizar que los gránulos se desintegren. Es importante aclarar que en la desintegración de las tabletas también influyen otros parámetros y excipientes.

Los desintegrantes se pueden adicionar en un margen que va del 1 al 15% y los más utilizados son: almidones de maíz y papa; almidón glicolato de sodio; celulosas microcristalinas; metilcelulosa, carboximetilcelulosa sódica, hidroxipropilmetilcelulosa; ácido algínico y alginato de sodio.

Lubrificantes: Se utilizan para reducir la fricción que se genera en la etapa de compresión entre las partículas en la masa del polvo, entre el polvo y las superficies de punzones y matriz, entre la tableta y la matriz o entre punzones y matriz. Se pueden clasificar en tres grupos:

*Deslizantes: Permiten el flujo gránulo-gránulo, facilitando que el polvo fluya de la tolva a la matriz (dióxido de silicio, talco, estereatos de magnesio, de calcio o de zinc).

*Lubricantes: Reducen la fricción metal-metal entre punzones-matriz y matriz-tableta. Estereato de magnesio, ácido esteárico, talco, polietilenglicoles, acetato y benzoato de sodio.

*Antiadherentes: Disminuyen la fricción metal-tableta evitando que la tableta se adhiera a la matriz o a los punzones (talco y estereato de magnesio)

Adsorbentes: Su función es captar por adsorción componentes líquidos o humedad y los más comúnmente usados son: almidones, para captar aceites; dióxido de silicio coloidal, para capturar agua y aceites; celulosa microcristalina, para captar aceites, agua y pasta, fosfato de calcio trifásico para captar aceites y pastas

Humidificantes: Se utilizan para evitar un secado excesivo del granulado. los más usados son la glicerna de 1 a 3% incorporada al líquido de la granulación; y el almidón.

Saborizantes y Edulcorantes: Su uso no es limitado a tabletas masticables, son líquidos aceitosos que se pueden incorporar en la solución aglutinante, o en seco; los más usados son la sacarina y el aspartame, y en algunos casos la sacarina.

5.4 Posibles reacciones del ácido acetilsalicílico:

Figura 5.2: En medio básico:

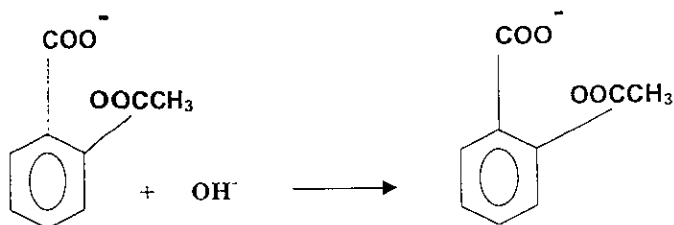
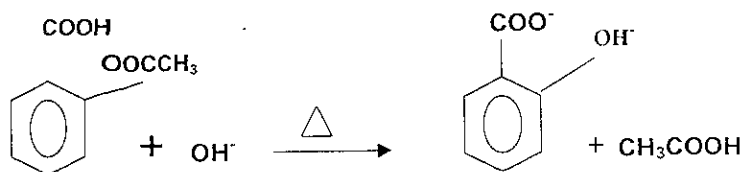


Figura 5.3: Hidrólisis básica



Capítulo VI: Propiedades de los polímeros en estudio (4,6,10)

6.1 CLORURO DE POLIVINILO:

6.1.1 GENERALIDADES

El polímero resultante de la asociación molecular del monómero cloruro de vinilo, se denomina con Las siglas **PVC**, que se originan de la palabra en inglés "poly (vinyl chloride)", cuya traducción al español es poli (cloruro de vinilo).

El PVC es un polímero termoplástico, capaz de cambiar su forma y su estructura al variar su temperatura. Por sí sólo es el más inestable de los termoplásticos, pero con aditivos es el más versátil, ya que puede ser transformado por medio de varios procesos, en una infinidad de procesos útiles. Por su consumo, ocupa el segundo lugar mundial detrás del poli (etileno).

Estructura:

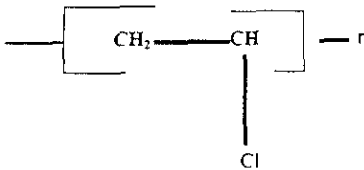


Figura 6.1: Estructura química del PVC

6.1.2 PROPIEDADES DEL PVC COMO A NIVEL INDUSTRIAL:

Cuando el PVC en forma de resina se combina con aditivos, se denomina compuesto de PVC que puede ser rígido o flexible.

El PVC es un material químicamente resistente a líquidos corrosivos, soluciones básicas y ácidas, aceites, detergentes y agua. Esto justifica su aplicación en tuberías para la conducción de agua y drenaje, en la producción de botellas para aceite, vinagre, jugos y shampoos.

Por otra parte, sus propiedades físicas son extremadamente versátiles, ya que se pueden formular compuestos rígidos para la fabricación de tuberías de alta presión o sillas de

jardín; compuestos flexibles para producir mangueras de riego o pelotas infantiles; compuestos resistentes a la abrasión, como suelas de un zapato deportivo o loseta para el piso; o compuestos suaves, como una goma de borrar

A pesar de que el PVC no puede procesarse 100 % puro, es el plástico de mayor rango de propiedades y aplicaciones posibles por medio de las formulaciones que se pueden obtener de él.

6.1.3 PROPIEDADES FÍSICAS

Densidad:

El valor típico para la resina de PVC es de 1.4 g/cm^3 . Los compuestos modifican su densidad al adicionar cargas o plastificantes (aditivos). El plastificante reduce la densidad del compuesto. La variación de la densidad está en función del tipo y de la cantidad de carga o plastificante.

6.1.4 PROPIEDADES TÉRMICAS

a) Estabilidad Térmica:

Durante su procesamiento, las resinas se degradan al recibir calor y luz. La degradación provoca el empobrecimiento de las propiedades mecánicas, así como un color amarillento.

Para evitarlo, se adicionan los estabilizadores, dentro de los cuales se tienen a los primarios como los compuestos de estaño, sales de bario, calcio y zinc, jabones y sales de plomo, y los secundarios como los epoxidados, aceite de soya epoxidado y los fosfitos, fosfito de fenil dodecilo

Para PVC se requieren estabilizadores en cantidades relativamente bajas, que varían desde una hasta cuatro partes por cien de resina.

b) Temperatura de Fusión:

La temperatura de fusión de los compuestos rígidos es de 170°C aproximadamente, y 130°C de los plastificados.

6.1.5 PROPIEDADES QUIMICAS

El PVC es soluble en ciclohexanona y tetrahidrofurano. Cuando forma un copolímero con el acetato de etilo o cloruro de vinilideno, se reduce su temperatura de deflexión.

El PVC puede postclorarse para formar el CPVC, elevando su temperatura de distorsión. Resiste a ácidos y bases fuertes, y regularmente a solventes orgánicos. Tiene buena resistencia a los efectos de los procesos oxidativos de la atmósfera, principalmente el ozono

6.1.6 ACONDICIONAMIENTO PREVIO

SECADO:

El compuesto de PVC menos del 0.02% de agua en 24 horas a temperatura ambiente, razón que permite procesarlo sin secarlo previamente.

Si en condiciones extremas se requiere secarlo, se recomienda hacerlo en una estufa de aire caliente a 65°C durante dos horas o en un secador de agentes químicos a 70°C de 1.0 a 1.5 horas.

El cuidado de temperaturas y tiempos es importante para evitar pérdidas de plastificante y modificaciones en las propiedades físicas del compuesto.

Un calentamiento prolongado puede conducir a la reducción de la efectividad del estabilizador, afectándose la estabilidad térmica del proceso.

REPROCESO:

Se debe cuidar no reprocesar más de un 20 % de material remolido con material virgen, aunque el uso final determina el porcentaje a reciclar. Hay que considerar que cada vez que el compuesto de PVC se reprocesa, reduce notablemente su estabilidad térmica y su facilidad de flujo, siendo necesario reformularlo con estabilizadores y lubricantes

6.1.7 TERMOFORMADO

Es un proceso de transformación secundario que consiste en el calentamiento de una lamina de compuesto de PVC para reblandecerla y, posteriormente, acoplarla a la superficie de un molde con la ayuda de medios neumáticos o mecánicos. Después se

enfriá el material para mantener la forma obtenida, se recortan las secciones útiles y se pasa a la siguiente etapa que puede ser llenado, sellado o impresión.

La lámina utilizada en termoformado se obtiene por los procesos primarios de extrusión o calandreo, prefiriéndose este último ya que se obtienen láminas más brillantes y con muy baja orientación en las moléculas, característica que es recomendable para obtener productos termoformados con buenas propiedades.

Las temperaturas de termoformado del compuesto de PVC, pueden variar según la formulación y espesores del material, están siempre en el intervalo de 110 a 150°C

Tabla 6.1: Propiedades Físico- Mecánicas más importantes del PVC

Propiedad	Método de Prueba	Valor	Unidades
Densidad	D792	1.16-1.35	g/cm ³
Resistencia a la Tensión	D638	3000-6000	psi
Módulo de Tensión	D638	0.5-20	psi
Módulo de Flexión	D790	10000-16000	psi
Elongación	D638	350-400	%
Resistencia Izod	D256	0.5-20	ft*lb/in
Dureza (Rockwell)	D785	55-85	Rockwell
Temperatura de Deflexión a 264 psi	D648	7-25	°C
Coefficiente lineal de expansión térmica	D696	9-18	mm/mm/°C
Absorción de agua por 24 horas	D570	< 0.1	%

6.2 POLI (ETILENO) DE ALTA DENSIDAD (HDPE)

6.2.1 GENERALIDADES:

El poli (etileno) pertenece al grupo de los polímeros de las poliolefinas. Estas provienen de hidrocarburos simples, compuestos por átomos de carbono e hidrógeno y con dobles enlaces C = C. Ejemplos de estos son el etileno, el polipropileno, y el isobutileno.

6.2.2 ESTRUCTURA:

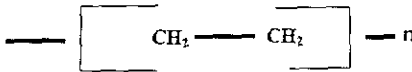


Figura 6.2: Estructura química del HDPE

Los polímeros de etileno son hidrocarburos saturados, de alto peso molecular y poco reactivos. Las macromoléculas no están unidas químicamente entre sí, excepto en los productos reticulados.

Por su estructura simétrica, presenta una gran tendencia a cristalizar, por ello el Polietileno es un termoplástico cristalino.

Según las condiciones de operación durante la reacción para la obtención del Polietileno (presión, temperatura, uso de iniciadores y catalizadores), la polimerización puede originar, tanto macromoléculas lineales o poco ramificadas, como macromoléculas muy ramificadas. La frecuencia con que aparecen las ramificaciones, se denomina grado de ramificación y se indica con el número de ramificaciones por cada 1000 átomos de carbono de la cadena principal.

Las diferencias mencionadas en la cadena de la macromolécula de poli (etileno), se refleja en las características físicas de cada tipo de poli (etileno).

El poli (etileno) con cadenas poco ramificadas tiene gran cristalinidad. La cristalinidad alta y la distancia corta entre macromoléculas vecinas hacen que el poli (etileno) tenga una alta densidad y mayor resistencia mecánica.

Por otra parte, debido a la estructura complicada del poli (etileno) de macromoléculas muy ramificadas, tiene una cristalinidad menor que el poli (etileno) de cadenas lineales. La mayor distancia entre las macromoléculas, resulta en una densidad menor y también menor resistencia mecánica.

6.2.3 PROPIEDADES FISICOQUIMICAS:

El poli(etileno) de Alta Densidad (HDPE), tiene una densidad en el rango de 0.941-0.965 g/cm³ ; presenta un alto grado de cristalinidad, siendo así un material opaco y de aspecto ceroso. Las propiedades de cristalinidad y mayor densidad se relacionan con las moléculas más empacadas, ya que casi no existen ramificaciones.

La rigidez, dureza y resistencia a la tensión de los polietilenos, se incrementa con la densidad, el HDPE presenta mejores propiedades que el LDPE. también presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión.

El calor necesario para llegar al punto de fusión, está relacionado con la cristalinidad. El poli (etileno) de Alta Densidad, muestra un punto de fusión de 128°C, mayor al del LDPE.

Por su naturaleza no polar, es como una gran molécula de hidrocarburo parafínico. El HDPE tiene excepcional resistencia a sustancias químicas y otros medios. No es atacado por soluciones acuosas, salinas, ácidos y álcalis. La solubilidad del poli (etileno) en hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados, depende de la cristalinidad, pero a temperaturas elevadas el HDPE es soluble en éstos.

Desventajas:

No resiste a agentes fuertes oxidantes como el ácido nítrico, ácido sulfúrico fumante, peróxidos de hidrógeno o halógenos.

6.2.4 APLICACIONES:

El HDPE cuenta con un número variado de aplicaciones, en el sector de envase y empaque se utiliza en bolsas para mercancía, bolsas para basura, botellas para leche y yogurth, cajas para transporte de botellas, envases para productos químicos, detergentes y limpiadores, frascos para productos cosméticos y capilares, recubrimientos de sobres, etc. En la industria eléctrica se usa como aislante de cable y alambre, para conexiones y cuerpos de bobina.

6.2.5 ACONDICIONAMIENTO PREVIO

SECADO:

Los polietilenos no requieren de secado, ya que su absorción de humedad para el LDPE es menor a 0.02% y para el HDPE es menor al 0.1%

En el caso de que por condiciones adversas el material este húmedo, se recomienda un secado en charolas, en un horno con circulación de aire caliente a 65°C durante 3 hr, o en un desecador a 80°C durante 1 a 1 1/2 hr

REGANULADO:

Se puede mezclar el recuperado con material virgen en una proporción del 30% aunque algunas piezas se trabajan con el 100% de material reciclado

Siempre que se realizan mezclas de material virgen con recuperado se debe cuidar que sean polímeros del mismo tipo, algunos grados de poli (etileno) no son compatibles entre sí y pueden afectar el producto.

6.2.6 TERMOFORMADO:

Es el moldeo de láminas de plástico por la acción del calor y una fuerza de formado, que puede ser por presión o vacío.

El método para el termoformado es el siguiente: el plástico en forma de lámina se calienta a una determinada temperatura, después es moldeado y finalmente enfriado.

Calidad de la Lámina:

La calidad de una pieza termoformada, no sólo depende de los pasos del método de termoformado, sino también de la calidad de la lámina extruída con la que se hace el formado.

Por las propiedades de la lámina del poli(etileno), éste puede ser formado por cualquiera de las técnicas usadas por el poli(estireno) o cualquier otro plástico.

La selección de la técnica depende de aspectos tales como: la dimensión de la pieza, tipo de superficie (texturizada o lisa), espesor de las paredes, profundidad del dibujo y otros

Calentamiento:

El intervalo de temperaturas para el termoformado de poli(etileno) oscila entre los 120-135°C.

Tabla 6.2: Propiedades Fisico- Mecánicas más importantes del HDPE

Propiedad	Método de Prueba	Valor	Unidades
Densidad	D792	0.941-0.965	g/cm ³
Resistencia a la Tensión	D638	2400-6100	psi
Módulo de Tensión	D638	0.6-1.8	psi
Módulo de Flexión	D790	100000-240000	psi
Elongación	D638	10-650	%
Resistencia Izod	D256	0.4-14	ft*lb/in
Dureza (Rockwell)	D785	75	Rockwell
Temperatura de Deflexión a 264 psi	D648	7-25	°C
Coefficiente lineal de expansión térmica	D696	0.55	mm/mm/°C
Absorción de agua por 24 horas	D570	< 0.1	%

6.3 POLIPROPILENO (PP)

6.3.1 GENERALIDADES

El poli (propileno) es un termoplástico que pertenece a la familia de las poliolefinas, se obtiene a través de la polimerización del propileno.

Este material también se conoció como polipropileno homopolímero y a pesar de que tenía excelentes propiedades físicas, no cubría otras como resistencia al impacto. En la década de los 60's se desarrolló un polipropileno copolímero, formado por etileno y propileno que tiene mayor resistencia al impacto y mantiene las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas de un homopolímero, contando con un mayor campo de aplicación; sin embargo, la aparición de nuevos productos así como la sustitución de la madera, metal y vidrio no se detuvieron, por ello el polipropileno tuvo que mejorar aún más sus propiedades mecánicas.

Así surgieron grados modificados que contienen cargas como fibra de vidrio, carbonato de calcio, talco o mica que hacen del polipropileno, un excelente material en piezas de ingeniería y electrodomésticos, presentando menor costo que el ABS, Nylon y poliéster Termoplástico

Debido a que la estructura del polipropileno homopolímero es semicristalina, no permite el paso de la luz libremente, es decir, que al no ser transparente, su aplicación en el mercado de empaque y envase estaba limitada. Por ese motivo, los fabricantes del polímero desarrollaron el polipropileno random clarificado que combina las propiedades del polipropileno normal con una excelente transparencia

Estructura:

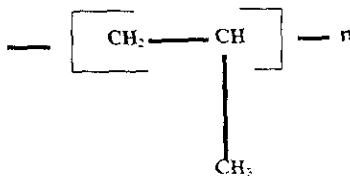


Figura 6.3: Estructura química del PP

6.3.2 Poli(propileno) Homopolímero

Presenta alta resistencia a la temperatura, puede esterilizarse por medio de rayos gamma y óxido de etileno, tiene buena resistencia a los ácidos y bases a temperaturas debajo de 80°C, pocos solventes orgánicos lo pueden disolver a temperatura ambiente. Posee buenas propiedades dieléctricas, su resistencia a la tensión es excelente en combinación con la elongación, su resistencia al impacto es buena a temperatura ambiente, pero a temperaturas debajo de 0°C se vuelve frágil y quebradizo.

6.3.3 Poli(propileno) Copolímero

Presenta excelente resistencia a bajas temperaturas, es más flexible que el tipo homopolímero, su resistencia al impacto es mucho mayor incrementando también su resistencia a la tensión al igual que la elongación; sin embargo, la resistencia química es inferior que el Homopolímero, debilidad que se acentúa a temperaturas elevadas.

Analizando las propiedades del polipropileno copolímero y homopolímero, se observa que éstas se encuentran muy cercanas, con la única diferencia de que el polipropileno copolímero, posee una mejor resistencia a la temperatura. Las propiedades de ambos tipos de polipropileno, se tratan en forma indistinta.

6.3.4 Poli(propileno) Copolímero Random

Las propiedades más sobresalientes del copolímero random son: el incremento en transparencia, flexibilidad y resistencia al impacto. Posee un índice de fluidez desde 1 g/10 min para soplado hasta 30 g/10 min para inyección

Su densidad es de 0.90 g/cm³ y la resistencia al impacto varía de 5.44 a 27.2 kg*cm/cm. Soporta productos químicos con ácidos, alcoholes y solventes hidrocarbonados.

6.3.5 Propiedades Físicas

Densidad:

Es útil para determinar la cantidad de materia prima que se va a utilizar en la fabricación de un artículo determinado.

El poli (propileno), en comparación con poli (etileno), tiene una densidad más baja permitiéndole que su rendimiento en producción sea mayor. Su rango de densidad es de 0.89 a 0.91 g/cm³.

Absorción de agua:

Es un material que no absorbe humedad y evita su secado previo para procesarlo, manteniendo una buena estabilidad dimensional, incluso en ambientes húmedos

Propiedades de Permeabilidad

El poli (etileno) de baja densidad, es siete veces más permeable que el poli (etileno) de alta densidad, mientras que el poli (propileno), presenta una permeabilidad intermedia. Un caso especial es el polipropileno biorientado, que reduce su permeabilidad.

6.3.6 Propiedades Mecánicas

Están en función del peso molecular y del grado de cristalinidad.

Resistencia a la Tensión:

Tiene un valor medio en comparación con los demás termoplásticos, la ventaja es que su resistencia se incrementa considerablemente durante el proceso de fabricación de películas, y cuerdas.

Resistencia al Impacto:

La resistencia al impacto del poli (propileno), es de 6.8 a 8.16 kg*cm/cm y por esta propiedad se emplea para fabricar carcasas de electrodomésticos, gabinetes, portafolios, botellas.

Resistencia a la Flexión:

El poli (propileno) es un material semi-rígido, su resistencia es de 600 kg/cm², se utiliza en la fabricación de contenedores de alimentos, y cajas.

Resistencia a la Compresión:

Esta propiedad indica la carga que soporta un plástico antes de deformarse. El Polipropileno presenta un valor de 500 kg/cm², se utiliza en la inyección de sillas y soportes para muebles.

6.3.7 Propiedades Térmicas

Conductividad Térmica:

El Polipropileno presenta un valor muy pequeño de conductividad, ya que el calor que absorbe lo transmite lentamente; esto se refleja en ciclos más largos de enfriamiento durante su transformación.

6.3.8 Propiedades Químicas:

Presenta excelente resistencia a los ácidos y bases fuertes o débiles, sólo lo ataca el ácido nítrico concentrado por arriba de los 80°C. Pocos solventes orgánicos pueden disolverlo a temperatura ambiente.

Cuando en condiciones de trabajo se tienen temperaturas altas de temperaturas altas en presencia de sustancias químicas corrosivas, se utiliza como poli (propileno), en lugar del poli (etileno), ya que el primero no sufre fisuración bajo la acción de estos agentes.

6.3.9 ACONDICIONAMIENTO PREVIO

SECADO

El poli (propileno) no requiere secado previo, ya que el material absorbe menos del 0.2% de humedad en 24 horas. De ser necesario el secado por estar manejando algún remolido o material contaminado, se aconseja que sea un horno de charolas a 80°C durante 2 a 3 horas en un desecador a 90°C, de 1 a 5 hr.

REGRANULADO

Dependiendo de las condiciones de moldeo, el regranulado tiende a degradarse y disminuir sus propiedades físicas como rigidez, resistencia al impacto, resistencia a la tensión y elongación, se recomienda utilizar un porcentaje de material virgen mezclado con regranulado, iniciando con un 20% de éste y disminuirlo paulatinamente hasta llegar a la mezcla óptima, para crear un producto con buenas propiedades mecánicas.

6.3.10 TERMOFORMADO

Tiene ventajas sobre inyección y soplado, debido a sus bajos requerimientos energéticos, baja presión, bajo costo del molde y su fácil fabricación en serie. El proceso consta de calentamiento de la lámina, formado, enfriamiento y cortado.

CALIDAD DE LA LAMINA

La termoformabilidad del poli (propileno) está directamente relacionada con la calidad de la lámina. Se recomienda tener como máxima variación en la uniformidad de espesores un 5%, ya que si no es así, algunas paredes del producto serán más delgadas y originarán zonas susceptibles de fractura.

De igual forma, el grado de orientación interviene en el proceso, ya que la orientación se mide como un porcentaje de contracción de la lámina en el momento de calentarla. Para láminas con espesores debajo de 2.5 mm la contracción debe ser del 5 al 10% máximo.

La orientación se proporciona durante el proceso de extrusión y está directamente relacionada con la apertura del dado, la temperatura de fundido y la tensión del sistema de jalado. Un alto nivel de orientación causa distorsión en el calentamiento de la lámina, provocando una mala distribución de la temperatura.

CALENTAMIENTO

El poli (propileno) requiere de más energía de calentamiento que el poli (etileno). Para láminas con espesor de 0.3 mm, se expone a una temperatura de 170 a 185°C porque se requiere de un buen calentamiento para obtener las condiciones de termoformado.

FORMADO

El poli (propileno) puede formarse por diferentes métodos como son: al vacío, por presión de aire, pistón con ayuda de vacío o combinaciones. Generalmente, la lámina tiene un pre-estiramiento para proporcionar uniformidad al material.

El método de pistón con ayuda de vacío, es el indicado cuando se desean obtener piezas pequeñas, profundidad constante y artículos bien definidos.

ENFRIAMIENTO

La temperatura del molde tiene un papel importante, afecta la apariencia de la pieza, la duración de los ciclos de formado y la estabilidad de dimensiones del producto.

Para el poli (propileno), las temperaturas recomendadas en el molde son de 30 a 65°C.

TROQUELADO

El troquelado de una pieza depende de la temperatura de la lámina y del tipo de cortador. Para espesores de película debajo de 1 mm el troquelado se lleva a cabo fácilmente teniendo un tiempo de enfriamiento de 1 a 2 min.

En espesores arriba de 3 mm y para piezas grandes, el cortado es en condiciones ambientales.

El troquelado de la pieza es de suma importancia, porque éste proporciona buena apariencia al terminado del producto; de otro modo, la pieza quedaría con orillas no uniformes y mal cortada.

La pieza formada se saca y recorta para obtener el artículo final

Tabla 6.3: Propiedades Fisico- Mecánicas más importantes del PP

Propiedad	Método de Prueba	Valor	Unidades
Densidad	D792	0.89-0.91	g/cm ³
Resistencia a la Tensión	D638	4500-10000	psi
Módulo de Tensión	D638	1.0-1.7	psi
Módulo de Flexión	D790	24500	psi
Elongación	D638	5500-1000	%
Resistencia Izod	D256	1.1-12	ft*lb/in
Dureza (Rockwell)	D785	100	Rockwell
Temperatura de Deflección a 264 psi	D648	8.1-10	°C
Coefficiente lineal de expansión térmica	D696	90 x 10 ⁻⁶	mm/mm/°C
Absorción de agua por 24 horas	D570	< 0.03	%

6.4 POLI (TEREFTALATO DE ETILENO) PET

6.4.1 GENERALIDADES

Es un material útil para la elaboración de botellas y envases biorientados que contengan alimentos que requieran larga vida de anaquel.

El PET por consumo se considera como un plástico commodity, su mayor mercado se encuentra en la industria de envases, razón por la cual ha tenido mayor desarrollo que el PBT.

6.4.2 Estructura

El PET por su baja velocidad de cristalización y en función de las condiciones de operación en la transformación, se puede encontrar en estado amorfo-transparente (A-PET) o semicristalino (C-PET) con un 30 a 40% de cristalinidad, lo que quiere decir que el PET es un plástico cristizable.

Los diferentes grados de PET se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y, de mayor peso molecular, grado ingeniería.

Los que poseen mayor cristalinidad son para el grado ingeniería, para lámina y botella se utiliza grado amorfo.

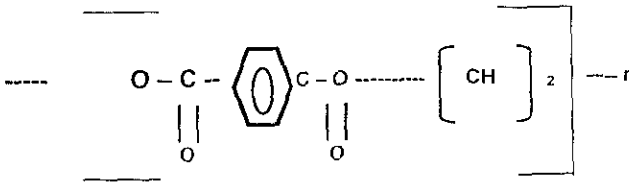


Figura 6 4: Estructura química del PET

6.4.3 PROPIEDADES

De manera general, se describirán las propiedades para el PET amorfo y PET cristalino. La densidad es de 1.33 g/cm^3 y de 1.38 g/cm^3 respectivamente.

a) Polietilen Tereftalato Semicristalino (C-PET)

Es un termoplástico blanco opaco. Posee resistencia mecánica media, pero rigidez y dureza elevadas, baja resistencia al impacto y gran resistencia a la abrasión.

El rango de temperaturas de uso continuo abarca desde -20 a 100°C (en aire caliente incluso hasta 135°C). Su dilatación térmica se sitúa en valores medios y bajos.

Tiene alta absorción de agua, buena resistencia a la fisura por tensión y a la intemperie, elevada impermeabilidad a gases, vapor de agua y aromas.

b) Polietilen Tereftalato Amorfo (A-PET)

Es un termoplástico transparente, presenta menor rigidez y dureza, pero mejor resistencia al impacto. Su rango de temperaturas de uso continuo se encuentra entre -40 a 60°C y en ausencia de aire hasta 100°C . Se cristaliza por encima de los 90°C provocando cierta turbidez a menos que haya sido orientado o sometido a tratamiento térmico con anterioridad.

Resiste a hidrocarburos clorados, posee propiedades químicas similares a las del C-PET. Tiene buenas propiedades de barrera a los gases no polares como el O_2 y el CO_2 .

6.4.4 ACONDICIONAMIENTO PREVIO

Antes de que los Poliésteres Termoplásticos y en especial el PET sean moldeados por cualquier proceso, es necesario reciban un acondicionamiento previo.

SECADO

Estos materiales requieren un secado antes del proceso de moldeo, ya que se caracterizan por su alto grado higroscópico, esto es, que absorben humedad del medio ambiente.

Durante el almacenaje, la resina absorbe la humedad hasta alcanzar el equilibrio. Este valor es de 0.6% en peso. Pero si se mantiene en empaques cerrados, no absorbe niveles de humedad mayores al 0.2% .

Para fabricar un buen producto de PET se requiere que la humedad sea menor de 0.004% y de ser posible hasta 0.003% antes de inyectar el material. La razón de secado, es que el agua, a la temperatura de fusión causa la degradación hidrolítica del polímero.

El resultado de la reacción del agua con el Poliéster, se traduce en una disminución de la viscosidad intrínseca que genera un decremento del peso molecular. Debido al rompimiento de las cadenas del polímero, disminuye la dureza y resistencia del producto final modificando las propiedades de flujo, provocando que se adhieran partes del material al molde y aparezcan "nubes" sobre la superficie del artículo.

En el caso del PET, la humedad contenida no sólo se encuentra en la superficie, sino que se transporta en el interior del gránulo por difusión; es por esta razón que el secado de los Poliésteres es diferente de otros materiales, donde sólo la humedad superficial tiene que ser eliminada. Debido a la penetración de la humedad, se requieren tiempos relativamente largos y altas temperaturas de operación.

REGRANULADO

Para el PET, la caída de viscosidad en un proceso controlado no debe ser mayor de 0.015 cps. Bajo estas condiciones se puede usar hasta un 50% de regranulado que también debe ser secado junto con el material virgen.

Se recomienda usar siempre una cantidad constante de regranulado.

Cuando se extruye lámina es importante considerar que si se incrementa la cantidad de recuperado, la densidad aparente baja y ocasiona que se formen puentes o cavernas en la toiva que no permiten un flujo continuo del material hacia la entrada del extrusor. En consecuencia se tienen variaciones en el espesor

6.4.5 TERMOFORMADO

El moldeo de termoplásticos por acción de temperatura y presión, recibe el nombre de termoformado

La manera como interviene la temperatura, es reblandeciendo la lámina y la presión o vacío proporcionan la fuerza para que dicha lámina adquiera una forma más específica.

CALIDAD DE LA LAMINA

La calidad de una pieza moldeada por termoformado depende de dos factores: procesamiento y calidad de lámina.

CALENTAMIENTO

El PET presenta condiciones semejantes al Polipropileno y PVC, en consecuencia, no tiene problemas para transformarse en máquinas convencionales de termoformado. Esta temperatura oscila de 121 a 166°C para el PET.

CORTE

Es el principal problema para el termoformado con PET, debido a que ofrece regular resistencia al corte con troquel.

Para el adecuado corte de la lámina de PET, se tienen las siguientes recomendaciones.

- La temperatura de la lámina debe ser lo más baja posible para evitar que se distorsione y no se doble durante el suajado o troquelado.
- Las navajas deben ser de acero de alta resistencia, afiladas y ajustadas con el mínimo claro posible. Asimismo, se deben revisar periódicamente para prevenir el rápido desgaste.
- Es preferible utilizar troqueles pesados para el proceso de corte de lámina PET y así facilitar la operación.

6.4.6 APLICACIONES

Envase y Empaque

Por sus buenas propiedades de barrera a gases y resistencia química, se utiliza en la fabricación de botellas, tarros y frascos para envasar bebidas, alimentos, productos cosméticos y farmacéuticos entre los que sobresalen, aguas, jugos, vinos y licores, aceites comestibles, aderezos para ensalada, vinagre, salsas, mermeladas, productos lácteos, lociones, artículos de tocador y medicamentos

PET Grado Película

Cuando la película se destina al empaque de alimentos, se emplea como base para laminados termosellables o metalizados.

Nuevos desarrollos ofrecen una película de PET metalizada con aluminio por un lado y recubierta por ambos con poli (cloruro de vinilideno) PVDC sellable térmicamente.

Se utiliza para el empaque de productos muy sensibles a la humedad que requieren larga vida de anaquel como los dulces, fármacos, reactivos y polvos para preparar bebidas.

Otro desarrollo interesante es el de la película que se encuentra químicamente preparada, para asegurar la adhesión de tintas y recubrimientos que no se adhieren bien a éste material. Se puede imprimir, recubrir, laminar, metalizar y colorear.

Tabla 6.4: Propiedades Físico- Mecánicas más importantes del PET

Propiedad	Método de Prueba	Valor	Unidades
Densidad	D792	1.37-1.41	g/cm ³
Resistencia a la Tensión	D638	20000-30000	psi
Módulo de Tensión	D638	0.2-0.8	psi
Módulo de Flexión	D790	10000-17000	psi
Elongación	D638	60-165	%
Resistencia Izod	D256	0.8	ft*lb/in
Dureza (Rockwell)	D785	100	Rockwell
Temperatura de Deflexión a 264 psi	D648	3.0-4.0	°C
Coefficiente lineal de expansión térmica	D696	15-20	mm/mm/°C
Absorción de agua por 24 horas	D570	< 0.1	%

Tabla 6.5: Propiedades Comparativa de las Principales Propiedades Físicas de los Polímeros en estudio

A continuación se muestra una tabla con las propiedades Físicas y Mecánicas más importantes de los Polímeros en estudio. En el capítulo VIII, se muestran los mismos valores de manera gráfica, lo cual nos ayuda a observar de manera más clara los valores de los diferentes polímeros, y de esta manera nos ayuda para hacer una recomendación con base en dichos valores, para seleccionar el material que servirá como envase primario para el ácido acetilsalicílico.

Propiedad	Método de Prueba	PP	PET	PVC	HDPE
Peso Específico (g/cm ³)	D792	0.89-0.91	1.37-1.41	1.16-1.35	0.941-0.965
Resistencia a la tensión (psi)	D638	4500-10000	20000-35000	3000-6000	2400-6100
Elongación %	D638	550-1000	60-165	350-400	10-650
Modulo a la Tensión (10 ⁵ psi)	D638	1.0-1.7	0.2-0.8	0.5-2.0	0.6-1.8
Resistencia al impacto Izod (ft*lb/in)	D790	1.1-12	0.8	0.5-2.0	0.4-14
Resistencia Dieléctrica (volt/mil)	D149	450-600	415-1200	425-1300	480
Constante Dieléctrica (1 KHz)	D150	Más de 10 ¹⁶	Más de 10 ¹⁶	10 ¹¹ -10 ¹⁵	Más de 10 ¹⁶

Tabla 6.6: Comparativa de Permeabilidad de los gases en estudio

Material	Permeabilidad en barrers $\left(\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \Delta P \cdot 10^{-10}}\right)$				Resistencia a grasas
	O ₂	CO ₂	Vapor de agua	N ₂	
Aluminio	0.00	0.00	0.00	0.00	Total
HDPE	100-200	580	0.3-0.5	42	Buena
PP	150-200	550	0.2-0.5	20	Buena
PVC	5-20	20-25	0.9-2.0	0.4	Pobre
PET	3-6	15-25	0.9-1.8	0.7-1.0	Buena

Capítulo VII: Cálculos

Partiendo de que los blisters de las tabletas comerciales, no se llenan con ningún gas en particular, calculamos la presión que ejercen los gases en el interior de un blister, tomando en cuenta el volumen libre que hay en un blister.

Este cálculo lo realizamos, con el objetivo de conocer el gas con el que nos convendría llenar el blister, para que la tableta, conserve todas sus propiedades por más tiempo, a saber de que sea llenado el blister con aire o con nitrógeno.

Medimos las dimensiones de las tabletas comerciales. Primero se midió el diámetro, la altura de las tabletas comerciales, en seguida se midió el diámetro, así como la altura promedio de un blister o envase primario. Para estas mediciones se empleó un calibrador digital, de la marca Starrett. y por último se pesó el blister y la tableta de la aspirina en una balanza digital marca Sartorius, modelo BP 310 P.

Para hacer ésta determinación se consideró tanto el blister como la tableta, como un cilindro perfecto.

Se tomaron 10 muestras de una tableta comercial, de un paquete que contiene 40 aspirinas, separadas en 4 tabillitas de 10 tabletas cada una de ellas.

7.1 Cálculos de las dimensiones de los blisters y de las tabletas

Para el diámetro de las tabletas de se obtuvieron los siguientes resultados:

1.- 12.12 mm	6 - 12 10 mm
2 - 12 11 mm	7.- 12.13 mm
3.- 12.10 mm	8.- 12.12 mm
4.- 12.11 mm	9.- 12.10 mm
5 - 12 11 mm	10.- 12.12 mm

Diámetro promedio = 12.11 mm
= 1.211 cm

Para la altura máxima hi de la tableta se obtuvieron los siguientes resultados:

1 - 4.99 mm	6 - 5.02 mm
2.- 5.00 mm	7 - 4.99 mm
3.- 4.98 mm	8.- 5.03 mm
4 - 4.97 mm	9.- 5.01 mm
5.- 4.99 mm	10 - 4.98 mm

$$\begin{aligned}\text{Altura máxima promedio} &= 4.996 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{10^3 \text{ mm}^3} = 499 \times 10^{-3} \text{ cm} \\ &= 0.499 \text{ cm}\end{aligned}$$

Con estos datos podemos obtener el volumen de una tableta, considerándola como un cilindro perfecto, y con la siguiente fórmula.

$$\text{Ec. 7.1} \quad \boxed{V = \Pi \cdot r^2 \cdot h}$$

y los siguientes datos.

$$r = 6.052 \text{ mm}$$

$$h = 4.996 \text{ mm}$$

$$V = 3.141592 \cdot 6.0562 \cdot 6.0562 \cdot 4.9962$$

$$\begin{aligned}\text{Obtenemos:} \quad V &= 575.707 \text{ mm}^3 \times \frac{1 \text{ cm}^3}{10^3 \text{ mm}^3} = 573 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 \\ &= 0.575 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Para el diámetro interno del blister, o envase primario, se obtuvieron los siguientes resultados:

1.- 12.68 mm	6 - 12.68 mm
2.- 12.68 mm	7 - 12.65 mm
3.- 12.69 mm	8.- 12.68 mm
4 - 12.68 mm	9.- 12.66 mm
5 - 12.74 mm	10 - 12.75 mm

$$\begin{aligned}\text{Diámetro interno promedio} &= 12.689 \text{ mm} \\ &= 1.2689 \text{ cm}\end{aligned}$$

Para la altura máxima del blister, se obtuvieron los siguientes resultados.

1 - 5.31 mm	6.- 5.37 mm
2.- 5.23 mm	7 - 5.38 mm
3 - 5.20 mm	8.- 5.55 mm
4 - 5.14 mm	9.- 5.43 mm
5 - 5.37 mm	10.- 5.42 mm

Altura máxima promedio = 5.34 mm
= 0.534 cm

Con estos datos podemos obtener el volumen del blister, considerándolo como un cilindro perfecto, y con la fórmula:

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

y los siguientes datos:

$$r = 6.3445 \text{ mm}$$

$$h = 5.34 \text{ mm}$$

$$V = 3.141592 * 6.3445^2 * 5.34$$

Obtenemos:

$$V = 675.283 \text{ mm}^3$$
$$= 0.6752 \text{ cm}^3$$

7.2 Cálculos del volumen libre ocupado por los diferentes gases que hay en los blisters

El volumen libre es el espacio que existe entre la tableta y el blister. Este volumen debe ser pequeño, no debe permitir que la tableta se mueva y golpee libremente dentro del recipiente, ya que esto puede provocar la fractura o por lo menos desgaste en las aristas del fármaco. Entre mayor sea el volumen libre, mayor será la posibilidad de movimiento, y de esta manera habrá choques de la tableta con las paredes del contenedor primario.

Un volumen libre de aproximadamente 10 al 12% del volumen del envase primario es adecuado para el buen funcionamiento del sistema.

Al conocer el volumen libre de un blister, considerándolo como un cilindro perfecto, y conociendo la composición del aire, podemos obtener el volumen que ocupa cada elemento que forma parte del aire, además del número de moles de cada componente, que hay en el volumen libre del blister de cada uno de estos gases.

De acuerdo con las medidas experimentales, previamente realizadas se obtuvo el volumen libre del blister, que es de 0.09957 cm^3 , es decir:

$$675.28 \text{ mm}^3 - 575.70 \text{ mm}^3 = 99.57 \text{ mm}^3$$

De acuerdo con los datos tomados de la Ref 8.

La composición típica del aire es: N₂ : 78% en volumen
O₂ : 21% en volumen
Otros gases: 1 %, en volumen del cual 0.936% es de Ar,
y 0.0328% es de CO₂

$$0.09957 \text{ cm}^3 \times 0.78 \text{ N}_2 = 0.0776 \text{ cm}^3 \text{ de N}_2$$

$$0.09957 \text{ cm}^3 \times 0.21 \text{ O}_2 = 0.0209 \text{ cm}^3 \text{ de O}_2$$

$$0.09957 \text{ cm}^3 \times 0.00936 \text{ Ar} = 9.36 \times 10^{-4} \text{ cm}^3 \text{ de Ar}$$

$$0.09957 \text{ cm}^3 \times 0.000328 \text{ CO}_2 = 3.2660 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \text{ de CO}_2$$

Ahora vamos a calcular el número de moles de N₂, O₂, Ar, CO₂ que hay en 0.09957 cm³ de aire, que corresponde al volumen libre en un blister, tomando las densidades de los gases a condiciones estándar de 0°C y 1 atm.

Ec 7.2

$$\text{Masa gas} = \frac{\text{Volumen del gas} \times \text{Densidad del gas}}{\text{Peso Molecular del gas}}$$

$$\text{Masa N}_2 = \frac{0.0776 \text{ cm}^3 \text{ de N}_2 \times 0.00125 \text{ g/cm}^3}{28 \text{ g/mol}} = 3.4642 \times 10^{-6} \text{ moles de N}_2$$

$$\text{Masa O}_2 = \frac{0.0209 \text{ cm}^3 \text{ de O}_2 \times 0.00429 \text{ g/cm}^3}{32 \text{ g/mol}} = 9.3331 \times 10^{-7} \text{ moles de O}_2$$

$$\text{Masa Ar} = \frac{9.3203 \times 10^{-4} \text{ cm}^3 \text{ de Ar} \times 0.001782 \text{ g/cm}^3}{39.94 \text{ g/mol}} = 4.1584 \times 10^{-8} \text{ moles de Ar}$$

$$\text{Masa CO}_2 = \frac{3.2660 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \text{ de CO}_2 \times 0.001976 \text{ g/cm}^3}{44 \text{ g/mol}} = 1.4667 \times 10^{-9} \text{ moles de CO}_2$$

Si además utilizamos la ecuación de Van der Waals, para describir el comportamiento de los gases reales tenemos:

Ec. 7.3

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2} \right) (V-nb) = nRT$$

Se conocen las constantes de Van der Waals para los componentes del aire, tomadas de la referencia:

Gas	a (atm*L ² /mol ²)	b (L/mol)
N ₂	1.39	0.0391
O ₂	1.36	0.0318
Ar	1.34	0.0322
CO ₂	3.59	0.0427
Aire	1.37	0.0372

Tabla 7.1: Constantes de Van der Waals para los gases en estudio

tenemos, para el O₂, del aire:

$$\frac{an^2}{V^2} = \frac{(1.36 \text{ atm} \cdot \text{L}^2/\text{mol}^2) (9.3331 \times 10^{-7} \text{ mol})^2}{(9.9576 \times 10^{-5} \text{ L})^2} = 1.1947 \times 10^{-4} \text{ atm}$$

$$nb = (9.3331 \times 10^{-7} \text{ mol}) (0.0318 \text{ L/mol}) = 2.9679 \times 10^{-8} \text{ L}$$

$$\begin{aligned} & (P + 9.1947 \times 10^{-4} \text{ atm}) (9.9576 \times 10^{-5} \text{ L} - 2.9679 \times 10^{-8} \text{ L}) = \\ & (9.3331 \times 10^{-7} \text{ mol}) (0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}) (263.15 \text{ K}) \end{aligned}$$

Despejando P, obtenemos para	T(°C)	Pcalculada
	-10°C	0.2013 atm
	20°C	0.2244 atm
	50°C	0.2321 atm

Para el N₂.

$$\frac{an^2}{V^2} = \frac{(1.39 \text{ atm}\cdot\text{L/mol}^2)(3.4642 \times 10^{-6} \text{ mol})^2}{(9.9576 \times 10^{-5} \text{ L})^2} = 1.6823 \times 10^{-3} \text{ atm}$$

$$nb = (3.4642 \times 10^{-6} \text{ mol})(0.0391 \text{ L/mol}) = 1.3545 \times 10^{-7} \text{ L}$$

$$(P + 1.6823 \times 10^{-3} \text{ atm})(9.9576 \times 10^{-5} \text{ L} - 1.3545 \times 10^{-7} \text{ L}) =$$

$$(3.4642 \times 10^{-6} \text{ mol})(0.082 \text{ atm}\cdot\text{L/mol}\cdot\text{K})(263.15 \text{ K})$$

Despejando P, obtenemos para

T(°C)	Pcalculada
-10°C	0.7500 atm
20°C	0.8357 atm
50°C	0.8643 atm

Para el Ar:

$$\frac{an^2}{V^2} = \frac{(1.34 \text{ atm}\cdot\text{L/mol}^2)(4.1584 \times 10^{-8} \text{ mol})^2}{(9.9576 \times 10^{-5} \text{ L})^2} = 2.3369 \times 10^{-7} \text{ atm}$$

$$nb = (4.1584 \times 10^{-8} \text{ mol})(0.0322 \text{ L/mol}) = 1.3390 \times 10^{-9} \text{ L}$$

$$(P + 2.3369 \times 10^{-7} \text{ atm})(9.9576 \times 10^{-5} \text{ L} - 1.3390 \times 10^{-9} \text{ L}) =$$

$(4.1584 \times 10^{-8} \text{ mol}) (0.082 \text{ atm}\cdot\text{L/mol}\cdot\text{K}) (263.15 \text{ K})$

Despejando P, obtenemos para

T(°C)	Pcalculada
-10°C	$9.0112 \times 10^{-3} \text{ atm}$
20°C	0.0100 atm
50°C	0.0110 atm

Para el CO₂

$$\frac{an^2}{V^2} = \frac{(3.59 \text{ atm}\cdot\text{L/mol}^2) (1.4667 \times 10^{-9} \text{ mol})^2}{(9.9576 \times 10^{-5} \text{ L})^2} = 7.8888 \times 10^{-10} \text{ atm}$$
$$nb = (1.4667 \times 10^{-9} \text{ mol}) (0.0427 \text{ L/mol}) = 6.2628 \times 10^{-11} \text{ L}$$

$$(P + 7.8888 \times 10^{-10} \text{ atm}) (9.9576 \times 10^{-5} \text{ L} - 6.2628 \times 10^{-11} \text{ L}) = (1.4667 \times 10^{-9} \text{ mol}) (0.082 \text{ atm}\cdot\text{L/mol}\cdot\text{K}) (263.15 \text{ K})$$

Despejando P, obtenemos para

T(°C)	Pcalculada
-10°C	$3.1783 \times 10^{-4} \text{ atm}$
20°C	$3.5407 \times 10^{-4} \text{ atm}$
50°C	$3.9030 \times 10^{-4} \text{ atm}$

Considerando que se va a llenar el blister únicamente con N₂, consideramos un 100% de este gas, tenemos los siguientes cálculos, nuevamente utilizando la ecuación de Van der Waals

$$\underbrace{\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)}_{\text{Presión corregida}} \underbrace{(V-nb)}_{\text{Volumen corregido}} = nRT$$

$$\text{Masa N}_2 = \underline{0.09957 \text{ cm}^3 \text{ de N}_2 \times 0.00125 \text{ g/cm}^3} = 4.445 \times 10^{-6} \text{ moles}$$

28 g/mol

$$\frac{an^2}{V^2} = \frac{(1.39 \text{ atm} \cdot \text{L/mol}^2) (4.445 \times 10^{-6} \text{ mol})^2}{(9.9576 \times 10^{-5} \text{ L})^2} = 2.7698 \times 10^{-3} \text{ atm}$$

$$nb = (4.445 \times 10^{-6} \text{ mol}) (0.0391 \text{ L/mol}) = 1.737 \times 10^{-7} \text{ L}$$

$$(P + 2.7698 \times 10^{-3} \text{ atm}) (9.9576 \times 10^{-5} \text{ L} - 1.737 \times 10^{-7} \text{ L}) = (4.445 \times 10^{-6} \text{ mol}) (0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}) (263.15 \text{ K})$$

Despejando P, obtenemos para

T(°C)	Pcalculada
-10°C	0.9621 atm
20°C	1.072 atm
50°C	1.108 atm

Para obtener la presión total ejercida por los componentes del aire, seguimos la Ley de Dalton de las presiones parciales:

Ec. 7.4

$$\sum P_i = P_t$$

Es decir, sumamos las presiones de todos los gases que conforman el aire, a una determinada temperatura y obtenemos una presión total.

Para el volumen libre de 1,100 ó 1000 blisters, es decir 0.09957 cm³, 9.9576 cm³, y 99 576 cm³, las presiones (en atmósferas) a diferentes temperaturas son las siguientes

Componentes del aire	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Aire: N ₂	0.7500 atm	0.8357 atm	0.8643 atm
O ₂	0.2013 atm	0.2244 atm	0.2321 atm
Ar	9.0112 x 10 ⁻³ atm	0.0100 atm	0.0110 atm
CO ₂	3.1783 x 10 ⁻⁴ atm	3.5407 x 10 ⁻⁴ atm	3.9030 x 10 ⁻⁴ atm
Presión Total	0.9606 atm	1.070 atm	1.1077 atm

Elemento: N ₂	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9621 atm	1.072 atm	1.1080 atm

Aire:	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9492 atm	1.057 atm	1.093 atm

Tabla 7.2 Presiones de los diferentes gases, a diferentes temperaturas, considerando las constantes de Van der Waals de los gases que conforman el aire, el N₂, y el aire como un elemento más

Ahora si recordamos que una mol de cada uno de los gases que componen el aire, bajo condiciones de 273°K y 1 atm ocupa 22.4 L, hacemos los mismos cálculos y obtenemos resultados muy parecidos a los cálculos que se hicieron con los valores de densidad

Por citar un ejemplo:

$$0.0776 \text{ cm}^3 * \frac{\text{moles} * 1\text{L}}{22.4 \text{ L} \quad 10^3 \text{cm}^3} = 3.4642 \times 10^{-6} \text{ moles}$$

Para el N₂ del aire:

$$\frac{an^2}{V^2} = \frac{(1.39 \text{ atm} \cdot \text{L/mol}^2) (3.4642 \times 10^{-6} \text{ mol})^2}{(9.9576 \times 10^{-5} \text{ L})^2} = 1.6823 \times 10^{-3} \text{ atm}$$

$$nb = (3.4642 \times 10^{-6} \text{ mol}) (0.0391 \text{ L/mol}) = 1.3545 \times 10^{-7} \text{ L}$$

$$(P + 1.6823 \times 10^{-3} \text{ atm}) (9.9576 \times 10^{-5} \text{ L} - 1.3545 \times 10^{-7} \text{ L}) =$$

$$(3.4642 \times 10^{-6} \text{ mol}) (0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}) (263.15 \text{ K})$$

Despejando P, obtenemos para

T(°C)	Pcalculada
-10°C	0.7500 atm
20°C	0.8071 atm
50°C	0.8643 atm

Al obtener todos los resultados para los diferentes gases que conforman al aire, así como para el caso en que sólo se llena con nitrógeno; a diferentes temperaturas y considerando cualquier volumen, la presión no va a cambiar construimos una tabla con dichos valores

Para 1, 100, ó 1000 blisters			
Componentes del aire	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Aire: N ₂	0.7500 atm	0.8071 atm	0.8643 atm
O ₂	0.2021 atm	0.2175 atm	0.2328 atm
Ar	9.0164×10^{-3} atm	9.7017×10^{-3} atm	1.038×10^{-2} atm
CO ₂	3.1783×10^{-4} atm	3.3996×10^{-4} atm	3.6397×10^{-4} atm
Presión Total	0.9614 atm	1.0346 atm	1.1078 atm

Para 1, 100, ó 1000 blisters			
Elemento: N ₂	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9622 atm	1.0722 atm	1.1088 atm

Para 1, 100, ó 1000 blisters			
Aire:	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9621 atm	1.0721 atm	1.1076 atm

Tabla 7.3. Presiones de los diferentes gases, a diferentes temperaturas, considerando las constantes de Van der Waals de los gases que conforman el aire, el N₂, y el aire como un elemento más

Para calcular las dimensiones del blister y de la tableta, desde un punto de vista más real, empleamos dos criterios más.

Criterio # 1:

El primero, basado en fórmulas geométricas (7), para calcular el volumen, considerando dos secciones para el volumen de la aspirina, la primer sección denominada sección I, de un casquete semiesférico, cuyo volumen lo calculamos con la siguiente fórmula:

$$\text{Ec. 7.5} \quad V_I = \frac{1}{2} \pi h i (r^2 + \frac{h i^2}{3})$$

y la segunda, de un cilindro, cuyo volumen, lo calculamos con la siguiente fórmula:

$$\text{Ec. 7.6} \quad V_{II} = \pi r^2 h_o$$

El siguiente diagrama describe la forma real de una tableta comercial, y podemos identificar sus volúmenes, y sus alturas.

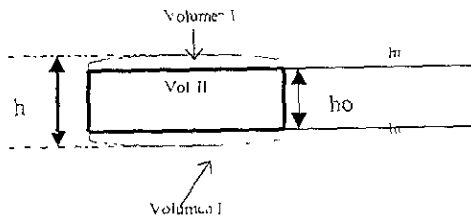


Figura 7 1: Diagrama de una tableta de aspirina para el caso 1.

Con los siguientes datos:

- h = 5 mm.**
- h_o = 2.88 mm.**
- r = 6.04 mm**

Por diferencia de alturas conocemos h_i, que es **2.12 mm**, y dividiendo entre las dos secciones del volumen I, nos da **1.06 mm** por cada sección del volumen I.

Por lo tanto el volumen I, V_I es

$$V_I = \frac{1}{2} \pi 3 141592 \cdot 1.06 \text{mm} (6.05^2 \text{mm} + \frac{1.06^2}{3} \text{mm})$$

$$V_I = 61.367 \text{ mm}^3$$

y sumando la otra sección del volumen I, que es exactamente igual, nos da un volumen I total de:

$$V_I = 122.734 \text{ mm}^3$$

Y para el volumen II, V_{II} es:

$$V_{II} = \Pi * r^2 * h_o$$

$$V_{II} = 3.141592 * 6.05^2 \text{ mm} * 2.88 \text{ mm}$$

$$V_{II} = 330.077 \text{ mm}^3$$

Sumando los volúmenes de las secciones I y II, tenemos el volumen total:

$$V_I + V_{II} = 122.734 \text{ mm}^3 + 330.077 \text{ mm}^3$$

$$V_T = 452.811 \text{ mm}^3$$

De igual forma tomando ahora, las dimensiones reales, del blister (7), consideramos dos volúmenes, el primer I, de un casquete esférico, cuyo volumen lo calculamos con la siguiente fórmula:

Ec. 7.7

$$V_I = \frac{1}{2} \Pi h (r^2 + \frac{h^2}{3})$$

y el segundo, de un cilindro, cuyo volumen, lo calculamos con la siguiente fórmula:

Ec. 7.8

$$V_{II} = \Pi * r^2 * h_o$$

El siguiente diagrama describe la forma real de un blister que protege una tableta de aspirina, y podemos identificar sus volúmenes, y sus alturas.

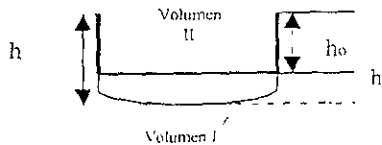


Figura 7.2 Diagrama de un blister para el caso 1

Con los siguientes datos.

$$h = 5.60 \text{ mm.}$$

$$h_o = 4.15 \text{ mm.}$$

$$r = 6.5 \text{ mm}$$

Por diferencia de alturas conocemos h_i , que es **1.45 mm**.

Por lo tanto el volumen I, V_I es:

$$V_I = \frac{1}{2} * 3.141592 * 1.45 \text{ mm} (6.5^2 \text{ mm} + \frac{1.45^2}{3} \text{ mm})$$

$$V_I = 97.82 \text{ mm}^3$$

Y para el volumen II, V_{II} es:

$$V_{II} = \pi * r^2 * h_o$$

$$V_{II} = 3.141592 * 6.50^2 \text{ mm} * 4.15 \text{ mm}$$

$$V_{II} = 550.839 \text{ mm}^3$$

Sumando los volúmenes de las secciones I y II, tenemos el volumen total:

$$V_I + V_{II} = 97.82 \text{ mm}^3 + 550.839 \text{ mm}^3$$

$$V_T = 648.639 \text{ mm}^3$$

Si se le compara con el cálculo simple que considera la tableta y al envase como cilindros, la diferencia entre los dos volúmenes es de. **96.25 mm³ = 0.0962 cm²**

Para el Volumen Libre, le restamos al Volumen del blister, el Volumen de la tableta de la aspirina:

$$\text{Volumen Libre} = \text{Volumen del blister} - \text{Volumen de la aspirina}$$

$$\text{Volumen Libre} = 648.639 \text{ mm}^3 - 452.811 \text{ mm}^3$$

$$= 195.828 \text{ mm}^3$$

$$= 0.1958 \text{ cm}^3$$

De acuerdo con las medidas experimentales, previamente realizadas se obtuvo el volumen libre del blister, que es de 0.1958 cm^3

Composición del aire: N_2 : 78% en volumen
 O_2 : 21% en volumen
 Otros gases: 1 %, en volumen del cual 0.936% es de Ar,
 y 0.0328% es de CO_2

$$0.1958 \text{ cm}^3 \times 0.78 \text{ N}_2 = 0.1527 \text{ cm}^3 \text{ de N}_2$$

$$0.1958 \text{ cm}^3 \times 0.21 \text{ O}_2 = 0.0411 \text{ cm}^3 \text{ de O}_2$$

$$0.1958 \text{ cm}^3 \times 0.00936 \text{ Ar} = 0.00183 \text{ cm}^3 \text{ de Ar}$$

$$0.1958 \text{ cm}^3 \times 0.000328 \text{ CO}_2 = 6.422 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \text{ de CO}_2$$

Ahora vamos a calcular el número de moles de N_2 , O_2 , Ar, CO_2 que hay en 0.1958 cm^3 de aire, es decir el volumen libre en un blister, tomando las densidades a condiciones estándar de 20°C y 1 atm.

$$\text{Masa N}_2 = \frac{0.1527 \text{ cm}^3 \text{ de N}_2 \times 0.00125 \text{ g/cm}^3}{28 \text{ g/mol}} = 6.8169 \times 10^{-6} \text{ moles de N}_2$$

$$\text{Masa O}_2 = \frac{0.0411 \text{ cm}^3 \text{ de O}_2 \times 0.001429 \text{ g/cm}^3}{32 \text{ g/mol}} = 1.8353 \times 10^{-6} \text{ moles de O}_2$$

$$\text{Masa Ar} = \frac{0.00183 \text{ cm}^3 \text{ de Ar} \times 0.001782 \text{ g/cm}^3}{39.94 \text{ g/mol}} = 8.1648 \times 10^{-8} \text{ moles de Ar}$$

$$\text{Masa CO}_2 = \frac{6.422 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 \text{ de CO}_2 \times 0.001976 \text{ g/cm}^3}{44 \text{ g/mol}} = 2.8840 \times 10^{-8} \text{ moles de CO}_2$$

Utilizando la ecuación de Van der Waals, calculamos la presión a diferentes temperaturas, obteniendo los siguientes resultados:

Para el volumen libre de 1, 100, ó 1000 blisters, es decir 0.1958 cm³, 19.58 cm³, y 195.8 cm³ las presiones (en atmósferas) a diferentes temperaturas son las siguientes:

Componentes del aire	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Aire: N ₂	0.7506 atm	0.8363 atm	0.8649 atm
O ₂	0.2022 atm	0.2252 atm	0.2329 atm
Ar	8.9979×10^{-3} atm	1.0023×10^{-2} atm	0.0103 atm
CO ₂	3.1770×10^{-4} atm	3.5399×10^{-4} atm	3.6599×10^{-4} atm
Presión Total	0.9621 atm	1.071 atm	1.1084 atm

Elemento: N ₂	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9622 atm	1.072 atm	1.1089 atm

Aire:	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9493 atm	1.057 atm	1.094 atm

Tabla 7.4. Presiones de los diferentes gases, a diferentes temperaturas, considerando las constantes de Van der Waals de los gases que conforman el aire, el N₂ y el aire como un elemento más

Ahora si consideramos que una mol de cada uno de los gases que componen el aire las condiciones estándar son 273°K y 1 atm, ocupa 22.4 L. hacemos los mismos cálculos y obtenemos resultados muy parecidos.

Por citar un ejemplo:

$$0.1527 \text{ cm}^3 * \frac{\text{moles}}{22.4 \text{ L}} * \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ cm}^3} = 6.8169 \times 10^{-6} \text{ moles}$$

Para el N₂ del aire.

$$\frac{an^2}{V^2} = \frac{(1.39 \text{ atm} \cdot \text{L/mol}^2) (6.8169 \times 10^{-6} \text{ mol})^2}{(1.958 \times 10^{-4} \text{ L})^2} = 1.6501 \times 10^{-5} \text{ atm}$$

$$nb = (6.8169 \times 10^{-6} \text{ mol}) (0.0391 \text{ L/mol}) = 2.6654 \times 10^{-7} \text{ L}$$

$$(P + 1.6501 \times 10^{-5} \text{ atm}) (1.958 \times 10^{-4} \text{ L} - 2.6654 \times 10^{-7} \text{ L}) = (6.8169 \times 10^{-6} \text{ mol}) (0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}) (263.15 \text{ K})$$

Despejando P, obtenemos para	T(°C)	Pcalculada
	-10°C	0.7506 atm
	20°C	0.8363 atm
	50°C	0.8649 atm

Al obtener todos los resultados para los diferentes gases que conforman al aire, así como para el caso en que sólo se llena con nitrógeno, a diferentes temperaturas y considerando 1, 100, o 1000 blisters, ya que la presión no va a cambiar construimos una tabla con dichos valores

Para 1, 100, ó 1000 blisters			
Componentes del aire:	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Aire: N ₂	0.7506 atm	0.8363 atm	0.8649 atm
O ₂	0.2021 atm	0.2252 atm	0.2328 atm
Ar	9.0032×10^{-3} atm	1.0029×10^{-2} atm	1.0371×10^{-2} atm
CO ₂	3.1594×10^{-3} atm	3.5196×10^{-3} atm	3.6396×10^{-3} atm
Presión Total	0.9648 atm	1.0750 atm	1.1117 atm

Para 1, 100, ó 1000 blisters			
Elemento: N ₂	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9622 atm	1.0722 atm	1.1088 atm

Para 1, 100, ó 1000 blisters			
Aire:	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9621 atm	1.0721 atm	1.1085 atm

Tabla 7.5. Presiones de los diferentes gases a diferentes temperaturas considerando las constantes de Van der Waals de los gases que conforman el aire, el N₂, y el aire como un elemento más.

Criterio # 2:

El segundo criterio es parecido al primero, pero empleamos la siguiente fórmula para calcular el volumen de la aspirina :

Ec. 7.9

$$V = \pi r^2 h + 2\pi r^2 \frac{(h - h')}{2}$$

El siguiente diagrama describe la forma real de una tableta de aspirina, y podemos identificar sus volúmenes, y sus alturas.

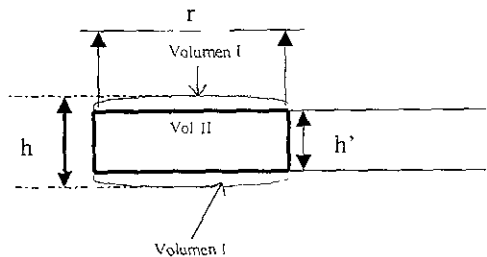


Figura 7.3: Diagrama de una tableta de aspirina, para el caso 2

Con los siguientes datos:

- h = 5 mm.**
- h' = 2.88 mm.**
- r = 6.04 mm**

Obtenemos el volumen de la aspirina que es de: **573.051 mm³**

De igual forma tomando ahora, las dimensiones reales del blister, cuyo volumen lo calculamos con la siguiente fórmula:

Ec. 7.10

$$V = \pi r^2 h' + \pi r^2 \frac{(h - h')}{2}$$

El siguiente diagrama describe la forma real de un blister que protege una tableta de aspirina, y podemos identificar sus volúmenes, y sus alturas

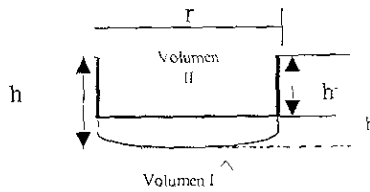


Figura 7.4 Diagrama de un blister para el caso 2

Con los siguientes datos:

$$h = 5.60 \text{ mm.}$$

$$h' = 4.15 \text{ mm.}$$

$$r = 6.5 \text{ mm}$$

Obtenemos el volumen que es igual a: 647.069 mm^3

Para calcular el Volumen Libre, restamos al Volumen del blister, el Volumen de la tableta de la aspirina:

$$\text{Volumen Libre} = \text{Volumen del blister} - \text{Volumen de la aspirina}$$

$$\text{Volumen Libre} = 647.069 \text{ mm}^3 - 573.051 \text{ mm}^3$$

$$= 74.018 \text{ mm}^3$$

$$= 0.074 \text{ cm}^3$$

Observamos que el valor es más pequeño que el volumen que se calculó con las dos fórmulas empleadas anteriormente.

NO LA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Para el volumen libre de 1, 100, ó 1000 blisters, es decir 0.074 cm^3 , 7.4 cm^3 ó 74 cm^3 las presiones calculadas en atmósferas a diferentes temperaturas son las siguientes. Si se considera que el sellado con aluminio es hermético

Componentes del aire:	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Aire: N ₂	0.7507 atm	0.8364 atm	0.8650 atm
O ₂	0.2023 atm	0.2254 atm	0.2331 atm
Ar	9.010×10^{-3} atm	1.0037×10^{-2} atm	0.0103 atm
CO ₂	3.1784×10^{-4} atm	3.540×10^{-4} atm	3.6615×10^{-4} atm
Presión Total	0.9622 atm	1.0721 atm	1.1087 atm

Elemento: N ₂	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9623 atm	1.0721 atm	1.1088 atm

Aire:	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9495 atm	1.0723 atm	1.094 atm

Tabla 7.6 Presiones de los diferentes gases, a diferentes temperaturas, considerando las constantes de Van der Waals de los gases que conforman el aire, el N₂, y el aire como un elemento más

Ahora si consideramos el volumen que ocupa una mol en un litro, es decir 22.4 moles/L, y tomamos en cuenta las condiciones standar, hacemos los mismos cálculos y obtenemos resultados muy parecidos

Al obtener todos los resultados para los diferentes gases que conforman al aire, así como para el caso en que sólo se llena con nitrógeno, a diferentes temperaturas y considerando cualquier volumen, la presión no va a cambiar construimos una tabla con dichos valores

Para 1, 100, ó 1000 blisters			
Componentes del aire:	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Aire: N ₂	0.750 atm	0.8036 atm	0.864 atm
O ₂	0.2017 atm	0.2247 atm	0.2323 atm
Ar	9.013×10^{-3} atm	1.0040×10^{-2} atm	1.038×10^{-2} atm
CO ₂	3.159×10^{-4} atm	3.519×10^{-4} atm	3.6393×10^{-4} atm
Presión Total	0.961 atm	1.038 atm	1.107 atm

Para 1, 100, ó 1000 blisters			
Elemento: N ₂	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	1.099 atm	1.2256 atm	1.2675 atm

Para 1, 100, ó 1000 blisters			
Aire:	Temperatura		
	-10°C	20°C	50°C
Presión Total	0.9621 atm	1.0721 atm	1.1088 atm

Tabla 7.7 Presiones de los diferentes gases a diferentes temperaturas, considerando las constantes de Van der Waals de los gases que conforman el aire, el N₂, y el aire como un elemento más

7.3 Cálculo de moles de ácido acetilsalicílico que contine cada tableta en promedio

Cada tableta contiene en promedio 0.5 g de $C_9H_8O_4$

$$\text{Es decir} \quad 0.5 \text{ g de } C_9H_8O_4 \times \frac{1 \text{ mol } C_9H_8O_4}{180 \text{ g } C_9H_8O_4} = 2.77 \times 10^{-3} \text{ moles}$$

En una tira de 10 tabletas hay: 0.0277 moles de ácido acetilsalicílico

En una caja de 40 tabletas hay: 0.1111 moles de ácido acetilsalicílico

En 100 tabletas hay: 0.2777 moles de ácido acetilsalicílico

En 1000 tabletas hay: 2.777 moles de ácido acetilsalicílico

Tabla 7.8. Moles que hay entre una tableta de ácido acetilsalicílico, y moles de cada uno de los gases que conforman el aire, para 1, 100 o 1000 blister, considerando la densidad.

Componente	g	Considerando un cilindro perfecto		Considerando el criterio 1		Considerando el criterio 2	
		Moles n	Moles n	Moles n	Moles n	Moles n	Moles n
Acido Acetilsalicílico	0.5	2.77×10^3	6.81×10^6	2.94×10^6			
Aire: N ₂		3.46×10^6	1.83×10^8	6.07×10^7			
		9.33×10^7	8.16×10^8	3.09×10^8			
	O ₂	4.15×10^8	2.88×10^9	1.09×10^9			
	Ar	1.46×10^9	8.74×10^8	3.30×10^8			
CO ₂							
N ₂		4.44×10^6					

Tabla 7.9. Moles que hay entre una tableta de ácido acetil salicílico, y moles de cada uno de los gases que conforman el aire, para 1, 100 o 1000 blister, considerando el volumen que ocupa un mol en un litro, es decir 22.4 moles/L

Componente Acido Acetilsalicílico Aire: N ₂	g	Considerando un cilindro perfecto		Considerando el criterio 1		Considerando el criterio 2	
		Moles n	Moles n	Moles n	Moles n	Moles n	Moles n
	0.5	2.77×10^1	6.81×10^6	2.57×10^1			
		3.46×10^6	1.83×10^8	6.91×10^7			
		9.33×10^7	8.16×10^8	3.09×10^8			
O ₂		4.17×10^8	2.86×10^9	1.08×10^9			
Ar		1.45×10^9	8.74×10^8	3.30×10^8			
CO ₂							
N ₂		3.46×10^6					

Las moles del ácido acetilsalicílico son 2.77×10^3 moles comparadas con las moles de O₂ son 8.16×10^7 , es decir:

$$\frac{2.77 \times 10^3}{8.16 \times 10^7} = 3 \times 10^{-5} \text{ moles, } \approx 3000 \text{ veces más moles del ácido acetilsalicílico, lo cual hace poco significativo las reacciones de oxidación de la aspirina, bajo estas condiciones, algo que es muy bueno para el producto, ya que tendría una vida de anaquel muy alta}$$

7.4 Cálculos para el Espesor de un Blister, considerando el Esfuerzo Normal

Si consideramos la siguiente ecuación: (Ref 12)

7.11

$$\sigma = \frac{pr}{t}$$

donde σ = esfuerzo normal

p = presión manométrica interna, desarrollada por el gas o fluido contenido

r = radio interior del cilindro

t = espesor de la pared del blister del polímero de PVC

Se presenta el esfuerzo normal, como una función de la presión interna que ejercen los gases en un blister, así como del radio del mismo. Además consideramos los diferentes radios que empleamos en nuestros 3 criterios, así como la ecuación 7.3 para obtener la presión interna, obtenemos el espesor de la pared del blister

Tomando como ejemplo el polímero llamado PVC, donde su esfuerzo normal tiene un valor de 246.73 atm ó 25Mpa, obtenemos los siguientes resultados:

Polímero: PVC

Tabla 7 10

Espesor resultante de un blister, considerando el Esfuerzo Normal

Temperatura	-10	20	50
Aire*	2.05×10^{-2}	2.29×10^{-2}	2.37×10^{-2}
Nitrógeno	2.06×10^{-2}	2.29×10^{-2}	2.37×10^{-2}
Aire*	2.03×10^{-2}	2.26×10^{-2}	2.34×10^{-2}

(1) Considerando la densidad del gas correspondiente

Tabla 7 11

Temperatura	-10	20	50
Aire*	2.06×10^{-2}	2.21×10^{-2}	2.37×10^{-2}
Nitrógeno	2.06×10^{-2}	2.29×10^{-2}	2.37×10^{-2}
Aire*	2.06×10^{-2}	2.29×10^{-2}	2.37×10^{-2}

(2) Considerando el volumen que ocupa una mol a condiciones normales

Tabla 7 12

Temperatura	-10	20	50
Aire*	2.11×10^{-2}	2.35×10^{-2}	2.43×10^{-2}
Nitrógeno	2.11×10^{-2}	2.35×10^{-2}	2.43×10^{-2}
Aire*:	2.08×10^{-2}	2.32×10^{-2}	2.40×10^{-2}

(1) Considerando la densidad del gas correspondiente

Tabla 7 13

Temperatura	-10	20	50
Aire*	2.11×10^{-2}	2.36×10^{-2}	2.44×10^{-2}
Nitrógeno	2.11×10^{-2}	2.35×10^{-2}	2.43×10^{-2}
Aire*:	2.11×10^{-2}	2.35×10^{-2}	2.43×10^{-2}

(2) Considerando el volumen que ocupa una mol a condiciones normales.

Tabla 7 14

Temperatura	-10	20	50
Aire*	2.11×10^{-2}	2.35×10^{-2}	2.43×10^{-2}
Nitrógeno	2.11×10^{-2}	2.35×10^{-2}	2.43×10^{-2}
Aire*:	2.08×10^{-2}	2.35×10^{-2}	2.40×10^{-2}

(1) Considerando la densidad del gas correspondiente

Tabla 7 15

Temperatura	-10	20	50
Aire*	2.10×10^{-2}	2.27×10^{-2}	2.43×10^{-2}
Nitrógeno	2.41×10^{-2}	2.69×10^{-2}	2.78×10^{-2}
Aire*:	2.11×10^{-2}	2.35×10^{-2}	2.43×10^{-2}

(2) Considerando el volumen que ocupa una mol a condiciones normales.

7.5 Cálculos para el Esfuerzo Normal

Una vez que conocemos el radio interno, y la presión interna de los blisters para cada uno de los elementos que conforman el aire, y que podrían estar dentro de los blisters, así como si únicamente estuviera la tableta en una atmósfera inerte de nitrógeno, podemos calcular el esfuerzo normal

El blister de una tableta comercial, tiene dos intervalos de espesor, uno que va de 0.0237 cm a 0.0262 cm, y el otro que va de 0.0190 cm a 0.0210 cm, si tomamos el promedio de ambos intervalos, podemos realizar el siguiente cálculo:

Oxígeno a -10°C :

$$\sigma = \frac{(0.1768 \text{ atm})(0.6344 \text{ cm})}{0.02495 \text{ cm}} = 4.4950 \text{ atm}$$

De esta manera, podemos hacer tablas con los valores de todos los gases, a diferentes temperaturas, para cualquier volumen, en atmósferas, g/cm^3 , o MPa, considerando la densidad, así como las moles que hay en un litro

Tabla 7.16: Cálculos del esfuerzo normal, considerando la fórmula del cilindro perfecto para el bístico [1] valor del esfuerzo está dado en atmósferas.

	Esfuerzo Normal en atm (1)					Esfuerzo Normal en atm (2)						
	Espesor: 0.02495 cm					Espesor: 0.02 cm						
Temperatura	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50			
Aire♦ :	24.425	27.206	28.165	30.470	33.940	35.136	24.445	26.306	28.167	30.495	32.817	35.139
Nitrógeno	24.463	27.257	28.172	30.517	34.003	35.147	24.465	27.262	28.193	30.520	34.010	35.171
Aire* :	24.135	26.876	27.791	30.108	33.528	34.669	24.463	27.260	28.162	30.517	34.007	35.133

Aire♦: Los valores del esfuerzo normal, provienen de la fórmula $\sigma = pr/t$, donde los valores de la presión son tomados de la suma de las presiones parciales, que ejercen los gases que conforman el aire, y considerando previamente las constantes de Van der Waals, para cada uno de estos gases.

Nitrógeno: Los valores del esfuerzo normal, provienen de la fórmula $\sigma = pr/t$, donde los valores de la presión son tomados de la presión que ejerce el nitrógeno, considerando las constantes de Van der Waals para el aire nitrógeno.

Aire*: Los valores del esfuerzo normal, provienen de la fórmula $\sigma = pr/t$, donde los valores de la presión son tomados de la presión que ejerce el aire, considerando las constantes de Van der Waals para el aire seco.

- (1) Considerando la densidad del gas correspondiente
- (2) Considerando que una mol ocupa 22.4 L a condiciones normales

Tabla 7.17. Cálculos del esfuerzo normal, considerando que los datos fueron obtenidos, siguiendo el criterio 1, donde se emplearon las fórmulas: 7.5, 7.6, 7.7 y 7.8.

Esfuerzo Normal en atm (1)					Esfuerzo Normal en atm (2)							
Espesor: 0.02495 cm					Espesor: 0.02 cm							
	-10	20	50		-10	20	50	-10	20	50		
Temperatura	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50
Aire*	25.064	27.901	28.876	31.268	34.807	36.023	25.064	27.901	28.876	31.265	34.807	36.023
Nitrogeno	25.067	27.927	28.889	31.271	34.84	36.039	25.067	27.933	28.889	31.271	34.846	36.039
Aire**:	24.731	27.537	28.889	30.852	34.352	25.555	25.064	27.865	28.865	31.268	34.843	36.01

Tabla 7.18. Cálculos del esfuerzo normal, considerando que los datos fueron obtenidos, siguiendo el criterio 2, donde se emplearon las fórmulas: 7.9, y 7.10

Esfuerzo Normal en atm (1)						Esfuerzo Normal en atm (2)						
Espesor: 0.02495 cm			Espesor: 0.02 cm			Espesor: 0.02495 cm			Espesor: 0.02 cm			
	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50
Temperatura	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50
Aire*	25.067	27.930	28.883	31.271	34.843	36.032	25.036	27.901	28.839	31.232	34.807	35.977
Nitrogeno	25.069	27.933	28.886	31.274	34.846	36.036	28.631	31.929	33.021	35.717	39.832	41.193
Aire**:	24.736	27.563	28.501	30.858	34.385	35.555	25.064	27.930	28.886	31.268	34.843	36.036

Tabla 7.19: Cálculos del esfuerzo normal, considerando la fórmula del cilindro perfecto para el blister.

		Esfuerzo Normal en g/cm^2 (1)					Esfuerzo Normal en g/cm^2 (2)					
		Espesor: 0.02495 cm		Espesor: 0.02 cm			Espesor: 0.02495 cm		Espesor: 0.02 cm			
Temperatura	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50
Aire* :	25243.4	28117.5	29108	31490.9	35077.2	36313.2	25264	27187.4	29110.7	31516	33916	36316
Nitrógeno	25282.6	28170.2	29115	31539.5	35142.3	36324.6	25284	28175.4	29137.6	31542	35149	36349
Aire* :	24943.6	27776.5	28722	31116	35142.3	35830.6	25282	28173.3	29105.6	31539	35146	36310

Tabla 7.20: Cálculos del esfuerzo normal, considerando que los datos fueron obtenidos, siguiendo el criterio 1, donde se emplearon las fórmulas: 7.5, 7.6, 7.7, y 7.8

		Esfuerzo Normal en g/cm^2 (1)					Esfuerzo Normal en g/cm^2 (2)					
		Espesor: 0.02495 cm		Espesor: 0.02 cm			Espesor: 0.02495 cm		Espesor: 0.02 cm			
Temperatura	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50
Aire* :	25903.8	28835.8	29843	32315.6	35973.2	37230.0	25903	28835.8	29843.5	32312	35973	37230
Nitrógeno	25906.9	28862.7	29856	32318.7	36007.3	37246.5	25906	28868.9	29856.9	32318	36013	37246
Aire* :	25559.6	28459.6	29856	31885.7	35503.0	36746.3	25903	28798.6	29832.1	32315	36010	37216

Tabla 7.21: Cálculos del esfuerzo normal, considerando que los datos fueron obtenidos, siguiendo el criterio 2, donde se emplearon las fórmulas: 7.9 y 7.10

		Esfuerzo Normal en g/cm^2 (1)					Esfuerzo Normal en g/cm^2 (2)					
		Espesor: 0.02495 cm		Espesor: 0.02 cm			Espesor: 0.02495 cm		Espesor: 0.02 cm			
Temperatura	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50
Aire* :	25906.9	28865.8	29850	32318.7	36010.4	37239.3	25874	28835.8	29805.3	32278	35973	37182
Nitrógeno	25908.9	28868.9	29853	32321.8	36013.5	37243.4	29590	32998.8	34127.4	36913	41166	42573
Aire* :	25564.8	28486.5	29455	31891	35537.1	37243.4	25903	28865.8	29853.8	32315	36010	37243

Tabla 7.22: Cálculos del esfuerzo normal, considerando la fórmula del cilindro perfecto para el blister.

Esfuerzo Normal en MPa (1)					Esfuerzo Normal en MPa (2)							
Espesor: 0.02495 cm					Espesor: 0.02 cm							
Temperatura	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50			
Aire \Rightarrow :	2.474	2.756	2.853	3.0873	3.438	3.560	2.476	2.665	2.854	3.089	3.325	3.560
Nitrógeno	2.478	2.761	2.854	3.092	3.445	3.561	2.478	2.762	2.856	3.092	3.446	3.563
Aire*:	2.445	2.723	2.815	3.050	3.397	3.512	2.478	2.762	2.853	3.092	3.445	3.559

Tabla 7.23: Cálculos del esfuerzo normal, considerando que los datos fueron obtenidos, siguiendo el criterio 1, donde se emplearon las fórmulas: 7.5, 7.6, 7.7, y 7.8.

Esfuerzo Normal en MPa (1)					Esfuerzo Normal en MPa (2)							
Espesor: 0.02495 cm					Espesor: 0.02 cm							
Temperatura	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50			
Aire \Rightarrow :	2.539	2.827	2.925	3.168	3.526	3.650	2.538	2.827	2.925	3.167	3.526	3.650
Nitrógeno	2.539	2.829	2.927	3.169	3.530	3.651	2.539	2.830	2.927	3.168	3.530	3.651
Aire*:	2.505	2.790	2.927	3.126	3.480	3.602	2.539	2.823	2.924	3.168	3.530	3.648

Tabla 7.24: Cálculos del esfuerzo normal, considerando que los datos fueron obtenidos, siguiendo el criterio 2, donde se emplearon las fórmulas: 7.9, y 7.10

Esfuerzo Normal en MPa (1)					Esfuerzo Normal en MPa (2)							
Espesor: 0.02495 cm					Espesor: 0.02 cm							
Temperatura	-10	20	50	-10	20	50	-10	20	50			
Aire \Rightarrow :	2.539	2.830	2.926	3.168	3.530	3.651	2.536	2.827	2.922	3.164	3.526	3.645
Nitrógeno	2.540	2.830	2.926	3.168	3.530	3.651	2.901	3.235	3.345	3.619	4.035	4.173
Aire*:	2.506	2.792	2.887	3.126	3.484	3.602	2.539	2.830	2.926	3.168	3.530	3.651

Capítulo VIII: Gráficas de valores de las Propiedades Físicoquímicas de los Polímeros en estudio y Discusión de Resultados

A continuación se muestran las gráficas de las propiedades físicoquímicas más importantes de los polímeros en estudio, con su respectivo valor, y sus respectivas unidades, así como el método de prueba, según las normas ASTM.

Las gráficas son muy importantes, ya que podemos comparar de una manera más clara y concisa los valores de las propiedades que estamos estudiando, y nos ayudan a decidir cuál es el polímero más recomendable para la manufactura de blisters para envasar fármacos.

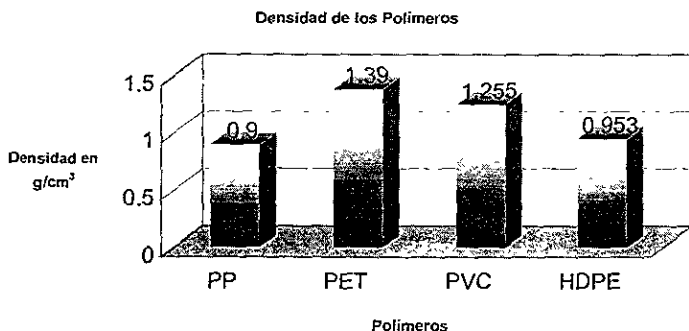


Figura 7.1: Densidad de los Polímeros en g/cm³, según el método ASTM D 792

Observamos que los Polímeros con menor densidad para la manufactura de blisters son el PP y el HDPE, pero debido a sus propiedades ópticas no son tan convenientes para los blisters.

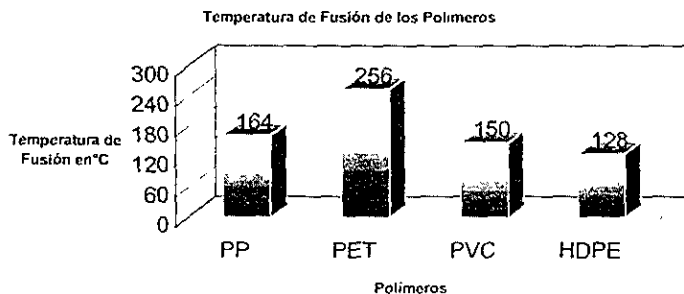


Figura 7.2: Temperatura de Fusión en °C de los Polímeros, según el método ASTM D 638

Las temperaturas más elevadas nos permitirán que los Polímeros, nombrados como PP y PET conserven sus propiedades físicoquímicas y mecánicas por más tiempo en casos extremos.

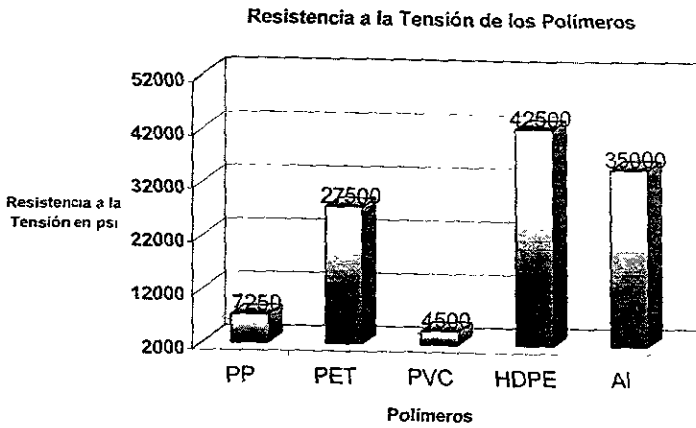


Figura 7.3: Resistencia a la Tensión de los Polímeros en psi, según el método ASTM D 638

En ésta gráfica podemos comparar la Resistencia a la tensión de los 4 polímeros en estudio con el aluminio, y observamos que el PET y el HDPE presentan una mayor resistencia a la tensión que los demás.

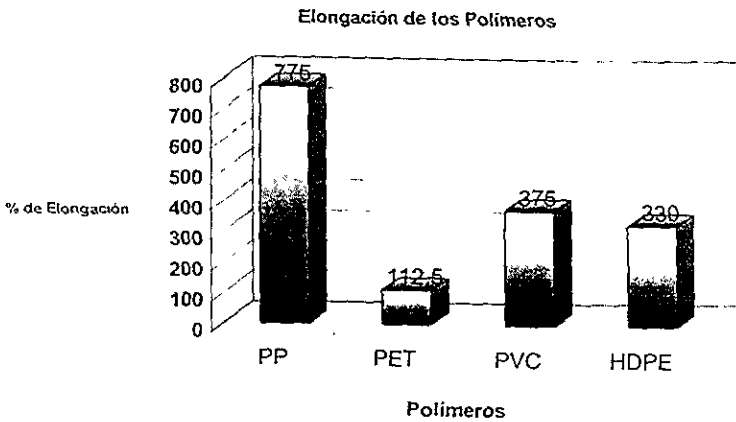


Figura 7.4: % de Elongación de los Polímeros, según el método ASTM D 638

Observamos que el PP, tiene un porcentaje de elongacion mas alto que los demas polímeros

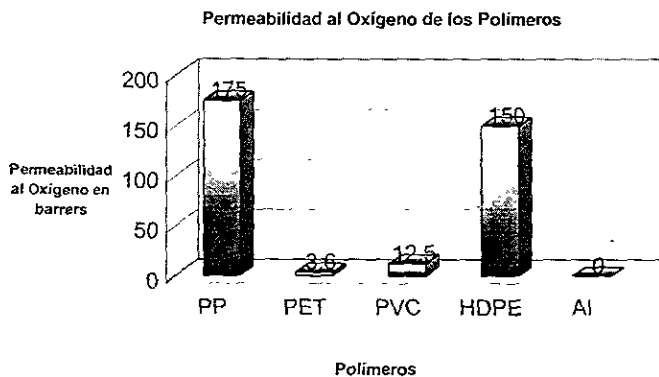


Figura 7.5. Permeabilidad de los Polímeros al Oxígeno, en barrers

Los polímeros que presentan menor permeabilidad al O_2 son el PET y el PVC, los cuales no permiten el paso de éste gas en grandes cantidades, en comparación al PP y al HDPE.

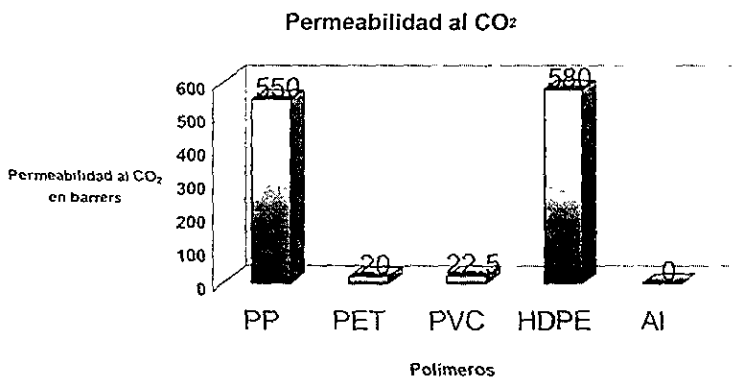


Figura 7.6. Permeabilidad de los Polímeros al CO_2 , en barrers

Los Polímeros que presentan menor permeabilidad al CO_2 son el PET y el PVC, por eso son más recomendados para la manufactura de blisters.

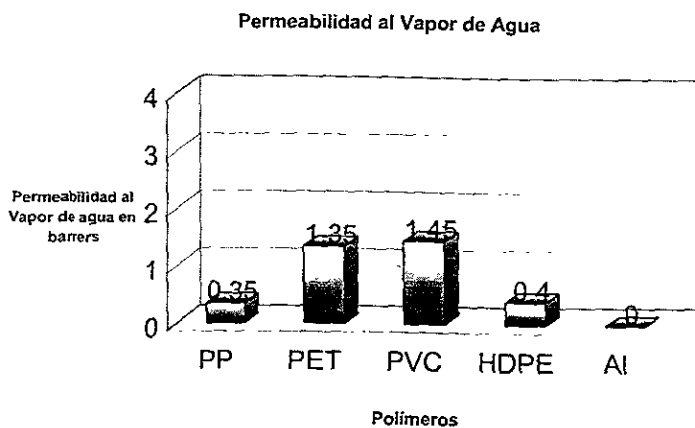


Figura 7.7: Permeabilidad de los Polímeros al Vapor de Agua, en barrers

Respecto a la permeabilidad al Vapor de agua, vemos que el PP y el HDPE, tienen mayor permeabilidad, respecto a los otros dos polímeros.

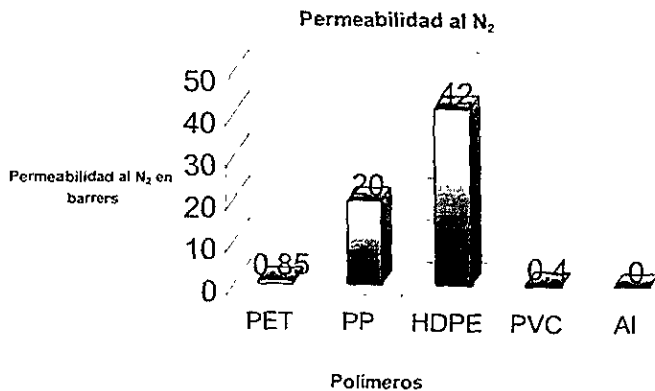


Figura 7.8: Permeabilidad de los Polímeros al nitrógeno, en barrers

Respecto a la permeabilidad al nitrógeno, el PET, y el PVC presentan valores más bajos, respecto a los demás polímeros en estudio, incluyendo el aluminio

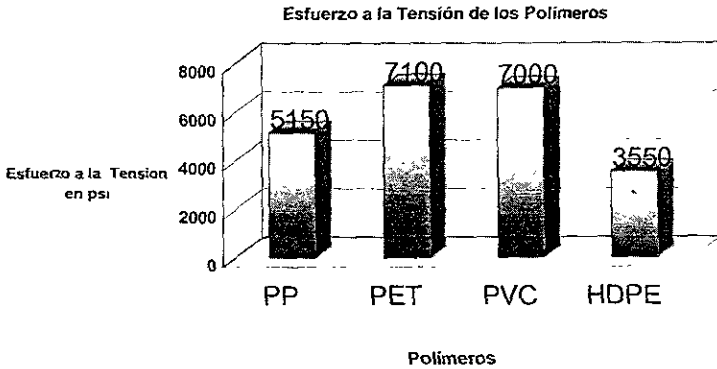


Figura 7.9: Esfuerzo a la Tensión de los Polímeros en psi, según el método ASTM D 638

Los polímeros que tienen fuerza a la tensión mayor son el PET y el PVC, con valores entre 7000 y 7100 psi

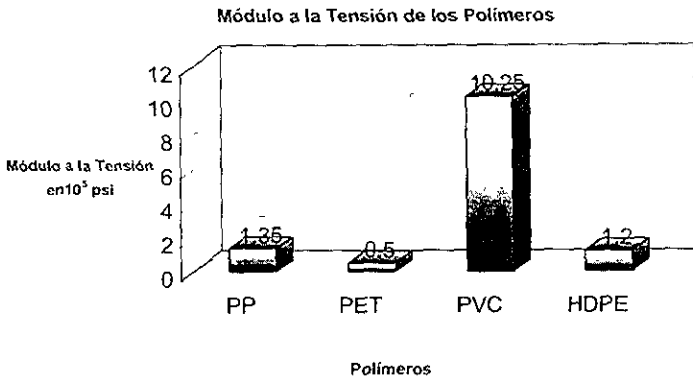


Figura 7.10: Módulo a la Tensión de los Polímeros, según el método ASTM D 638

Observamos que el polímero con el valor más alto de módulo a la tensión es el PVC, que tiene 10.25×10^5 psi, y dicho valor está por arriba de los demás polímeros en estudio

Capítulo VIII

Discusión de Resultados

A continuación se discuten las gráficas comparativas anteriormente mostradas de las propiedades fisicoquímicas de los polímeros en estudio, para explicar porque se utilizan generalmente el PET, y el PVC, para la manufactura de blisters, y se descartan el PP, y el HDPE.

En la Figura 7.1 se puede ver que el PP y el HDPE tienen una menor densidad que los otros polímeros en estudio, sus valores son respectivamente 0.9 y 0.953 g/ml, por esta razón, entre otras quedarían descartadas para usarse en blisters, además de que el PP y el HDPE son materiales opacos, y ésta es la razón principal de que no se utilicen, ya que los blisters de estos materiales al ser opacos, no serían tan atractivos para el productor, ni para el consumidor.

Figura 7.22: Vemos la Temperatura de Fusión de los 4 Polímeros en estudio, las 4 temperaturas son altas, es decir nos ayudarían que en casos de temperaturas elevadas, no perderían sus propiedades, pero sobresale la del PET, con un valor de 256°C.

Las temperaturas promedio del procesamiento de la lámina en el proceso de Termoformado para los polímeros en estudio son:

PVC.....130°C
HDPE.....127°C
PP.....157°C
PET.....156°C

Es decir existe un intervalo entre la temperatura de calentamiento de la lámina y la temperatura de fusión, lo cual permite que los polímeros no pierdan sus propiedades fisicoquímicas aunque sea calentada la lámina.

Figura 7.3: Observamos que el PET y el HDPE tienen un valor de resistencia a la tensión de 27500 psi y 42500 psi, es decir son más altos que los demás polímeros en estudio, otro material involucrado en los empaques de fármacos es el aluminio, que está en segundo lugar respecto a la resistencia a la tensión, con un valor de 35000 psi, y ésta propiedad nos indica la intensidad de una fuerza por unidad de superficie. La resistencia a la tensión es una propiedad que tiene que ver con la deformación que sufre el material en la dirección en la que se aplica una fuerza.

Figura 7.4: La elongación es una propiedad relacionada con la tensión. Es decir es una longitud a lo largo de una cierta dirección, en que se aplica una tensión que separa a un punto de su posición de equilibrio. En la manufactura de los blisters la más alta elongación es la del PP cuyo porcentaje es del 775% superando los valores de los otros polímeros, como el PET, cuyo valor de elongación es de 112.5% y es el que tiene el valor más bajo de todos los polímeros. Esto significa, de acuerdo a lo anteriormente descrito que el PET es un material que presentaría una mayor resistencia a la tensión, en comparación con los otros polímeros en estudio.

Figura 7.5: Es muy importante que sea bajo el paso del oxígeno a través de las paredes del envase, porque de ésta manera no reaccionaría y no se oxidaría la tableta, y sería un

producto útil por tiempos más largos. El PET y el PVC presentan una permeabilidad muy baja al oxígeno, sus valores son de 3.6 y 12.5 barrers respectivamente, de ahí que sean los materiales empleados para la manufactura de blisters. El HDPE y el PP tienen valores de 150 y 175 barrers, es decir permiten pasar más cantidad de oxígeno que los demás polímeros, y por ésta razón estos materiales, no se usan para fabricar blisters para fármacos.

Figura 7.6: El CO₂ es otro gas que forma parte de la composición del aire está en cantidades muy bajas, con un 0.0328%, difícilmente podría traspasar el blister, y además no reacciona con el ácido acetilsalicílico, porque es un gas inerte, es decir en éste caso no habría reacción química. La gráfica muestra nuevamente que el PET y el PVC tienen las permeabilidades al CO₂ más bajas con valores entre 20 y 22.5 barrers, de ahí que sean los materiales empleados para la manufactura de blisters.

Figura 7.7: En el caso de la permeabilidad al vapor de agua, que es otra propiedad muy importante que hay que tomar en cuenta, al igual que la permeabilidad al oxígeno, ya que el agua podría hidrolizar el ácido acetilsalicílico, y ya no cumpliría con las especificaciones del producto, tanto el PP, como el HDPE, tienen valores muy bajos, de esta propiedades sus valores son 0.35 y 0.4 barrers respectivamente, pero, aunque los valores de PET, y PVC son ligeramente más altos, están en un intervalo útil para las necesidades de los blisters, ya que van de 1.35 a 1.45 barrers, podemos decir que son bastante útiles, es decir, no se descartan, generalmente, los blisters se fabrican de estos dos polímeros.

Figura 7.8: A continuación se discute el caso de la permeabilidad al nitrógeno, que es otro gas inerte, que no reacciona con el ácido acetilsalicílico, podemos observar que el PET, nuevamente presenta la permeabilidad más baja con 0.85 barrers, seguida por el PVC con un valor de 1.2 barrers.

Figura 7.9: El PP y el HDPE se deformarán más fácilmente que los demás polímeros en estudio, cuando se sometan a algún tipo de tensión, en especial el HDPE, que tiene un valor de 3550 psi y el PP con 5150 psi. Esto significa que es más fácil de procesar al PP y el HDPE, que al PET y al PVC, esto es cierto, y un ejemplo sería que el HDPE se puede termoformar con una plancha casera para adquirir alguna forma determinada.

Figura 7.10: El polímero con el valor más alto del módulo de tensión es el PVC con 10.25×10^5 psi, los demás polímeros tienen valores de módulo de tensión muy bajos, especialmente el PET con 0.5×10^5 psi, lo cual ejemplifica que el material llamado PET se deforma más fácilmente que los demás, de acuerdo a la Ley de Hooke:

$$\sigma = E\epsilon$$

Los resultados que obtuvimos con la ecuación de Van der Waals, calculando las presiones a diferentes temperaturas, indican que:

Las presiones aumentan al aumentar la temperatura, partiendo de -10°C hasta llegar a una temperatura extrema de 50°C .

De acuerdo al porcentaje de cada uno de los elementos en la composición del aire, la presión va a ser mayor, cuando un elemento contribuya con un mayor porcentaje, es decir que el nitrógeno que tiene un 78% dentro de la composición del aire contribuirá con una presión mayor que el CO_2 .

La ecuación de Van der Waals nos indica que la presión ejercida por un gas ideal, es decir la presión ideal, está relacionada con la presión medida experimentalmente que es la del gas real.

$$\text{Presión real} = \text{Presión ideal} + \frac{an^2}{V^2}$$

Donde a es una constante y n y V son el número de moles y el volumen de gas respectivamente. El término de corrección para la presión $\frac{an^2}{V^2}$ se puede entender como sigue: La interacción entre moléculas que da lugar al comportamiento depende de cuan a menudo dos moléculas se aproximan una a la otra. El número de tales encuentros aumenta con el cuadrado del número de moléculas por unidad de volumen $(n/V)^2$ porque la presencia de cada una de las dos moléculas en una región particular es proporcional a n/v . La cantidad a , entonces, es una constante de proporcionalidad en el término de corrección de la presión.

Otra corrección es la concerniente al volumen ocupado por las moléculas del gas. La cantidad V de la siguiente ecuación:

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right) (V - nb) = nRT$$

V representa el volumen ocupado por el gas a una cierta temperatura y a una cierta presión del recipiente. Sin embargo, cada molécula ocupa un volumen finito intrínseco, aunque pequeño, por lo que el volumen efectivo del gas se convierte en $(V - nb)$, donde n es el número de moles de gas y b es una constante. El término nb representa el volumen ocupado por n moles de gas.

Al comparar la presión que hay en el interior de un blister, se observa de acuerdo a los cálculos que si se llena el blister únicamente con nitrógeno, éste ejerce una presión mayor que si se llenara con aire, es decir nitrógeno, oxígeno, CO_2 , y Argón. Además el nitrógeno es más recomendable y puede usarse, ya que como es un gas inerte no presenta alguna reacción con el ácido acetilsalicílico.

A continuación se discuten los resultados, que se obtuvieron al calcular el esfuerzo normal:

De las dos consideraciones que se hacen para obtener el esfuerzo normal, es decir, primeramente considerar la densidad de los gases en estudio, así como las moles por litro, en ambos casos el esfuerzo normal, que puede tener unidades de atm, g/cm^2 , Mpa, aumenta al aumentar la temperatura.

Tomando en cuenta los valores promedio de los dos espesores de la pared de los blisters que se utilizan en la industria, el primero es de 0.02495 cm y el segundo es de 0.02 cm, en ambos casos al ir aumentando la temperatura de -10°C a 50°C , el esfuerzo normal sobre los blisters también aumenta.

A mayor concentración de los componentes del aire su esfuerzo será más grande, ya que la fórmula del esfuerzo normal, involucra la presión interna dentro de un recipiente, y de acuerdo a los cálculos realizados con la ecuación de Van der Waals, conocemos las presiones internas.

Como era de esperarse a medida que aumenta el espesor disminuye el esfuerzo normal.

Conclusiones

De acuerdo con los objetivos que nos trazamos para la realización de ésta tesis, podemos concluir lo siguiente:

- Después de estudiar el proceso de termoformado aplicado a la fabricación de blisters, se identificó que las variables de control más importantes son: la temperatura, la presión, vacío, tiempo y las propiedades fisicoquímicas de cada material en estudio, del ciclo de termoformado.

Respecto a las máquinas empleadas en este proceso, se recomienda usar un equipo de línea continua, debido a que implica el termoformado, llenado, y sellado, éstas máquinas son muy rápidas y eficientes. Además observamos, que el proceso más usado para la manufactura de blisters es el de la formación a vacío directo.

- Se hizo una investigación y un análisis comparativo de 4 materiales poliméricos, usados para fabricar blisters, y encontramos que las propiedades que definen la selección del material son:

- Permeabilidad al vapor de agua y al oxígeno.
- Transparencia
- Temperatura de fusión de los materiales, relacionada con la temperatura de calentamiento de la lámina en el proceso de termoformado.
- Resistencia a la Tensión.

Presentando en una tabla final, los valores de cada uno de los polímeros en estudio, para dichas propiedades que definen que material es el más recomendado para la manufactura de blisters, es decir el que tiene el número 1 encabeza es el material más recomendable, y el que tiene el número 4, el menos recomendable.

Material	Propiedad			
	Permeabilidad al Vapor de Agua	Permeabilidad al oxígeno	Transparencia	Temperatura de Fusión
PP	1	4	4	3
HDPE	2	3	3	4
PET	3	1	2	1
PVC	4	2	1	2

Como se puede observar en esta tabla, el PET y el PVC llevan la ventaja sobre el HDPE y el PP

- Después de comparar y analizar las gráficas con sus respectivos valores, sobre todo de permeabilidad a diferentes gases como el oxígeno, y el vapor de agua, que son los gases que pudieran reaccionar con el ácido acetilsalicílico, vemos claramente que el PVC y el PET son los materiales recomendables para la manufactura de blisters o envases primarios.

- Ya que hasta el momento, en la industria farmacéutica, se lleva al cabo, el llenado del blister en presencia de aire, mi recomendación muy particular es que para mantener inerte la atmósfera que existe en el volumen libre del mismo, del polímero seleccionado, sea llenado éste blister con nitrógeno, ya que al ser un gas inerte, ayuda a que se conserve mejor el ácido acetilsalicílico de la tableta comercial, aunque el nitrógeno ejerce una presión ligeramente mayor que si se llenara con aire justificando ésta recomendación con base en los cálculos realizados y explicados en ésta tesis, como lo es la presión interna del blister, y el esfuerzo normal de las paredes del blister.

El empleo de nitrógeno, en vez de aire, eleva los costos de producción, en éste trabajo no se consideran los costos, pero es un tema interesante para otro trabajo de investigación.

Bibliografía

- 1.- Barail Louis C. Packaging Engineering. Reinhold Publishing Corporation. N.Y.U.S.A. 1954. Páginas consultadas: 1-10.
- 2.- Berins Michael L. Plastic Engineering Handbook. Ed: Chapman and Hall. N. Y. U.S.A. 1991. páginas consultadas: 205-214
- 3.- Brandrup J, Immergut E.H, Grulk E.A. Polymer Handbook. 4ª edición. Ed: John Wiley. N.Y. U.S.A. 1999. Vol. VI. Páginas consultadas: 543-545.
- 4.- Briston John H. Plastic Films. Ed: Longman Scientific and Technical. 1989. U.K. páginas consultadas: 301-317
- 5.- Brody Aaron L, Marsh Kenneth. The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology. N.Y. U.S.A. 1997. Páginas consultadas. 161-166
- 6.- Budaver Susan. The Merck Index. Merck and Co.inc. 1981.U.S.A. páginas consultadas:36-43
- 7.- Caballero Arquímedes, Martínez Lorenzo, Bernardez Jesús. Tabals Matemáticas. Editorial: Esfinge. México. 1982. Páginas Consultadas: 25-35.
- 8.- Chang Raymond. Química. Editorial: McGraw-Hill. México. 1992. Páginas Consultadas: 200-215.
- 9.- Herman Mark F, Bikales Norbert M, Overberger Charles G, Manges George. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. John Wiley and sons. 1988.N.Y. U.S.A.Vol. 13.
- 10.- Instituto Mexicano del Plástico Industrial. Enciclopedia del Plástico. 1996. Capítulos III-X.
- 11.- Kroschwitz Jaqueline I. Concise Encyclopedia of Polymer Science and Technology. 1991. Ed: John Wiley. N.Y. U.S.A. páginas consultadas: 1192-1195.
- 12.- Nash William A. Teoría y Problemas de Resistencia de Materiales. Ed: Mc-Graw-Hill 1980. México. Páginas Consultadas: 15-45.
- 13.- Rodríguez Ferdinand. Principios de sistemas de Polímeros. Ed: Manual Moderno. 1984. México

- 14.- Rodríguez Tarango José Antonio. Manual de Ingeniería y Diseño de Envase y Embalaje. Editorial: Packaging.1997. México. Páginas Consultadas: 10-40.
- 15.- Rubin Irvin J. Handbook of Plastic Materials and Technology. Ed: John Wiley 1990 N.Y. U.S.A. páginas consultadas: 133-145
- 16.- Storer Roberta A. Annual Book of ASTM Standars. Ed: American Society for Testing and Material. 1993. U.S.A. Sección 8, Vol 1-4.

Referencias de Internet:

<http://cygnus-group.com/packaging/Packaging.html>

http://www.european.be/basics/understand/und2_history1.html

<http://www.ag.ohio-state.ed../0133.html>

<http://www.absoluted.com.history.htm>

Anexo: Métodos ASTM

Método ASTM D570 Absorción de agua de los plásticos

Este método cubre la determinación del índice relativo de absorción de agua por los plásticos, cuando estos son sumergidos. Este método está destinado a todos los plásticos, incluyendo cast, productos resinosos moldeados por calentamiento y moldeados por enfriamiento, homogéneos y plásticos laminados en rollo y en tubos, y en láminas de 0.13 mm o de más grande grosor. Este método tiene dos funciones principales: La primera es que sirve como guía a la proporción del agua absorbido por un material y consecuentemente en aquellos casos donde las relaciones entre humedad y electricidad o propiedades mecánicas, dimensiones o apariencias han sido determinadas como guía para los efectos de exposición al agua o a las condiciones de humedad de cada una de las propiedades y segundo como una prueba de control en la uniformidad de un producto, esta segunda función es particularmente aplicable a las láminas y rollos cuando la prueba se hace sobre el producto terminado.

Aparatos: Balanza y Horno

Método D785 Dureza Rockwell de Plásticos y Materiales Aislantes Eléctricos

Es un número derivado del incremento neto en la profundidad de impresión que deja un determinado peso y se incrementa de una carga menor a una mayor y después regresa a la carga menor. Cada división de la escala Rockwell representa 0.002 mm, Los resultados obtenidos no son considerados generalmente una medida de la abrasión o resistencia de impacto a de los materiales plásticos en cuestión.

Aparatos: Probador de dureza Rockwell, Yunque en V.

Método D882 Propiedades de Tensión en Láminas Plásticas Delgadas:

Este método cubre la determinación de las propiedades de tensión de los plásticos en la forma de láminas delgadas incluyendo películas, menos de 1.0 mm. Existen dos métodos: El método A: Carga Estática. Emplea un índice constante de separación con asas que sostienen puntos de cada material.

El método B: Carga con Péndulo, éste método emplea un índice constante de movimiento de un asa y un índice variable de movimiento en la segunda asa, está unido a un péndulo cuyo movimiento es dependiente del comportamiento que presenta la deformación de la carga y del material bajo la prueba.

Aparatos. Asas, Micrómetro, Navaja, Indicadores de extensión, Máquinas de prueba A y B

Método ASTM D790 Propiedades de Flexión de plásticos reforzados y no reforzados

Cubre la determinación de propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados, incluyendo los que tienen un módulo alto y materiales aislados eléctricamente, en forma de barras rectangulares, moldeados directamente o cortados en forma de láminas u otra forma. Se aplica a materiales rígidos y semirígidos.

Existen 2 métodos:

1.- Un sistema de carga de 3 puntos, utilizando una carga central apoyada en una viga simple.

2.- Un sistema de carga de 4 puntos, utilizando 2 cargas con el mismo espacio entre sus puntos de apoyo adyacentes.

Puede seguir 2 procedimientos:

A: Diseñado principalmente para aquellos materiales que se rompen con deflexiones pequeñas.

B: Diseñado particularmente para aquellos materiales que experimentan largas deflexiones durante la prueba.

Aparatos: Máquina de Prueba, Soportes.

Condiciones: Se necesita una atmósfera en el laboratorio estándar a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y 50 ± 5 % de humedad relativa para no menos de 40 horas antes de la prueba.

Método ASTM D 638 Resistencia a la Tensión de los Materiales Plásticos.

Este método cubre la determinación de las propiedades de tensión de plásticos reforzados y no reforzados en la forma de especímenes, cuando se prueban bajo condiciones definidas de tratamiento, temperatura, humedad y velocidad de la máquina de prueba.

Este método puede usarse para materiales de cualquier grosor que están por arriba de los 14 mm. De cualquier forma los especímenes en la forma de lámina delgada, incluyendo películas de menos de 1.0 mm de grosor. Los materiales con grosor mayor a 14 mm deben ser reducidos por medio de máquinas.

Los valores están reportados en SI.

Método ASTM D792 Densidad y Gravedad Específica de Plásticos

Este método describe la determinación de la gravedad específica (densidad relativa) y densidad de plásticos sólidos en forma de tubos, rollos o láminas

Existen 2 métodos:

Método A: Para probar plásticos sólidos en agua

Método B: Para probar plásticos sólidos en líquidos que no sea agua.

Significado y Uso:

Para determinar la masa de un espécimen de un plástico sólido en el aire, se sumerge en un líquido, su masa aparente sobre la inmersión se determina y se calcula su gravedad específica (densidad relativa)

Condiciones:

A $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa, por no menos de 40 horas antes de la prueba.

Condiciones de prueba:

Se necesita una atmósfera en el laboratorio estándar a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa, por no menos de 40 horas antes de la prueba.

Aparatos:

Balanza Analítica, Termómetro, Alambre, Cubeta.

Unidades:

g/cm^3