



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DEL COPOLÍMERO DE HEXENO COMO SUSTITUTO DEL
COPOLÍMERO DE OCTENO EN LA PELÍCULA COEXTRUIDA
EN LA EMPRESA PLÁSTICOS DE EMPAQUE C.A.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

Tutor Académico
Ing. Víctor Guanipa

Tutor Industrial
Ing. María Hernández

Autores:
JAIMES, Johanna
KREMESIS, Alejandra

Valencia, Abril 2007



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado Titulado: **EVALUACIÓN DEL COPOLÍMERO DE HEXENO COMO SUSTITUTO DEL COPOLÍMERO DE OCTENO EN LA PELÍCULA COEXTRUIDA EN LA EMPRESA PLÁSTICOS DE EMPAQUE C.A.**, realizado por los bachilleres Johanna A. Jaimes P. CI: 15.688.748 y Alejandra J. Kremesis B. CI: 15.644.330, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo, y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. Victor Guanipa
Presidente

Prof. Vanesa Altomare
Jurado

Prof. Celeste Fernández
Jurado

Valencia, Abril 2007

AGRADECIMIENTOS

Gracias es la mejor palabra para expresar el gozo que hay en nuestros corazones al haber alcanzado esta meta, que sin la ayuda de Dios Padre que es Camino, Verdad y Vida hubiese sido imposible lograr.

Gracias es la mejor palabra con la que podemos dirigirnos a nuestros padres y familiares que con su incansable Amor y dedicación han permitido que lleguemos hoy hasta aquí.

Gracias es la mejor palabra que podemos dar a nuestra casa de estudio que ha sido la encargada de formar en nosotras el conocimiento, para llegar a ser Ingenieros Químicos.

Gracias es la mejor palabra que podemos obsequiar al Profesor Victor Guanipa, tutor académico por el gran apoyo que nos ha brindado, por su guía y acertadas correcciones que permitieron el logro de este trabajo.

Gracias es la mejor palabra que podemos decir al Ing. Manuel Loewy que con sus asesorías fue apoyo amigo en los momentos que sentíamos desfallecer.

Gracias es la mejor palabra con la que podemos pagar la confianza y atención brindada por Plásticos de Empaque, C.A. para hacer de este trabajo un hecho.

Gracias es la mejor palabra que podemos presentar al personal del Laboratorio de aseguramiento de la Calidad de Plásticos de Empaque C.A. y muy especialmente al personal de la planta de Coextrusión.

Gracias es la mejor palabra que podemos dirigir al Sr. Hugo Dell'Oglio por la oportunidad brindada al abrirnos las puertas de la empresa para la realización de este trabajo.

Gracias es la mejor palabra con la que podemos retribuir a todos nuestros amigos que de alguna u otra forma han tenido parte en este logro que hoy hemos alcanzado. Gracias Luis y Roger.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

A María de los Ángeles “Corazón” Hernández Rivero

Por que existen personas como ella que al conocerlas es imposible que pasen por tu vida sin dejar huella y sin que formen parte de tu corazón.

Gracias María porque además de ser nuestra tutora industrial fuiste amiga en todo momento.

Gracias por haber depositado en nosotras tu confianza a pesar de que no nos conocíamos, tú nos abriste las puertas.

Gracias por tu alegría porque eres muestra de que quién Ama lo que hace es feliz.

Gracias por ser apoyo incondicional a tiempo y a destiempo, porque tú ayuda siempre estuvo allí.

Gracias por la paciencia que tuviste con nosotras tus tesistas intensas como tú cariñosamente nos llamaste.

Gracias por tu calidad humana porque antes de ser jefe eres persona y demuestras que la mejor manera de que alguien haga las cosas es pidiéndoselo no imponiéndoselo.

Gracias por tu sencillez porque eres ejemplo de que los títulos no son lo que vale en una persona sino lo que hay dentro de ella.

Gracias por tu conocimiento brindado en la materia que de manera sencilla y didáctica nos introdujiste en el amplio mundo de los polímeros.

Por esto y muchas otras cosas mil gracias...Así es. **Alejandra y Andreina.**

DEDICATORIA

Para mi esta es una meta que pensé que nunca iba alcanzar, sin embargo, hubo alguien que no solo confió en mi sino que me brindó su amor incondicional, sabiduría, inteligencia y sobre todo me enseñó que debía ser perseverante para poder alcanzar los anhelos de mi corazón. Es por eso que este logro se lo dedico a mi Padre Celestial, quien para mostrarme su amor me rodeó de personas bellas y también a ellas se los dedico:

A mi madre que con su esfuerzo, amor, perseverancia, paciencia y experiencia me apoyó y creyó que siempre lo podría alcanzar. Gracias madre por todos tus sacrificios..... Esto es para ti.

A mi Tía Betty quien no solo es una tía sino mi segunda madre, que con amor y entrega incondicional me brindó todo el apoyo, confianza y siempre veló por que nada impidiera que lograra llegar hasta aquí. Gracias Tía por amarme tanto...

A mi abuelo Juan quien aunque en ese momento no esté conmigo sé que desde la presencia de Dios se regocija por ver a su nieta amada alcanzar su sueño.

A mis hermanos para que sepan que no hay nada imposible para Dios y que aunque muchos dijeron que nunca lo alcanzaría aquí estoy. Nunca desistan de sus sueños...

A mi amado novio Francisco que ha sido mi amigo, compañero y que con su amor y conocimientos me apoyó y perseveró conmigo desde el inicio de este anhelo.

A mi tío Julio Cesar quien siempre estuvo pendiente de que nunca me faltará nada y que con amor veló por que nada impidiera que alcanzará mi meta.

A mis pastores Eduardo y Egleé de Carrillo quienes con sus enseñanzas me guiaron a conocer y a confiar en mi papito Dios. Gracias...

A todas aquellas personas que de una u otra forma me han brindado su apoyo, enseñanzas y experiencias que permitieron que hoy pudiera abrazar este sueño.

Alejandra Josefina

DEDICATORIA

Para llegar a una meta es necesario esfuerzo, dedicación y perseverancia pero nada de esto tendría valor sin antes reconocer que además de ellas se necesitan también muchas manos que te ayuden en el alcance de un logro.

Manos que han cuidado y velado por ti, que han sembrado valores y cosas buenas en tu corazón.

Manos que se han desprendido de sus intereses y necesidades para atender los tuyos.

Manos que incansablemente han trabajado para darte todo lo que tienes.

Manos que se han ensuciado y maltratado para que las tuyas estén libres.

Manos que te han levantado cuando has caído y que te han estrechado entre ellas para apoyarte.

Manos que enjugan tus lágrimas y que celebran tu sonrisa.

Manos que me enseñaron a confiar cuando creía todo perdido.

Manos compañeras de juegos y travesuras.

Manos llenas de consejos y disciplina.

Manos que sin esperar nada a cambio han dado sin medida.

Manos que animan en todo momento y en lo mínimo que hagas.

Manos que han dado Amor y que siguen y seguirán dándolo hasta que sus vidas se agoten.

A esas Manos que han tocado mi vida y que han hecho de ella un paraíso en esta vida terrena quiero dedicar este triunfo. Esas manos han sido:

Las de mi Dios amado y mi Madre del cielo María.

Las de mi Madre Ada Sofía

Las de mis Tíos (Papás postizos), Jesús Ramón y Levis del Carmen

Las de mis hermanos, Jhoan Rafael, Janeth Alexandra, Marco Antonio, Jesús Ramón y Maricarmen.

Las de mi Abuela María del Rosario (Charito)

Las de mi Papá, Rafael Antonio

Las de mis Amigos y personas que han dejado huellas en mi vida.

Andreina Jaimes

INDICE GENERAL

	Pág
INTRODUCCIÓN.....	1
	2
CÁPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Formulación del problema.....	5
1.2.1 Situación actual.....	5
1.2.2 Situación deseada.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Limitaciones.....	7
CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEORICOS.....	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Resinas y aditivos utilizados en la fabricación de la película.....	13
2.3 Propiedades mecánicas de las películas plásticas flexibles.....	16
2.4 Proceso de fabricación de películas monocapa.....	17
2.5 Fusión del polímero.....	19
2.6 Proceso de fabricación de películas multicapas.....	19
2.7 Principales problemas en la coextrusión.....	21
2.8 Proceso de Laminación.....	22
2.5 Tratamiento De Corona	24
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	26
3.1. Tipo de Investigación.....	26
3.2. Desarrollo de la investigación.....	26

INDICE GENERAL

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
	Pág
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1. Conclusiones.....	71
5.2. Recomendaciones.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
APÉNDICE A: Cálculos asociados al análisis de económico.....	77
APÉNDICE B: Fichas técnicas de la materia prima utilizada para la elaboración de la película	85
APÉNDICE C: Normas COVENIN.....	91
APÉNDICE D: Imágenes del proceso de elaboración de la película para laminación.....	125
APÉNDICE E: Ensayos realizados de las propiedades mecánicas.....	130
APÉNDICE F: Probador de sellado en caliente.....	141

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
4.1 Estructuras realizadas para la caracterización de los copolímeros de octeno y hexeno.....	38
4.2 Valores obtenidos de impacto al dardo para las estructuras a caracterizar...	38
4.3 Valores obtenidos de elongación para las estructuras a caracterizar.....	40
4.4 Valores obtenidos de resistencia al rasgado para las estructuras a caracterizar.....	40
4.5 Propiedades físico – mecánicas de las estructuras para caracterizar los copolímeros en estudios y porcentaje de desviación entre ambos.....	41
4.6 Aportes de las resinas utilizadas en la fabricación de la película coextruída para laminación.....	48
4.7 Niveles de adición de las resinas presentes en la película coextruída.....	52
4.8 Estructuras a estudiar desarrolladas en la empresa Plásticos de Empaque C.A.....	53
4.9 Especificaciones mínimas de las propiedades mecánicas de acuerdo a las exigencias del cliente en las películas coextruídas para laminación	57
4.10 Porcentaje de elongación para las películas elaboradas con las estructuras en estudio.....	58
4.11 Resistencia al rasgado obtenida para las películas elaboradas con las estructuras en estudio.....	59
4.12 Resistencia al impacto al dardo obtenida para las películas elaboradas con las estructuras en estudio.....	61
4.13 Temperatura mínima de sellado para las películas elaboradas con las estructuras en estudio.....	62
4.14 Densidad de las películas elaboradas a partir de las estructuras estudiadas..	62
4.15 Coeficiente de fricción obtenido para las películas elaboradas con las estructuras en estudio.....	63
4.16 Desviación de las propiedades mecánicas de las películas elaboradas a partir del copolímero de hexeno con respecto a la estructura actual.....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
4.17 Propiedades ópticas de las películas elaboradas con las estructuras en estudio.....	64
4.18 Proyección de la demanda nacional del producto para laminación.....	66
4.19 Costos asociados a la materia prima necesaria para la elaboración de la película utilizando la estructura a base de copolímero de hexeno.....	67
4.20 Costos asociados a la materia prima necesaria para la elaboración de la película utilizando la estructura a base de copolímero de octeno	67
4.21 Costos operacionales y precio de venta al público para las películas de laminación.....	68
4.22 Flujos monetarios netos relacionados con la fabricación de la película a base de copolímero de hexeno.....	69
4.23 Flujos monetarios netos relacionados con la fabricación de la película a base de copolímero de octeno.....	69
A.1 Cálculo del valor actual para una T.M.R del 11% y un tiempo de vida de 5 años para la estructura 1.....	81
A.2 Cálculo del valor actual para una T.M.R del 11% y un tiempo de vida de 5 años para la estructura 4.....	81
A.3 Cálculo del equivalente anual para una T.M.R del 11% y un tiempo de vida de 5 años para la estructura 1.....	83
A.4 Cálculo del equivalente anual para una T.M.R del 11% y un tiempo de vida de 5 años para la estructura 4.....	83
E.1 Valores de coeficiente de fricción estático y dinámico para la estructura 1.....	130
E.2 Valores de coeficiente de fricción estático y dinámico para la estructura 2.....	130
E.3 Valores de coeficiente de fricción estático y dinámico para la estructura 3.....	131
E.4 Valores de coeficiente de fricción estático y dinámico para la estructura 4.....	131
E.5 Valores de resistencia al rasgado para la estructura 1.....	132
E.6 Valores de resistencia al rasgado para la estructura 2.....	132
E.7 Valores de resistencia al rasgado para la estructura 3.....	133
E.8 Valores de resistencia al rasgado para la estructura 4.....	133
E.9 Valores de porcentaje de elongación para la estructura 1.....	134

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
E.10 Valores de porcentaje de elongación para la estructura 2.....	134
E.11 Valores de porcentaje de elongación para la estructura 3.....	135
E.12 Valores de porcentaje de elongación para la estructura 4.....	135
E.13 Valores de resistencia al impacto al dardo para la estructura 1.....	136
E.14 Valores de resistencia al impacto al dardo para la estructura 2.....	136
E.15 Valores de resistencia al impacto al dardo para la estructura 3.....	136
E.16 Valores de resistencia al impacto al dardo para la estructura 4.....	137
E.17 Valores de temperatura mínima de sellado para la estructura 1.....	137
E.18 Valores de temperatura mínima de sellado para la estructura 2.....	138
E.19 Valores de temperatura mínima de sellado para la estructura 3.....	139
E.20 Valores de temperatura mínima de sellado para la estructura 4.....	140

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1.1 Proceso de extrusión.....	3
1.2 Diagrama de bloque general del proceso de coextrusión.....	4
2.1 Arquitectura molecular del PEBD.....	14
2.2 Formación de la burbuja en el proceso de extrusión.....	18
2.3 Capas de una película coextruída.....	19
2.4 Equipo de Coextrusión.....	21
2.5 Laminación por adhesivos.....	22
2.6 Laminación por extrusión.....	23
2.7 Laminación Térmica.....	23
2.8 Tratador de Corona.....	24
2.9 Formación de la Corona.....	25
4.1 Arquitectura molecular del polietileno de baja densidad y lineal.....	36
4.2 Proceso de orientación en la elaboración de la película.....	39
4.3 Diagrama de causa – efecto general de las propiedades físico-mecánicas de la película coextruída para laminación.....	47
4.4 Partes de la película coextruída para laminación.....	49
4.5 Método de sellado tipo almohada.....	56
B.1 Ficha técnica del PELBD copolímero de octeno.....	85
B.2 Ficha técnica del PELBD copolímero de hexeno.....	86
B.3 Ficha técnica del Plastómero Olefínico.....	87
B.4 Ficha técnica del PEBD 240.....	88
B.5 Ficha técnica del PELBD 11Q4.....	89
B.6 Ficha técnica del PELBD 11F1.....	90
D.1 Diagrama de la coextrusora Windmöller & Hölscher.....	125
D.2 Sección de extrusión y soplado de la película.....	126
D.3 Tren de extrusoras.....	127
D.4 Panel de control del proceso de coextrusión.....	127
D.5 Sistema de control del espesor Optifil Plus.....	128

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
D.6 Sistema de bobinadoras.....	129
F.1 Ficha técnica de la probadora de sellado en caliente HTH2.....	142

SUMARIO

La presente investigación tuvo como objetivo principal la evaluación de la incorporación del copolímero de hexeno como sustituto del copolímero de octeno en la película coextruída con el fin de obtener un producto acorde con las especificaciones del cliente. Para el cumplimiento del mismo se desarrollaron los siguientes objetivos específicos, caracterizar el copolímero de hexeno y compararlo con el de octeno, establecer los niveles de adición del copolímero de hexeno para generar las distintas formulaciones, analizar las propiedades mecánicas de las películas elaboradas con el fin de seleccionar la fórmula que cumpla con las especificaciones del cliente y por último realizar un estudio económico de la fórmula seleccionada para determinar su rentabilidad.

La metodología empleada en la elaboración de las películas para laminación fue mediante el proceso de coextrusión y la realización de cada uno de los ensayos de la evaluación de las propiedades físico- mecánicas de las películas terminadas fue la establecida de acuerdo a las normas COVENIN 384:98, 994:98, 1019:99, 463:94. El desarrollo experimental se llevó a cabo en la planta de la empresa Plásticos de Empaque C.A. utilizando la coextrusora N° 4 para elaboración de las películas y la evaluación de las propiedades físico-mecánicas se realizaron en el Laboratorio de Aseguramiento de la Calidad de la misma empresa.

Las variables medibles durante la evaluación de la película elaborada fueron: temperatura mínima de sellado, coeficiente de fricción, impacto al dardo, resistencia al rasgado y porcentaje de elongación.

Debido al costo de elaboración de las películas, se diseñaron 3 estructuras nuevas y la actualmente utilizada en la empresa. Se procedió a la elaboración de las películas con las 4 estructuras y posteriormente se evaluaron las propiedades físico – mecánicas de las películas terminadas. Por medio de un análisis comparativo se seleccionó la que estaba acorde con las especificaciones del cliente. Finalmente, se estimó la rentabilidad de la alternativa seleccionada.

SUMARIO

Entre los resultados mas importantes se encuentran que la película elaborada con la estructura 2 presentó un valor de porcentaje de elongación longitudinal de 650,1 y la estructura 3 arrojó un valor de resistencia al rasgado de 748,9 gf, ambos valores no cumplen con los valores mínimos exigidos por el cliente, razón por la cual se descartan estas estructuras.

Las conclusiones más relevantes fueron que la estructura que cumple con todas las especificaciones del cliente es la estructura 1, cuya formulación es la siguiente: PELBD 11F1 35%, PEBD 240 23,3 %, PELDB 2685G 28,3%, Plastómero 1881 13,4%; la diferencia del valor actual obtenida es de 71.449,34 \$/año, y del equivalente anual es de 49.648,05 \$/año, ambos valores son mayores que cero, por lo que se concluye que la alternativa planteada en este trabajo es factible e implica un ahorro en los gastos, aumentando así los ingresos anuales por concepto de películas plásticas para laminación.

Se recomienda adquirir el Hot tack heatsealer, con la finalidad de realizar el ensayo cuantitativo de la resistencia y el coeficiente de sellado en películas para empaques flexibles y aplicar la nueva formulación a base de copolímero de hexeno en la elaboración de películas para laminación.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación contempla como objetivo general: evaluar la incorporación del copolímero de hexeno como sustituto del copolímero de octeno en la película coextruída para laminación en la empresa Plásticos de Empaque C.A., con el fin de obtener un producto con propiedades mecánicas acorde a las especificaciones del cliente y como objetivos específicos: caracterizar el copolímero de hexeno; establecer los diferentes niveles de adición del mismo; analizar las propiedades mecánicas de las películas elaboradas con el propósito de seleccionar la fórmula que cumpla con las especificaciones del cliente y realizar un estudio económico de la fórmula seleccionada con el fin de determinar su rentabilidad.

El estudio realizado tiene su principal aplicación en el área de la fabricación de películas coextruídas para la elaboración de productos de laminación a partir de mezclas poliméricas.

Inicialmente se realiza una comparación de los copolímeros en estudio para luego establecer los niveles de adición de hexeno y generar así varias formulaciones para elaborar con ellas diferentes películas, las cuales son analizadas a nivel de las propiedades mecánicas, para luego seleccionar aquella que esté acorde con las especificaciones del cliente y para finalizar se realiza un estudio de la rentabilidad de la misma.

La presente investigación está conformada por 5 capítulos: capítulo I, en el que se expone el planteamiento del problema y las razones que llevan a realizar ese trabajo, así como sus limitaciones. En el capítulo II se hace mención a los fundamentos teóricos, el cual tiene las bases teóricas que lo sustentan. El capítulo III describe el marco metodológico, se define el tipo de investigación y el desarrollo metodológico de los objetivos. Luego, en el capítulo IV representa la discusión de los resultados obtenidos y finalmente en el capítulo V se mencionan las conclusiones y recomendaciones.

El desarrollo de esta investigación representa una alternativa de solución, para la empresa Plásticos de Empaque C.A. ante la necesidad presente de obtener un producto de calidad similar que el actual, a partir de la sustitución del copolímero de octeno por el copolímero de hexeno.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta detalladamente el problema en estudio, su situación actual, situación deseada, el objetivo general, los objetivos específicos, la justificación, así como las limitaciones de la investigación.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Plásticos de Empaque C.A. es una empresa manufacturera de productos plásticos de calidad con disposición de crecimiento tanto en el mercado nacional como internacional; se encuentra ubicada en la urbanización industrial el Bosque de Valencia en el Edo. Carabobo. Actualmente, continúa su crecimiento y mejoras en tecnología de punta, logrando la expansión en la capacidad instalada hasta 9.600 toneladas anuales, en sus 15 líneas de producción, las cuales son: rollos en hojas embozadas para la industria del caucho, rollos en hojas termoencogibles para la industria alimenticia, rollos en hojas extensibles tipo stretch, rollos en hojas para empaques automáticos, rollos para la agricultura, rollos tubulares coextruidos con fuelle lateral, embozados e impresos para sistemas automáticos del tipo FFS para la industria petroquímica, bolsas para colchones sueltas o en rollos precortados, bolsas de uso general, bolsas con sellado tipo estrella, sacos industriales, sacos con válvulas, sacos con sellado rectangular, bolsas para ser usadas en el súper saco cementero llamadas linner, rollos coextruidos para laminación de 3 capas.

Todos los productos que se producen actualmente se obtienen a partir de polietileno, de alta y baja densidad y polietilenos lineales, los cuales son suministrados por Polinter (proveedor nacional) y Dow (proveedor internacional).

El proceso utilizado para la obtención de estos productos es la extrusión (ver Figura 1.1), la cual consiste en pasar una mezcla de polietileno a través de un tornillo sin fin, con la finalidad de hacer fluir el polímero fundido a lo largo de la camisa de la máquina, luego por soplado se estira inmediatamente hacia arriba, y aún fundido, se expande simultáneamente su tamaño por medio del mandril del dado. Una línea del

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

nivel de penetración de una temperatura más baja (*"frost líne"*) marca la posición donde ocurre la solidificación del polímero a lo largo de la burbuja que se mueve hacia arriba. La presión de aire dentro de la burbuja tiene que ser constante para mantener uniforme el espesor de la película y el diámetro del tubo. Los rodillos de presión, que aprietan otra vez el tubo antes de que haya enfriado, mantienen el aire dentro del tubo. Los rodillos guía y los rodillos de compresión se usan también para limitar el tubo soplado y dirigirlo hacia los rodillos de compresión. El tubo plano es refilado y enrollado en un carrete final para su posterior empaquetado y almacenaje. (Morton,1993)

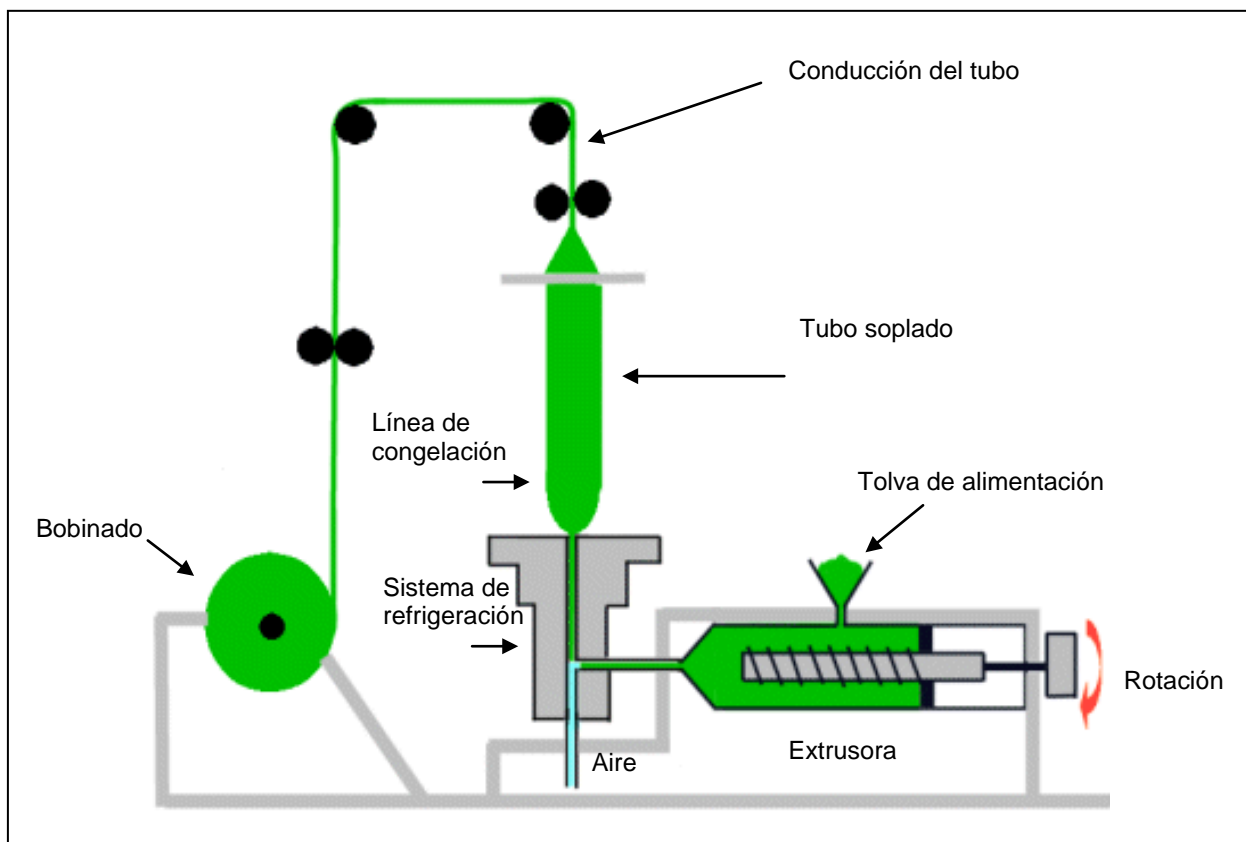


Figura 1.1 Proceso de extrusión. Fuente: Matières Plastiques Techniques

La película a estudiar es realizada por un proceso de coextrusión (ver Figura 1.2), que es la extrusión simultánea de más de un tipo de polímeros para obtener un producto laminado. Esto requiere de un extrusor separado para cada mezcla de polímeros. El producto se forma de capas múltiples en el dado, la técnica permite obtener productos con propiedades diferentes en cada lado por lo común en el interior y

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

en exterior. Así por ejemplo, una película tricapa puede estar formada por una capa externa resistente a la degradación por UV y al rasgado, con rigidez, transparencia y que evita la fijación de polvo; una capa intermedia con efecto termoaislante, de buena elasticidad y difusión de la luz, y finalmente una capa interna con efecto antigoteo. (Arroyo,1998).

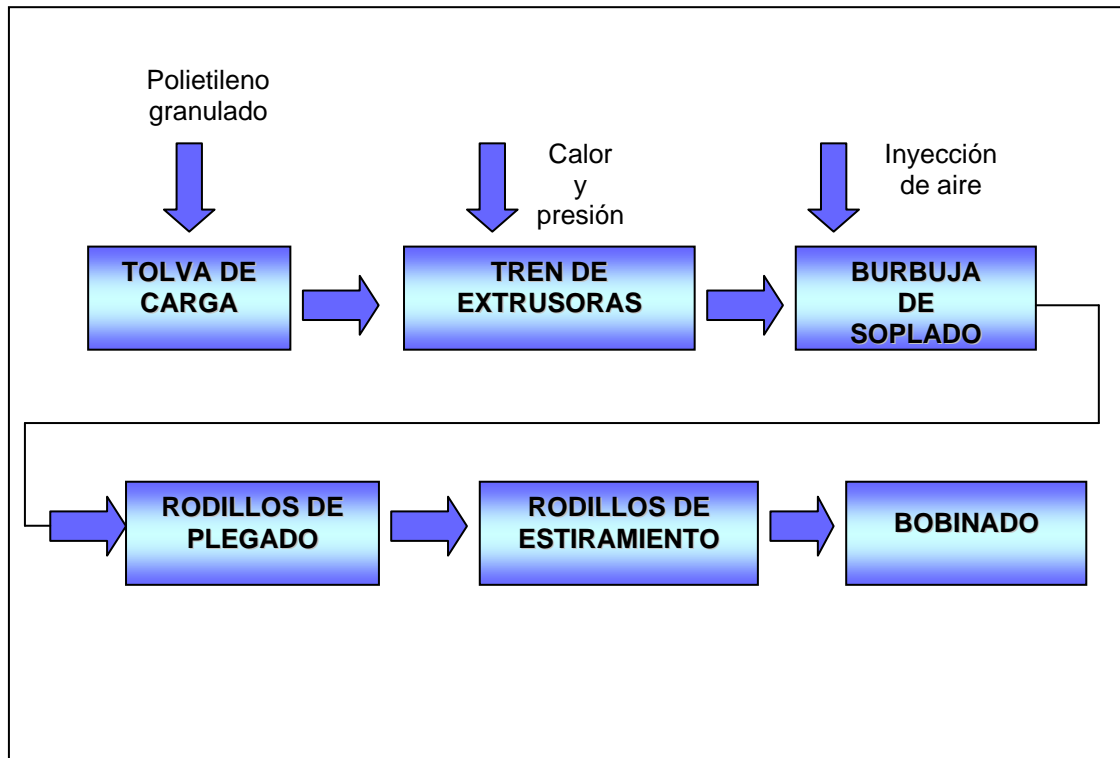


Figura 1.2 Diagrama de bloque general del proceso de coextrusión.

Fuente: Morton, 1993

Debido al aumento de la demanda mundial de polietilenos, específicamente del copolímero de octeno, el cual es ampliamente utilizado por su capacidad de mejorar el desempeño mecánico de las películas y dado que el principal proveedor a nivel mundial de este copolímero es DOW Chemical y los mismos no poseen la capacidad de satisfacer la demanda actual del mercado, es por ello que se propone la incorporación de un sustituto a base del copolímero de hexeno, en previsión a una posible escasez e incremento considerable en los precios del mismo. En consecuencia, la empresa se ve en la necesidad de evaluar la incorporación de este copolímero como materia prima en

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

la formulación de la película para laminación y determinar si esta nueva película se encuentra dentro de las especificaciones exigidas por los clientes. Cabe destacar que el copolímero de hexeno es más económico que el de octeno, por lo que su incorporación podría representar un beneficio para el proceso de manufactura de la película.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad la empresa Plásticos de Empaque C.A. fabrica las películas para laminación utilizando un copolímero de octeno como materia prima, pero los proveedores plantean la posibilidad de sustituir el mismo por un copolímero de hexeno debido a que no pueden satisfacer la demanda actual del mercado y por ende este podría escasear, incrementándose los costos del mismo.

Por esta razón, se plantea obtener una nueva formulación que incorpore el copolímero de hexeno en la fabricación de las películas y que cumpla con las propiedades físico – mecánicas exigidas por el cliente.

1.2.1 Situación Actual

La empresa Plásticos de Empaque C.A. en los últimos años ha elaborado las películas para laminación a partir de un copolímero de octeno como materia prima, pero debido a que los proveedores no pueden satisfacer la demanda del mismo, se plantea la posibilidad de utilizar otra materia prima diferente. De seguir esta situación, la empresa se vería en la necesidad de aumentar el precio de las películas para laminación, lo que implicaría que dicho producto no sería competitivo en el mercado nacional y se reduciría su venta por su alto costo.

1.2.2 Situación Deseada

Plásticos de Empaque C.A. desea conocer la formulación específica para la elaboración de la película coextruída para laminación a partir de un copolímero de hexeno, que posea propiedades acordes con los requerimientos del cliente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la incorporación del copolímero de hexeno como sustituto del copolímero de octeno en la película coextruída para laminación en la empresa Plásticos de Empaque C.A., con el fin de obtener un producto con propiedades mecánicas acorde a las especificaciones del cliente.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1.3.2.1 Caracterizar el copolímero de hexeno con la finalidad de compararlo con el copolímero de octeno.
- 1.3.2.2 Establecer los diferentes niveles de adición del copolímero de hexeno con el fin de generar distintas formulaciones.
- 1.3.2.3 Analizar las propiedades mecánicas de las películas elaboradas con el propósito de seleccionar la fórmula que cumpla con las especificaciones del cliente.
- 1.3.2.4 Realizar un estudio económico de la fórmula seleccionada a partir del copolímero de hexeno para la elaboración de la película coextruída, con el fin de determinar su rentabilidad.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación surge de la necesidad que presenta la empresa Plásticos de Empaque C.A. de obtener una formulación que permita elaborar películas coextruídas para laminación a partir el copolímero de hexeno con la finalidad de tener una alternativa de igual calidad que la que se produce actualmente a partir del copolímero de octeno. Además de enriquecer, fortalecer y permitir la aplicación de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria especialmente en el área de la ingeniería de los materiales, polímeros y procesos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cabe destacar que esta investigación ofrece un aporte metodológico ya que se establecerá una estrategia para la formulación y elaboración de las películas coextruídas para laminación a partir de materias primas existentes en el mercado las cuales no habían sido utilizadas anteriormente en este tipo de producto.

Desde el punto de vista teórico es de gran relevancia para la Universidad de Carabobo ya que permite crear un respaldo a nivel investigativo en el área de los polímeros, dando lugar a una puerta abierta para su posterior continuidad y aportando así una valiosa información, la cual no se dispone actualmente a nivel nacional en la industria.

1.5 LIMITACIONES

Durante la realización de la investigación se pudieran encontrar algunas condiciones y restricciones que limiten el satisfactorio desempeño de la misma entre las cuales se pueden citar las siguientes:

- La poca información que se tiene acerca de la elaboración de películas para laminación a partir del copolímero de hexeno.
- El número de estructuras a estudiar, el cual debe ser el mínimo debido al costo que representan para la empresa patrocinante las pruebas experimentales, por la gran cantidad de materia prima requerida ya que solo se realizaran ensayos a la película terminada.
- El tiempo establecido para la culminación del proyecto, el cual restringe el número de ensayos a realizar.

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En esta sección se presentan los antecedentes y la teoría necesaria para el desarrollo y comprensión de la investigación.

2.1 ANTECEDENTES

Aquí se presentan las semejanzas y diferencias del presente trabajo de investigación con otras referencias previas relacionadas con el mismo que sirvan de apoyo a ésta investigación.

- Costa, Carlos. (2004). **Dow LDPE 208. Una alternativa de baja densidad con un buen equilibrio de propiedades mecánicas y ópticas.** Revista Latinoamérica PE News N° 26. Argentina.

Este trabajo tiene como objetivo primordial la incorporación de Dow LDPE 208 a la formulación de películas extruídas y coextruídas con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas y ópticas.

Para el logro de este objetivo se cumple con los siguientes objetivos específicos: elaborar películas con diferentes tipos de LDPE existentes en el mercado; evaluar y analizar las propiedades mecánicas y ópticas de las películas elaboradas.

Entre las principales conclusiones están que el LDPE 208 no modifica las propiedades mecánicas y mejora considerablemente las propiedades ópticas y de sellado.

La similitud con el trabajo a desarrollar radica en que ambos evalúan y analizan las propiedades mecánicas de películas coextruídas, pero se diferencia en los componentes utilizados para la elaboración de las películas.

- Mota, José. (2004). **Mejoramiento de las características de la película coextruída stretch por blown film en la empresa Plásticos de Empaque C.A.**

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Carabobo. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

El objetivo general de este trabajo de investigación es mejorar las características de la película coextruída stretch por blown film con el fin de obtener la fórmula optima, con materia prima nacional, para ello se determinan las propiedades mecánicas, se seleccionan las fórmulas que cumplan con las especificaciones y se elaboran dichas películas utilizando diferentes condiciones de operación, se realiza además un estudio económico de rentabilidad del producto.

Como conclusiones mas importantes se obtuvo que la alternativa más optima para la empresa, es trabajar con la fórmula: CE (58% C8-PELDB – 10% PEBD1 – 20% PIB – 12% m-PELBD), CC (90% C4-PELBD -10% PEBD) y CI (90% C8- PELBD – 10% PEBD1); la alternativa seleccionada tuvo un comportamiento en propiedades mecánicas superior al importado.

La similitud que presentan dichos trabajos de investigación radica en que ambos tienen como fin obtener una formulación que permita elaborar un producto cuyas condiciones cumplan con las exigencias y necesidades del cliente y que además su elaboración sea rentable.

La diferencia del presente trabajo es que no se van a realizar ningún tipo de variaciones en las condiciones de operación en el proceso de elaboración de la película.

- Montañez P., Aleyda. (2003). **Utilización de la fibra de coco como sustituto del amianto en los procesos industriales.** Carabobo. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

En el presente trabajo se tiene como objetivo general, proponer la fibra de coco como sustituto del amianto en los procesos industriales. Para el logro de dicho objetivo se plantea: detectar los riesgos que acarrea el amianto, determinar las propiedades de la fibra de coco y su potencial como agente de sustitución de dichas fibras, elaborar productos utilizando la fibra de coco como sustituto del amianto y determinar la viabilidad económica de la utilización de la fibra de coco.

Entre las principales conclusiones se tiene, que al realizar las pruebas físicas y mecánicas del producto elaborado con fibra de coco, se obtuvo que el mismo satisface

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

las especificaciones del producto existente en el mercado, además de ofrecer ventajas competitivas respecto a los productos elaborados actualmente con amianto.

La principal similitud que presenta esta investigación con la que se va a desarrollar es que ambas plantean la sustitución de un componente por otro y el estudio de rentabilidad del mismo. Cabe destacar que se diferencian no solo en los componentes utilizados, si no también en el proceso de elaboración y los productos en estudio.

- Chawa M., Jorge. (2002). **Mejoramiento de una formulación de PVC laminado modificando el tipo y cantidad de carbonato de calcio.** Aragua. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Este proyecto tiene como objetivo principal mejorar la fórmula de láminas de policloruro de vinilo (PVC) combinando el tipo y cantidad de relleno. Para el cumplimiento del mismo se plantea: determinar las variables que influyen en la formulación de una lámina de PVC, preparar la formulación con diferentes cantidades de carbonato de calcio, evaluar el comportamiento de los compuestos formulados en función de las propiedades físico - mecánicas, realizar la evaluación de costos de las formulaciones y evaluar a nivel de planta las mejores formulaciones para comparar con los valores correspondientes.

De los resultados obtenidos se concluyó que la formulación que presentó la mejor relación costo – propiedades, fueron aquellas en que la composición del carbonato de calcio estuvo comprendida entre 25 -230 ppr. A nivel de planta se observó que la formulación con carbonato de calcio con recubrimiento presentó problemas ya que hubo migración de relleno a la superficie de las láminas.

La diferencia entre este trabajo y el que se desarrollará radican en el proceso y los componentes en estudio. Sin embargo se asemejan ya que ambos tienen por objetivo formular los productos a estudiar y evaluar sus propiedades físico – mecánicas.

- Cimillo, Carolina; Feo, Fernando. (2002) **Mejoramiento de la formulación de engobe y esmaltes bases utilizados en la elaboración de baldosas de cerámica plana mediante un proceso de monococción en la planta Gres**

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Valencia S.A.C.A. Carabobo. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

El objetivo principal de la investigación fue el mejoramiento de las formulaciones de engobe superior E – 370 y los esmaltes bases mate bario blanco 150088 y porcelanato 180014 que se emplean en el recubrimiento de baldosas de cerámica plana elaboradas por el proceso de monococción.

Entre los objetivos específicos para llevar a cabo la realización del objetivo general se plantean: caracterizar las suspensiones de engobe y esmaltes bases actualmente utilizadas en el proceso, desarrollar nuevas formulaciones de engobe y esmaltes bases variando la proporción y naturaleza de los aditivos, seleccionar las suspensiones de engobe y esmaltes bases mas apropiadas para cada tipo de aplicación.

Entre las conclusiones mas importantes que arrojó la investigación se tiene que la formulación mejorada para engobe superior contiene 0,1% de tripolifosfato sódico y 46,8% de agua, la de esmalte 150088 fue de 0,18% de tripolifosfato sódico, 0,15% de carboximetilcelulosa y 38,9% de agua. Para porcelanato 180014 contiene 0,3% de tripolifosfato sódico, 0,25% de carboximetilcelulosa y 44% de agua.

Este antecedente es similar a la investigación en desarrollo puesto que en ambos trabajos se plantean la formulación de un producto cambiando la proporción y la naturaleza de las materias primas. La diferencia más clara que se tiene es que el actual trabajo solo estipula el estudio de las propiedades mecánicas y no toma en cuenta las fisicoquímicas.

- Saavedra, José. (2001). **Estudio comparativo entre polietileno lineal a base de octeno, hexeno y buteno en mezclas con polietilenos de baja densidad.** Revista Latinoamérica PE News N° 13. Argentina.

El objetivo general del presente trabajo es analizar comparativamente las propiedades mecánicas entre películas hechas con mezclas a base de copolímero de octeno, hexeno y buteno. Entre los objetivos específicos se plantea: elaborar películas a partir de copolímeros de octeno, hexeno, buteno y PEBDL, evaluar y analizar las propiedades mecánicas de las películas elaboradas.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

De los resultados obtenidos se concluyó que el copolímero de octeno presenta mejores propiedades mecánicas, especialmente las de impacto al dardo, rasgado y perforación.

La diferencia primordial de este trabajo con la investigación que se va a llevar a cabo se encuentra en que no se va a evaluar la incorporación del copolímero de butano y además se plantea la sustitución de un copolímero por otro. Sin embargo ambas investigaciones se asemejan dado que se evalúan las propiedades mecánicas de películas elaboradas a partir de los copolímeros de octeno y hexeno.

- Rajen M., Patel; Saavedra, José; Hinton, Carlos; De Groot, Jackie. (1999).

Análisis comparativo entre un plastómero olefínico y EVA en mezclas con polietileno de baja densidad. Revista Latinoamérica PE News N° 7. Argentina.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo general analizar la incorporación de los elastómeros olefínicos (POP) en la elaboración de películas plásticas, con el fin de determinar si estos ofrecen propiedades que puedan competir con la del etilen-vinil-acetato (EVA). Para el logro de este objetivo se realizaron una serie de estudios sobre las propiedades mecánicas como la resistencia al sellado, al impacto, a la ruptura, a la perforación y al rasgado.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que las mezclas que incorporaron POP ofrecen mejores propiedades mecánicas, ópticas e incluso mejor sellabilidad.

Este antecedente presenta similitud con la investigación que se va a realizar, en la metodología para la evaluación de las propiedades mecánicas del producto final. La diferencia básica es que en este trabajo no se utilizan los mismos componentes para la elaboración de las películas ya que se realiza el estudio comparativo del copolímero de octeno con el de hexeno, además de que la fabricación de las películas es por coextrusión y no por soplado.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2 RESINAS Y ADITIVOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE LA PELÍCULA PARA LAMINACIÓN

Para la elaboración de películas flexibles se utilizan mezclas poliméricas de polietilenos ramificados de baja densidad (PEBD) y lineales (PELBD) con la finalidad de combinar las propiedades de procesabilidad, mecánicas y ópticas inherentes a cada uno ^[4].

Las propiedades en estado fundido o procesabilidad de las resinas se describen por una medición llamada índice de fluidez, por ejemplo se dice que una resina PEBD de índice de fluidez 2 procesa más fácilmente que una de índice de fluidez 0,3; mientras que sus propiedades en estado sólido o mecánicas se relacionan con una medida llamada densidad por ejemplo se dice que una película de PEAD de densidad 0,950 es mas rígida que una de 0,940.

El polietileno de baja densidad en el estado fundido se presenta como una cadena central, rodeado por varias ramas largas. A su vez, tanto la cadena central como las ramas están cubiertas en su extensión por ramas corta (ver Figura 2.1), las moléculas no son de tamaño o peso molecular idéntico, sino que posee una variedad de moléculas grandes y pequeñas. El promedio de tamaño de estas moléculas está inversamente relacionado al índice de fluidez. Las características moleculares del estado fundido que están descritas por el concepto de índice de fluidez describen la procesabilidad del PEBD.

La fácil procesabilidad del PEBD se debe a que las ramas largas de la molécula se pliegan en el sentido opuesto al flujo del material en el tornillo y ofrece menos resistencia al movimiento, además las moléculas pequeñas actúan como lubricantes facilitando el proceso.

Otro aspecto de la procesabilidad es la estabilidad de la burbuja cuando se sopla el material. El PEBD ofrece gran estabilidad ya que las ramas largas de distintas moléculas se entrecruzan en el material fundido formando un entramado o red molecular que impide que la burbuja colapse sobre la matriz o se desplace

lateralmente. Por esto es PEBD es esencial para mantener burbujas de grandes diámetros o espesores.

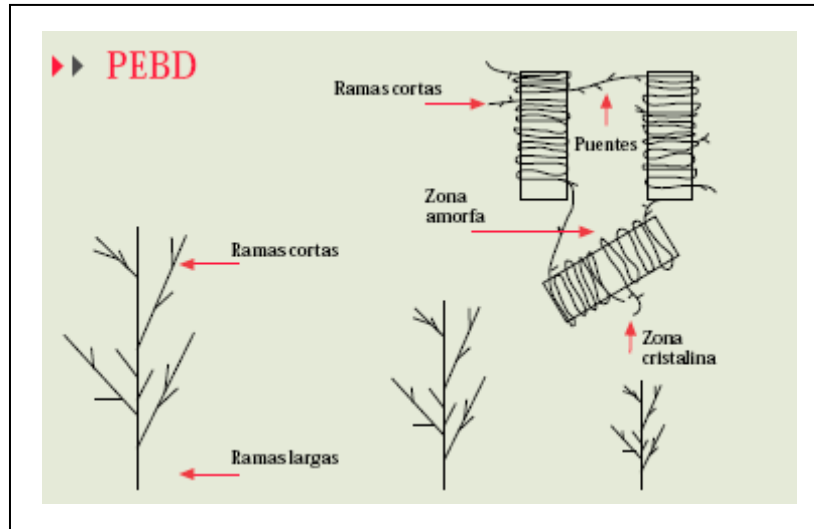


Figura 2.1 Arquitectura molecular del PEBD. Fuente: Dow Chemical, 2006

En estado sólido de PEBD aparecen más compactas que en el estado fundido y forman estructuras cristalinas (Zonas del sólido donde las cadenas centrales de cada molécula están altamente empaquetadas) y estructuras amorfas (Zonas donde las cadenas centrales no están empaquetadas). Se dice que una resina tiene mayor densidad cuanto mayor es la proporción de zonas cristalinas sobre zonas amorfas.

Las características moleculares del estado sólido definen las propiedades mecánicas, las propiedades de sello y ópticas del PEBD. Las zonas cristalinas están unidas entre sí por puentes que son secciones de moléculas que están unidas a más de un cristal. Estos puentes son muy importantes ya que al unir distintas zonas cristalinas forman un entramado molecular que se manifiesta a nivel macroscópico como resistencia mecánica de las películas por ejemplo resistencia al impacto a la perforación y al rasgado. Estos puentes también se generan en la zona de sellos de las películas, de ahí que aquellas resinas que generen más puentes tienen en general mayor resistencia de sello ^[18].

El PEBD se usa en aplicaciones donde se requieren cierto nivel de transparencia y brillo y no necesitan propiedades mecánicas especiales, como bolsas de uso general;

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

este polietileno mezclado con otros por ejemplo el PELBD brinda procesabilidad y estabilidad de burbuja.

El PELBD es un copolímero formado por más de un componente o monómero: etileno en (mayor cantidad) y octeno o buteno o hexeno (en menor cantidad). El PELBD buteno pertenece a la familia de polietilenos lineales, pues en el estado fundido se presentan como una estructura lineal, con una cadena central y ramificaciones cortas y carecen de ramificaciones largas. Este material no procesa tan fácilmente como el PEBD ya que las moléculas no se pueden acomodar al flujo como el caso de las ramas largas del PEBD. Además debido a la ausencia de ramas largas que formen entramado molecular en el fundido, el PELBD ofrece una pobre estabilidad de burbuja. Finalmente, el mismo presenta una variedad de tamaños moleculares en las cuales las moléculas pequeñas actúan como lubricantes. En los PELBD están presentes las moléculas de entrelazamiento (Tie Chains) y la presencia de ramificaciones largas que son las responsables de las propiedades mecánicas y ópticas.

El polietileno es un material semicristalino que presenta dos regiones bien diferenciadas: una región cristalina, responsable por las propiedades mecánicas estáticas del material, como son rigidez, modulo, barrera, densidad y una región amorfa (donde están presentes los Tie Chains) responsables por las propiedades dinámicas del material como son dardo, rasgado, punzonado y por las propiedades ópticas y del sello del mismo. En definitiva cuanto mas cadenas de entrelazamiento mejores propiedades mecánicas, de sello y ópticas ^[19].

A las películas para empaques flexibles a parte de contener mezclas de polietilenos de baja densidad y lineales, se le adicionan plastómeros los cuales son resinas de base polietilénica que poseen una elasticidad mayor que la de un típico termoplástico poliolefínico pero no tanta como la de un elastómero, además de aportar a las películas excelentes temperatura de iniciación de sello y excelentes propiedades ópticas ^[28].

Los aditivos son útiles en la industria plástica para mejorar cualidades de las materias primas, mitigar algunas de las desventajas encontradas durante su

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

procesamiento o utilización y lograr la optimización de propiedades en el proceso de transformación, generando así productos únicos de características superiores. Para la elaboración de la película para laminación se adicionan los siguientes aditivos:

- **Agente Antibloqueo:** Compuesto incorporado o aplicado a un sustrato para prevenir su adhesión con otros o consigo mismo, durante su procesamiento o almacenado.
- **Agente Deslizante:** Compuesto incorporado al polietileno para facilitar el deslizamiento del producto terminado sobre superficies metálicas o sobre la misma película, el compuesto químico que cumple dicha función es la erucamida y la disminución en el coeficiente de fricción es el resultado de la migración de este compuesto a la superficie de la película por resultado de la incompatibilidad del aditivo con el polímero.
- **Agente Antioxidante:** Compuesto que se incorpora al sustrato para proteger el polímero de degradaciones químicas causadas por el oxígeno o el ozono.
- **Ayudantes de Proceso:** Son copolímeros basados en acrilatos que mejoran y estabilizan el polímero durante la coextrusión ^[14].

2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS PELÍCULAS PLÁSTICAS FLEXIBLES

Las propiedades mecánicas de un material, describen la forma en que el mismo soporta fuerzas aplicadas, e implica características inherentes que permiten diferenciar un material de otros, desde el punto de vista del comportamiento mecánico. Las películas obtenidas a partir de mezclas poliméricas, presentan propiedades mecánicas únicas debido al aporte que cada uno de los polímeros. Cuando el comportamiento de la mezcla es superior al que proporcionalmente se tendría a partir de los componentes puros, se puede decir que existen interacciones sinérgicas o de integración, por el contrario si las propiedades resultantes son inferiores, las interacciones existentes son antagónicas o de oposición ^[4]. Las propiedades más importantes que se estudian en las películas son:

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- **Coeficiente de fricción:** es la relación entre la fuerza de fricción y la fuerza que actúa perpendicularmente a las dos superficies del material, cuando el mismo desliza sobre una superficie adyacente, del mismo o de otro material y se clasifica en :
 - a. Coeficiente de fricción estático: es aquel que está relacionado a la fuerza medida para iniciar el movimiento relativo de ambas superficies.
 - b. Coeficiente de fricción cinético: es aquel que está relacionado con la fuerza aplicada para mantener el movimiento.
- **Resistencia al rasgado:** Representa la fuerza que necesito para seguir rasgando una muestra a la que previamente le he producido un corte intencionalmente.
- **Resistencia al impacto:** Representa el comportamiento de un material ante un golpe bajo condiciones controladas. Mide la fuerza necesaria para romper una lámina de plástico por un golpe seco.
- **Sellabilidad:** Es la propiedad de un material de adherirse consigo mismo o con otros, a condiciones de temperatura, presión y tiempo determinados ^[14].

2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN DE PELÍCULAS MONOCAPA.

El proceso de extrusión consiste en un tornillo simple en el cual se obliga al polímero a pasar a través de un dado. En el extrusor se presentan tres zonas:

a. *Zona de Alimentación:*

Es aquella donde el material en forma de granos (pellets) es compactado, precalentado y transportado hacia la zona de compresión.

b. *Zona de Compresión:*

La segunda zona tiene una profundidad de canal decreciente esta zona tiene como función fundir y homogeneizar la resina.

c. *Zona de dosificación:*

Es aquella zona en la que se encarga de ejercer presión sobre el material para dosificarlo hacia el cabezal y con ello suministrar a la región del dado material de calidad homogénea a temperatura y presión constante.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Posteriormente, el polímero pasa por un dado anular que apunta por lo común hacia arriba. El tubo que se produce se infla con aire formando una burbuja (ver Figura 2.2) y al mismo tiempo se hala hacia arriba en un procedimiento continuo. La proporción a la cual se infla la burbuja viene dada por la relación de soplado, la misma indica el nivel de orientación transversal impartida a la película y viene dada por:

$$BUR = \frac{0,636 * A}{D_o}$$

Donde:

BUR: Relación de soplado, adim

A: ancho de la película, cm

Do: Diámetro del Cabezal,cm

El aire del interior está contenido como en una gran burbuja mediante un par de rodillos colapsantes que están en la parte alta. Se puede considerar que el polietileno se desliza sobre un mandril de dimensionamiento, interno, sometido a la presión que le imparte el gas. Se expande radicalmente casi tres veces su diámetro original y al mismo tiempo se hala en la otra dirección. El resultado es que queda biaxialmente orientado y esta orientación se hace permanente al cristalizar ya que congela la orientación en su lugar.

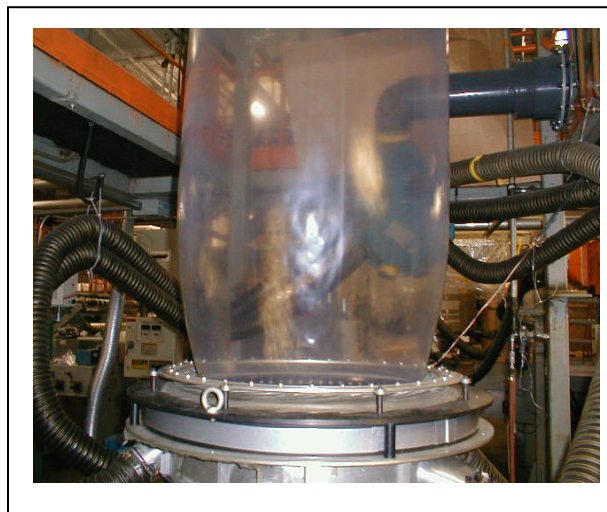


Figura 2.2 Formación de la burbuja en el proceso de extrusión. Fuente: De Eliote

2.5 FUSIÓN DEL POLÍMERO.

El polímero funde por acción mecánica en combinación con la elevación de su temperatura por medio de calentamiento del cañón. La acción mecánica incluye los esfuerzos de corte y el arrastre, que empuja el polímero hacia la boquilla e implica un incremento en la presión.

La primera fusión que se presenta en el sistema ocurre en la pared interna del cañón, en forma de una delgada película, resultado del incremento en la temperatura del material y posteriormente también debida a la fricción. Cuando esta película crece, es desprendida de la pared del cañón por el giro del husillo, en un movimiento de ida y vuelta y luego un barrido, formando un patrón semejante a un remolino, o rotatorio sin perder el arrastre final. Esto continúa hasta que se funde todo el polímero ^[25].

2.6 PROCESO DE FABRICACIÓN DE PELÍCULAS MULTICAPAS

La coextrusión es la combinación de dos o mas capas de polímeros fundidos para formar una única película que cumple con requisitos específicos de desempeño para una aplicación (ver Figura 2.3 y 2.4). En América latina la coextrusión se desarrollo en pequeños nichos de mercados como películas con barreras al oxígeno utilizando resinas de poliamidas para barrera, recubiertas con polietilenos para dar características de termosellado. Así se obtenía en un solo proceso en un costo mas bajo.

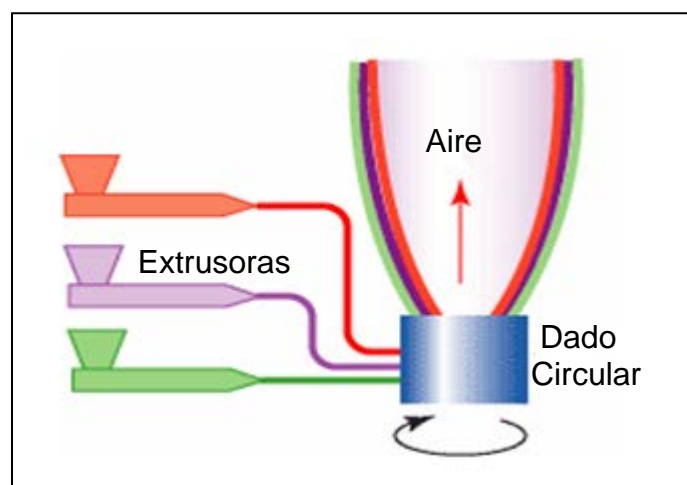


Figura 2.3 Capas de una película coextruída. Fuente: Specialchem adhesive

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La coextrusión se usa cada vez más como una herramienta para obtener un mejor costo beneficio en una variedad de aplicaciones, donde compiten con mezclas de polietilenos en películas monocapa. El empleo de la coextrusión logra optimizar las características de polímeros más costosos, minimizando la cantidad total necesaria para cumplir un propósito específico (sellabilidad, adhesividad, tenacidad, brillo) comparado a una película monocapa donde los componentes se encuentran mezclados.

Las principales ventajas de la coextrusión son las siguientes:

- Permite la combinación de propiedades en una sola película.
- Se obtiene un mejor costo beneficio que en mezclas monocapas
- Se reduce el número de etapas de fabricación para obtener una película específica.
- Permite el reciclado eficiente de materiales.

La resistencia mecánica final de una película coextruída es aproximadamente igual a la suma de las resistencias de sus capas individuales. Teóricamente, en una mezcla monocapa de dos o más materiales, la resistencia final debería ser aproximadamente igual a la suma de los aportes de cada uno de los materiales. Sin embargo, factores relacionados con la no homogenización de la mezcla de los distintos componentes hacen que esto no se cumpla.

Estudios realizados demuestran que las propiedades mecánicas de las películas coextruídas son mejores a las de las mezclas monocapa con igual contenido total de los mismos componentes. Las mezclas monocapas de PELBD con el PEBD presenta propiedades de impacto y rasgado inferiores comparadas a la de la coextrusión. En el caso de empaques automáticos nos permite reducir el espesor final de una película manteniendo o incluso mejorando el desempeño final de la misma ^[1].



Figura 2.4 Equipo de Coextrusión. Fuente: Windmüller & Hölscher, 2006

2.7 PRINCIPALES PROBLEMAS EN LA COEXTRUSIÓN

La coextrusión es el resultado de la mezcla de diferentes polímeros, los cuales presentan diferentes densidades e implica un acoplamiento entre capas, en consecuencia, se presentan los siguientes problemas

● Efecto encapsulamiento

Cuando se extruyen dos polímeros en forma de lámina o película de un grosor muy pequeño en comparación con el ancho de la misma, ocurre frecuentemente un problema de encapsulamiento debido a la diferencia en viscosidades de los materiales implicados, el material de menor viscosidad tiende a fluir con menor rapidez que el de mayor viscosidad y por ello este segundo material "encapsula al primero", en un caso práctico no es completamente encapsulado, sino que se obtiene una diferencia importante de calibres de los materiales en el centro con respecto a las orillas.

● Diferencias de calibre debido a problemas de ajuste del dado

Los dados modernos tienen sistemas piezoeléctricos u otros sistemas mecánicos unidos a una computadora que analiza las diferencias de calibre en línea.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Una lámina extruída es ajustada en el dado a un mismo calibre, sin embargo, el polímero tiende a presionar este dado y a permitir un mayor flujo de material en el centro con respecto a las orillas, esto debido al carácter viscoelástico de las macromoléculas ^[25].

2.8 PROCESO DE LAMINACIÓN

El laminado es el proceso mediante el cual se unen las superficies de dos o más materiales utilizados en la elaboración de empaques flexibles combinados en forma de bobina. Este proceso puede ser:

- ✱ **Por adhesivo o calandria:** Consiste en la unión de los sustratos a partir de una sustancia química con propiedades adhesivas, el mismo utiliza un conjunto de tres rodillos calientes en los cuales entran los sustratos como se muestra en la Figura 2.5, donde el adhesivo es calentado, activado y aplicado sobre el sustrato. La selección del material es crítica para asegurar una unión resistente y duradera entre los sustratos.

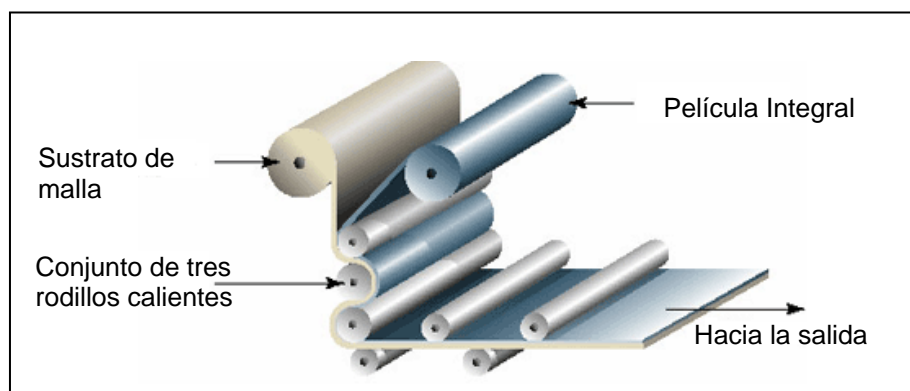


Figura 2.5 Laminación por adhesivos. Fuente: Dow Chemical, 2006

- ✱ **Por extrusión:** Este tipo de laminación se utiliza con los polímeros termoplásticos, los cuales con frecuencia son extrudidos en una lámina para su posterior formado y procesamiento. Las películas adhesivas son diseñados permitiendo laminado en línea y distribución uniforme del adhesivo en sus procesos de extrusión. La lámina de polímero, que se muestra en la Figura 2.6,

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

es extrudada y luego se pone en contacto con la película adhesiva. El calor residual de la lámina extrudida activa el adhesivo.

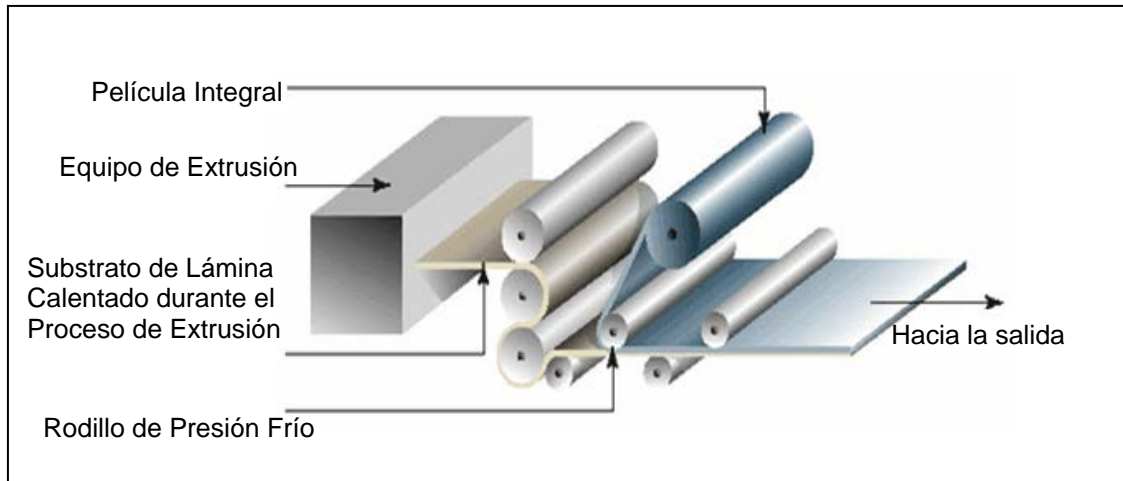


Figura 2.6 Laminación por extrusión. Fuente: Dow Chemical, 2006

- * **Laminación térmica:** El laminado en caliente y en cinta utiliza calor y presión como método para unir los sustratos. Como se muestra en la Figura 2.7 las películas ingresan a los cilindros calientes donde los materiales son calentados y presionados uno contra otro.

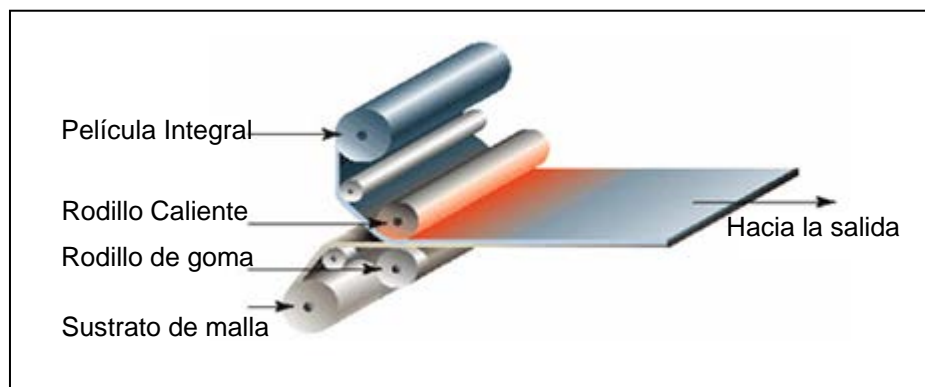


Figura 2.7. Laminación Térmica. Fuente: Dow Chemical, 2006

Entre las muchas aplicaciones de la laminación se encuentran la elaboración de bolsas para detergentes, leche, alimentos, y farmacéuticos. Antes de la laminación se puede imprimir y luego laminar para proteger la impresión o solo laminar para mejorar las propiedades de la película.

2.9 TRATAMIENTO DE CORONA

La superficie de las películas plásticas para laminación, precisan con frecuencia de un tratamiento de corona posterior a la coextrusión, para permitir posteriores operaciones como la laminación, la impresión o el metalizado.

Este tratamiento consiste en un generador de alta tensión y frecuencia que alimenta un rodillo metálico suspendido con toma de tierra (ver Figura 2.8). Este rodillo está recubierto por un aislante como poliéster, cerámico o elastómero de silicona.

El conjunto puede considerarse como un gran condensador, con el electrodo y el rodillo con toma de tierra como las placas del mismo, y el aire como dieléctrico. La corona se forma cuando se aplica un alto voltaje que causa la ionización del aire y se forma un plasma, pudiéndose observar una luz azulada (ver Figura 2.9) en el espacio intermedio sin que se produzca arco debido al aislamiento del rodillo. Este plasma a presión atmosférica es lo que se denomina descarga corona. Una película que pase de modo continuo sobre el rodillo bajo los efectos de este plasma sufre modificaciones superficiales que permiten la posterior impresión o laminación de la misma ^[8].

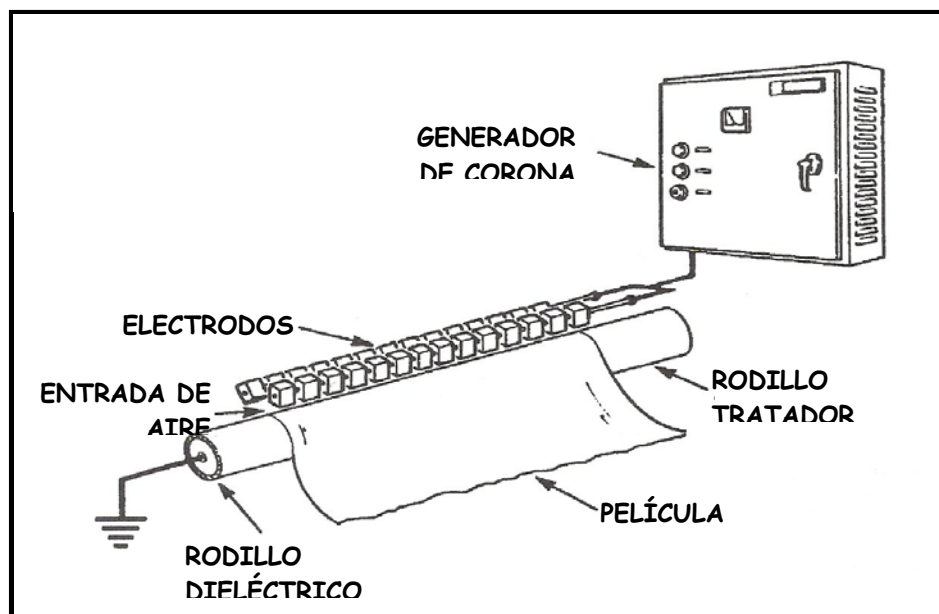


Figura 2.8. Tratador de Corona. Fuente: CORAMER, 2007

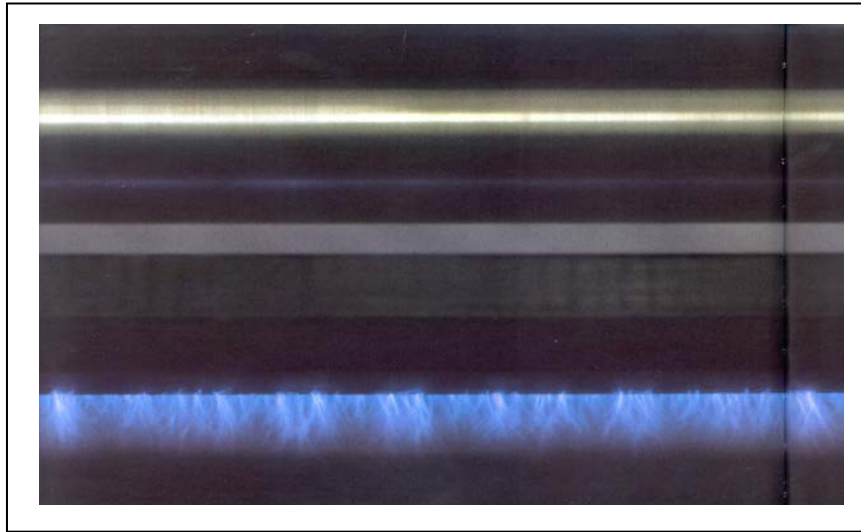


Figura 2.9. Formación de la Corona. Fuente: CORAMER, 2007

Las películas para laminación tienen características diferentes, dependiendo de las necesidades del cliente, pueden ser transparentes o coloreadas e incluso impresas, los espesores varían entre 20 y 60 micrones, deben poseer tratamiento de corona, un coeficiente de fricción muy bajo para que la película al ser transformada en bolsas o envases finales por medio de un equipo de envasado automático deslice sin problemas a través del mismo; alta resistencia al impacto y al rasgado ^[17].

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta detalladamente el tipo de investigación en que se enmarca el proyecto, así como la metodología a utilizar para el desarrollo sistemático de los objetivos.

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación por su intención y según los objetivos planteados, se enmarca en un proyecto factible, el cual según Sierra (2004):

“Consiste en elaborar propuestas viables que atiendan a necesidades en una institución, organización o grupo social que se han evidenciado a través de una investigación documental o de campo y comprende las siguientes etapas: diagnóstico de la necesidad, estudio de la factibilidad de la propuesta, ejecución de la propuesta, evaluación y rediseño si se amerita”.

Atendiendo a lo anteriormente expuesto, este estudio asume los criterios que guían el proyecto factible, por que el trabajo va dirigido a responder la necesidad de incorporar el copolímero de hexeno en la formulación de la película coextruída para laminación como sustituto del copolímero de octeno en la empresa Plásticos de Empaque C.A..

3.2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se presenta en forma detallada las actividades realizadas para el alcance de los objetivos planteados.

3.2.1 Caracterización del copolímero de hexeno con la finalidad de compararlo con el copolímero de octeno

MARCO METODOLÓGICO

En esta actividad se muestra la búsqueda de información necesaria para la caracterización físico- mecánica de las materias primas a utilizar para la elaboración de las películas.

3.2.1.1 Identificación de las propiedades físico- mecánicas de cada uno de los copolímeros.

Para el desarrollo de esta actividad se recaudo la información necesaria acerca del copolímero de octeno y de hexeno, a través de las fichas técnicas correspondientes, consulta a Internet y textos bibliográficos. Posteriormente se plantearon dos estructuras una a base de octeno y la otra a base de hexeno; las cuales fueron elaboradas mediante el proceso de coextrusión por Blown film (ver Sección 3.2.3.3). Se evaluaron las propiedades de elongación, resistencia al rasgado y resistencia al impacto al dardo a la película terminada.

3.2.1.2 Comparación de las propiedades físico – mecánicas de los copolímeros.

En función de los resultados obtenidos se establecen las diferencias y semejanzas entre las propiedades físico – mecánicas de los copolímeros en estudio y la viabilidad técnica de la sustitución planteada.

3.2.2 Establecimiento de los diferentes niveles de adición del copolímeros de hexeno con el fin de generar distintas formulaciones.

3.2.2.1 Identificación de los factores que influyen en las propiedades físico – mecánicas de la película.

Para la identificación de los factores influyentes, se realizó un diagrama de causa-efecto donde se toma en cuenta seis categorías, como lo son: mano de obra, maquinaria, método, medición, materia prima y medio ambiente.

- **Mano de obra:** en esta categoría los operarios de la planta fueron los que estuvieron a cargo del control de las variables.

MARCO METODOLÓGICO

- **Maquinarias:** para esta categoría se utilizó una coextrusora Windmöller & Hölscher con un sistema de tres extrusores Varex E-60-30D
- **Método:** esta categoría incluye el procedimiento empleado para la elaboración del I películas tubular por blown film.
- **Medición:** en esta categoría se consideraron la medición del impacto al dardo, coeficiente de fricción, sellabilidad, resistencia al rasgado y esfuerzo
- **Materia prima:** esta categoría incluye los diferentes tipos de polietilenos utilizados.
- **Medio ambiente:** en esta sección se incluyen las condiciones ambientales a las cuales están sometidas las extrusoras dentro del galpón.

3.2.2.2 Establecimiento de los valores máximos y mínimos de cada uno de los polímeros presentes en la película.

Para el cumplimiento de esta actividad se hizo uso de la información recaudada anteriormente, además de la consulta al personal especializado en el área.

Posteriormente se analizó la influencia de la adición de las diferentes resinas sobre las propiedades mecánicas de la película para lograr establecer la proporción mínima y máxima de cada una de ellas.

3.2.2.3 Establecimiento de las distintas fórmulas a evaluar.

Con base en los niveles establecidos con anterioridad y el estándar que posee la empresa para películas de laminación se logran las formulaciones de las estructuras a evaluar.

3.2.3 Análisis de las propiedades mecánicas de las películas elaboradas con el propósito de seleccionar la fórmula que cumpla con las especificaciones del cliente.

3.2.3.1 Revisión de las normas COVENIN para la evaluación de las propiedades.

Se revisaron las normas Covenin 1019:99, 1357:99, 384:77, 463:94, 994:98, 837: 95, para conocer las pautas que rigen los diferentes ensayos de calidad y determinar la factibilidad de su realización en el laboratorio de la empresa.

3.2.3.2 Conocimiento del funcionamiento y manejo de los equipos de manufactura de la película y análisis instrumental de las propiedades.

A través de los manuales de los equipos y el entrenamiento por el personal de la empresa se logra conocer el funcionamiento de los mismos, además del establecimiento de los criterios para el análisis de los ensayos.

3.2.3.3 Elaboración de las películas formuladas mediante el proceso de coextrusión. Para la elaboración de la película se utilizó una coextrusora Windmöller & Hölscher con un sistema de tres extrusores Varex E-60-30D (ver Figura D.1), a los cuales se le alimentaron las mezclas de polímeros y luego se fijaron en el panel de control (ver Figura D.4) las siguientes condiciones de operación:

Temperatura de fundido en la coextrusora A: 182 °C

Temperatura de fundido en la coextrusora B: 185 °C

Temperatura de fundido en la coextrusora C: 180 °C

Velocidad de halado: 28,0 m/min

Espesor: 56,4 μ m

Ancho: 940 mm (900 mm de la película y 40 mm de refilado)

Aire externo: 37%

Aire interno: 21%

Longitud de la película: 2958 m

Las condiciones antes expuestas son las usadas actualmente por la empresa en la elaboración de películas para laminación, dichas condiciones no fueron modificadas por disposición de la empresa.

Posteriormente de la alimentación la mezcla polimérica pasa por el tren de extrusores (ver Figura D.3), donde ocurre la fusión de las resinas por efecto de la elevada temperatura a las cuales se ven sometidos, luego, se unen en el cabezal que es un dado anular que apunta por lo común hacia arriba. El tubo que se produce se infla con aire formando una burbuja (ver Figura 2.2) y al mismo tiempo de hala hacia arriba en un proceso continuo. La burbuja obtenida atraviesa un sistema de rodillos colapsantes que están en la parte alta de la máquina. Seguidamente están dispuestos

MARCO METODOLÓGICO

los rodillos de halado, que unen los lados de la burbuja colapsada impidiendo la salida del aire; a continuación la película pasa por un conjunto de rodillos enfriadores que permiten el estiramiento y disminución de la temperatura de la misma. Inmediatamente la película recibe el tratamiento de corona (ver Sección 2.9) para finalmente ser refillada y embobinada (ver Figura D.6).

3.2.3.4 Selección de las propiedades físico – mecánicas a evaluar.

De acuerdo a las exigencias del cliente, a las normas COVENIN y los equipos disponibles en el laboratorio del aseguramiento de la calidad, se seleccionan las propiedades más importantes para las películas de laminación.

3.2.3.5 Determinación de las propiedades físico- mecánicas para cada una de las películas.

En esta sección se explica detalladamente en que consiste cada una de las pruebas empleadas para la determinación de las propiedades físico-mecánicas.

● Impacto al dardo:

Objetivo: Determinar la resistencia al impacto de películas plásticas por acción de un dardo en caída libre.

Norma de Referencia: Standard test method for impact resistance of plastic film by the free – falling dart. Method. ASTM D 1709-91 y Método de ensayo para determinar la resistencia de películas plásticas por caída libre de dardos (COVENIN 384:98).

Equipos e instrumentos: Plantilla para el ensayo de impacto, equipo DDI (dart drop impact), collar o anillo de sujeción, pesas y dardos.

Método: cortar un mínimo de 20 muestras, la superficie de todas las probetas deben estar libres de grietas, arañazos e imperfecciones visibles, las muestras deben mantenerse a una temperatura de $(25 \pm 2) ^\circ \text{C}$ y a $(50 \pm 10) \%$ de humedad relativa al menos durante 40 horas previos a la realización del ensayo.

Se utilizan dos métodos de ensayos, dependiendo sobretodo de la fortaleza de la película de polietileno que va a ser ensayada.

Método A: es usado para impactos cuya fuerza sean menor o igual a 340 g.

MARCO METODOLÓGICO

Metido B: es usado para impactos cuya fuerza sea superior a 340 g e inferior a 1300g, (ver Apéndice C).

● Rasgado:

Objetivo: Determinar la resistencia al rasgado en las películas plásticas

Normas de referencias: Películas plásticas. Determinación de la resistencia al rasgado (Norma COVENIN 994:98).

Equipos e instrumentos: Aparato de péndulo tipo impulso, mordaza fija, mordaza móvil, sujetador que mantiene el péndulo en la posición inicial, mecanismo indicador, péndulos de capacidades de carga o pesos.

Método: Consiste de 10 probetas como mínimo tomadas en la dirección de la extrusión y 10 como mínimo tomadas perpendicularmente a la dirección de la extrusión. Consiste en medir la fuerza de resistencia a la propagación o rasgado de un corte, (ver Apéndice C).

● Coeficiente de Fricción:

Objetivo: Determinar el coeficiente estático y cinético de fricción de películas plásticas y de laminados usados en la fabricación de empaques flexibles combinados. El coeficiente de fricción es una medida de la facilidad con la cual la superficie del material puede deslizar sobre otra.

Normas de referencia: Películas plásticas. Determinación del coeficiente de fricción. (COVENIN 463: 94).

Equipos e instrumentos: Deslizador, plano, aparato para medir fuerza, aparato para mover el plano, aparato para mover el deslizador, poleas, base de soporte, tijeras, cinta adhesiva, hilos de nylon.

Métodos: Las propiedades de fricción se deben medir después que han transcurrido un tiempo suficiente para permitir que las probetas hayan adquirido un equilibrio con el medio ambiente. Las probetas se montan de manera que la misma cara de la película se use como superficie de contacto entre la probeta móvil y estacionaria.

MARCO METODOLÓGICO

La superficie de prueba se debe mantener lisa, libre de arrugas, libre de polvo, pelusas, impresiones digitales, o cualquier otro material extraño que pueda cambiar las características superficie de la probeta.

La prueba se realiza por el método B deslizador movable con plano estacionario. (ver Apéndice C).

● Temperatura de sellado:

Objetivo: Determinar la temperatura mínima de sellado de películas plásticas y laminados usados en la fabricación de empaques flexibles.

Equipos e instrumentos: Aparato para el sellado provisto con controles de temperatura, presión y tiempo, aparato de corte (guillotina).

Método: Se fijan las condiciones de presión, tiempo y temperatura inicial (temperatura mínima del sistema de control de los cabezales). Se cortan 6 probetas de la película a ensayar. Al estabilizarse la temperatura en los cabezales de la maquina selladora se, procede a colocar la probeta y accionar la selladora, se saca la probeta y se deja enfriar por 1 minuto aproximadamente. Luego se aplica fuerza manual para tratar de romper el sellado. Si el mismo se rompe, se considera que no sella correctamente de lo contrario se asume que sella. Se va incrementando la temperatura en 10° C hasta alcanzar los 150°C (temperatura máxima para películas de laminación). Se reporta la primera temperatura a la cual sella correctamente.

● Elongación:

Objetivo: Determinar las propiedades tensiles en los plásticos en forma de probeta.

Norma de referencia: Plásticos. Determinación de las propiedades tensiles. (COVENIN 1357:79)

Equipos e instrumentos: Cortador de muestras, micrómetro, equipo Eja Tensile Tester.

Método: utilizando el cortador de muestras se cortan 7 muestras en sentido longitudinal y 7 en sentido transversal con unas dimensiones de (13 ± 1) cm de largo y (2.54 ± 1) cm de ancho, las superficies de todas las probetas deberán estar libres de grietas, arañazos o imperfecciones visibles, las muestras deben mantenerse a una

MARCO METODOLÓGICO

temperatura ambiente de (23 ± 2) °C a una humedad relativa de $(50 \pm 10)\%$ durante al menos 24 horas. Se determina el espesor de cada probeta según el instructivo I-007-ACA-10, y se prepara el equipo dependiendo del material a ensayar, se escoge el programa APS para ensayos de todo tipo de plásticos de diferentes espesores, (ver Apéndice C).

3.2.3.6 Establecimiento de las especificaciones más importantes a considerar en la fórmula a seleccionar.

El establecimiento de las especificaciones se basó en las exigencias del cliente para el producto de laminación y en el historial existente en la empresa.

Se revisó el historial correspondiente a dos años anteriores para películas de (55-58) micrones y para los diferentes compradores de la misma, se escogió valor debido a que la película elaborada posee este espesor y las propiedades mecánicas están ligadas directamente al mismo. Además se consultó a los expertos en el área acerca de importancia de las propiedades en la película y así establecer un orden de prioridad, para garantizar la apropiada selección de las estructuras.

3.2.3.7 Determinación de la fórmula que posea las características acordes a las especificaciones del cliente.

A partir de los datos obtenidos para cada una de las estructuras estudiadas se construyeron gráficas que permitieron realizar un estudio comparativo de las propiedades físico – mecánicas y seguidamente se seleccionó la estructura cuyas características se encuentran acorde con las especificaciones del cliente.

3.2.4 Realización de un estudio económico de la fórmula seleccionada a partir del copolímero de hexeno para la elaboración de la película coextruída, con el fin de determinar su rentabilidad

Para el desarrollo de este objetivo se investigo la demanda nacional del producto para laminación y el mercado potencial cubierto por la empresa. Posteriormente se realizó la proyección de la demanda para un periodo de 5 años.

MARCO METODOLÓGICO

Con esos valores se estimaron los ingresos brutos por año de producción y a partir del costo de la materia prima y de fabricación se calcularon los flujos monetarios.

Mediante el uso de modelos de rentabilidad, valor actual y equivalente anual (ver Apéndice A), a una tasa mínima del rendimiento del 11 %, la cual representa la tasa de interés pasiva que otorgan los bancos según datos del Banco Central de Venezuela, Además se obtuvo la factibilidad de la sustitución del copolímero de octeno por el de hexeno en la película coextruída a través del diferencial del valor actual de cada uno.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los diferentes resultados obtenidos y el análisis correspondiente, en base a la teoría asociada y a comparaciones con la misma, cumpliendo así cada uno de los objetivos planteados en esta investigación y proporcionando una solución al problema.

4.1 Caracterización del copolímero de hexeno con la finalidad de compararlo con el copolímero de octeno.

Los copolímeros de octeno (O) y hexeno (H) son polietilenos de baja densidad lineal, los cuales presentan excelente estabilidad térmica en un amplio rango de condiciones de procesamiento y las películas elaboradas a partir de los mismos exhiben propiedades mecánicas excelentes. Estos copolímeros se utilizan en la fabricación de bolsas pesadas de bajo espesor, películas para laminación, de uso agrícola y stretch.

La procesabilidad de los polietilenos en estado fundido depende de la estructura molecular de los mismos; y se define como la facilidad de la resina a ser procesada a baja presión y temperatura en el extrusor, además de proporcionar estabilidad a la burbuja. Una medida de la procesabilidad del polietileno es el índice de fluidez, así que una resina con índice de fluidez 2 g/10 min, presenta mayor procesabilidad que una de 0.3 g/10 min.

Los polietilenos lineales en el estado fundido se presentan como una “estructura lineal” con una cadena central y ramificaciones cortas; por lo que las moléculas no se pueden acomodar fácilmente al flujo en el tornillo y producen mucha resistencia al movimiento en el mismo, ocasionando que se generen altas presiones de extrusión que pueden exceder los límites de diseño de los extrusores causando el deterioro de los mismos. Por lo tanto para procesar películas 100% de polietileno lineal se debe contar con extrusores que sean capaces de soportar tal exigencia. Según la bibliografía para procesar PELBD puro los mismos deben poseer tornillos con una longitud igual a 25 veces el diámetro del mismo o sea 25D ^[8]. Por el contrario los polietilenos de baja densidad en estado fundido se muestran como una cadena central rodeado de varias ramas largas que a su vez están cubiertas de ramas cortas, que se pliegan en el

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

sentido opuesto al flujo del material en el tornillo ofreciendo menos resistencia (ver Figura 4.1).

Los extrusores existentes en la empresa poseen tornillos de longitud 20D lo que implica que no fueron diseñados para soportar mezclas 100% de polietileno lineal, razón por la cual todas las películas elaboradas en los mismos deben poseer polietileno de baja densidad, el cual facilita la procesabilidad de la mezcla polimérica.

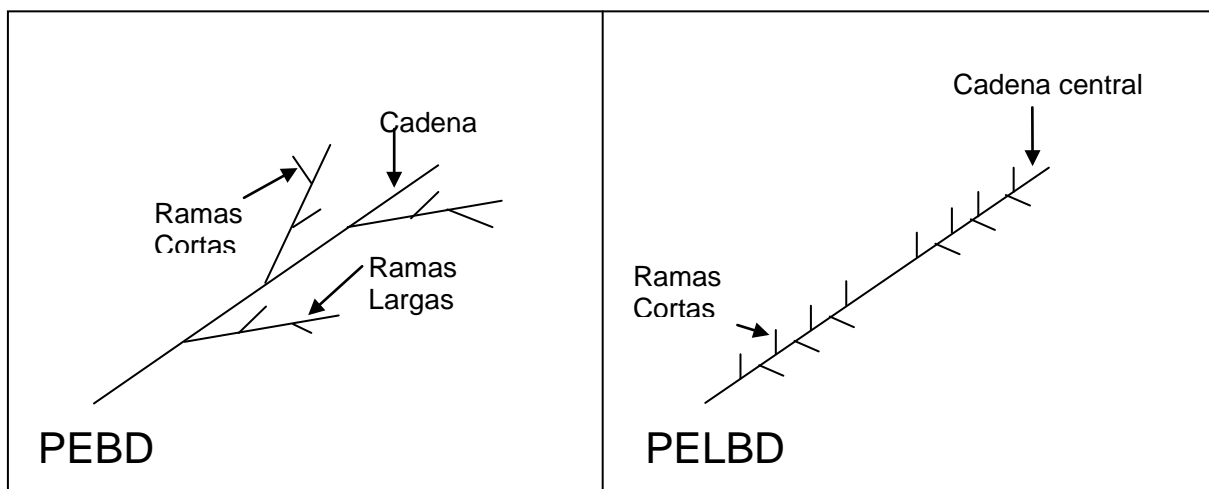


Figura 4.1 Arquitectura molecular del polietileno de baja densidad y lineal.

Fuente: Dow Chemical

Es importante recordar que el polietileno es un material semicristalino que presenta dos regiones: una región cristalina, responsable de las propiedades mecánicas estáticas del material, como son: rigidez, módulo, barrera, densidad; y una región amorfa, donde están presentes las moléculas de entrelazamientos o puentes, responsables de las propiedades dinámicas del material como son dardo, rasgado y elongación; en conclusión, mientras más cadenas de entrelazamiento existan mejores serán las propiedades mecánicas del producto terminado. Para lograr mayor cantidad de puentes, se utiliza la copolimerización, que consiste en agregar a la cadena carbonada del etileno un comonomero de buteno, hexeno u octeno. Este aumento en la cadena carbonada produce un efecto estérico, en el cual las moléculas mayores interrumpen la formación de cristales, permitiendo que se formen más puentes entre

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ellos, dando lugar a una red molecular de mayor tamaño, que implica mejoras en las propiedades mecánicas. Por lo tanto, mientras mayor es el número de carbonos del comonomero, mayor será el efecto estérico y mejores serán las propiedades mecánicas de la película coextruída. De acuerdo a lo expuesto anteriormente el copolímero de octeno otorga mejores propiedades mecánicas a la película terminada que los copolímeros de hexeno y buteno, por esta razón al pensar en la sustitución del octeno por el de hexeno en la película para laminación fue necesario caracterizar ambos copolímeros y determinar la desviación existente entre las propiedades mecánicas de los mismos con el fin de comprobar la factibilidad de dicha sustitución.

Para la caracterización se plantearon dos estructuras (ver Tabla 4.1), en las cuales, las resinas utilizadas y los porcentajes en peso que se fijaron para cada una de ellas; se establecieron como una exigencia de la empresa a partir de un patrón estándar, el cual permite la obtención de una mezcla polimérica que obedece a las limitantes que presentan los tornillos extrusores con respecto a la procesabilidad del material y además representa la estructura de menor costo que se puede obtener utilizando el octeno y el hexeno en sus niveles máximos de adición. Es importante destacar que estas películas se elaboraron solo con fines comparativos para el estudio del comportamiento de las propiedades mecánicas cuando los niveles de adición del octeno y del hexeno son los máximos permitidos por la empresa, por lo que dicha estructura solo es válida para este fin y no así para el uso de la misma como estructura viable para la elaboración de películas para laminación.

En el diseño de estas estructuras se mantuvieron fijos los valores de PELBD 11F1, PEBD 240, las condiciones de operación y el espesor de la película (55 μm), para poder comprobar la influencia de cada uno de los copolímeros en estudio sobre las propiedades mecánicas. En cada estructura se evaluaron las siguientes propiedades: impacto al dardo, resistencia al rasgado, y elongación, de acuerdo a las normas COVENIN 384:98, 994:98, 1019:99; respectivamente. El índice de fluidez y la densidad de la resinas fueron tomados de las fichas técnicas de los copolímeros, puesto que para su determinación se necesitan equipos especiales, los cuales el laboratorio del aseguramiento de la calidad de la empresa no posee.

TABLA 4.1 ESTRUCTURAS REALIZADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS COPOLÍMEROS DE OCTENO Y HEXENO

Estructura	Porcentaje en peso (%)	Resina
O	33	PELBD 2045
	35	PELBD 11F1
	32	PEBD 240
H	33	PELBD 2685G
	35	PELBD 11F1
	32	PEBD 240

O: Estructura de Octeno, H: Estructura de hexeno.

Al comparar los valores obtenidos de impacto al dardo (ver Tabla 4.2) se puede observar que la película que contiene octeno presenta valores que están por encima de los obtenidos con la película de hexeno, esto se traduce en la aplicación de mayor fuerza para romper la película plástica de octeno que la de hexeno. Cabe destacar que la diferencia entre los dos valores es de un 6,4% (ver Tabla 4.5), lo que implica que la sustitución del hexeno en la película no afecta significativamente la calidad de la misma porque los valores se encuentran en el rango de tolerancia exigidos por el cliente para la película, punto que se discutirá posteriormente en el objetivo 3.

TABLA 4.2 VALORES OBTENIDOS DE IMPACTO AL DARDO PARA LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS

Estructura	Resistencia al Impacto al Dardo ($I_D \pm 1$)g		
	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
O	340	*	340
H	325	310	318

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C

*: La estructura de octeno mantuvo un único valor para todos los ensayos.

Presión Ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

Las propiedades de elongación y resistencia al rasgado se evalúan en 2 sentidos de la película: el longitudinal y el transversal. El longitudinal implica el sentido en que es halada la película y el transversal en el que la misma es soplada (ver Figura 4.2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después que el material sale del cabezal del extrusor, las cadenas poliméricas se encuentran desordenadas, pero a medida que la misma es soplada y halada las cadenas se acomodan en ambos sentidos, esto se le conoce como orientación. Se dice que una película está biorientada si posee igual resistencia mecánica en ambos sentidos, pero si la película presenta mayor resistencia en un sentido que en otro, la misma está monorientada.

Por la altura de la torre, la cual es fija, la longitud de halado es mayor que la de soplado, orientando la película en sentido longitudinal, por lo tanto desde el punto de vista microscópico se induce una fuerza a las cadenas moleculares del polietileno, logrando una organización de la red molecular longitudinalmente débil debido a que las cadenas en este sentido están sometidas a una tensión mayor que las cadenas transversales traduciéndose macroscópicamente en disminución de la resistencia mecánica de la película en el sentido longitudinal y mayor resistencia transversal. Es por esa razón, que al evaluar las propiedades mecánicas de las películas, se observaron en ambas, discrepancias entre los valores de las propiedades tanto en sentido longitudinal como transversal.

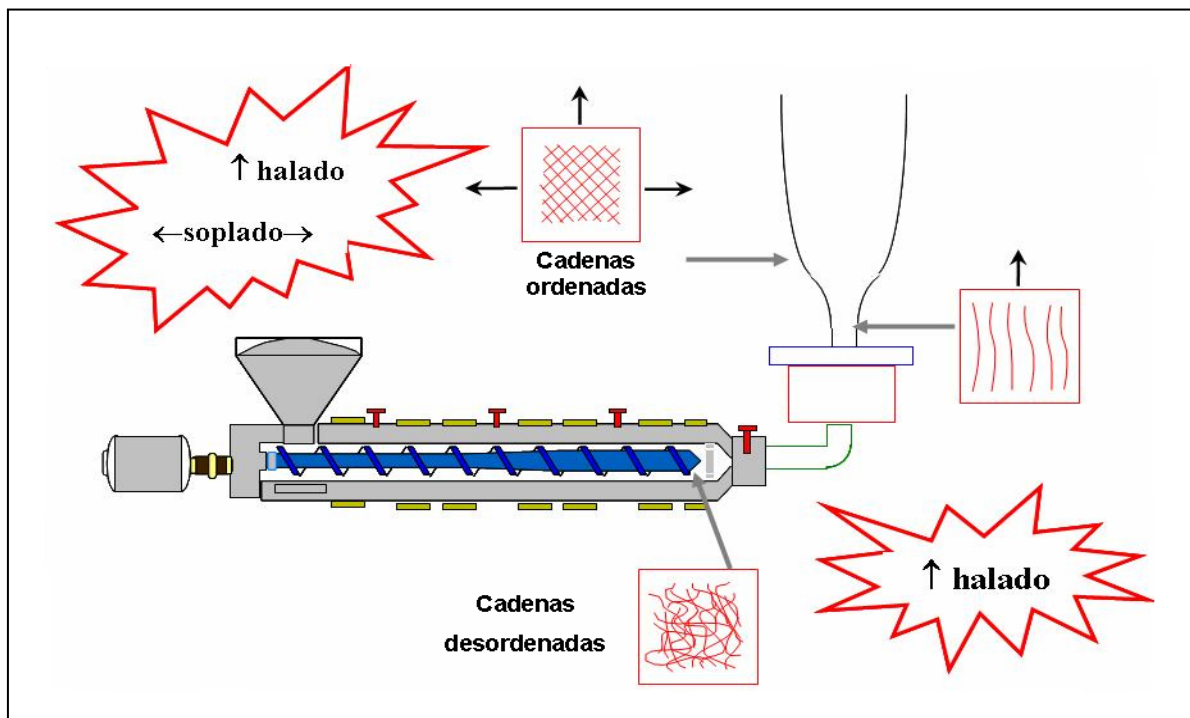


Figura 4.2 Proceso de orientación en la elaboración de la película. Fuente: Coramer.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar las propiedades de elongación y resistencia al rasgado (ver tabla 4.3 y 4.4) en las películas estudiadas, se observó que las propiedades de la película de octeno presenta valores superiores que la de hexeno; lo que significa que se necesita aplicar más fuerza a las películas de octeno para llevarla a su punto de ruptura, esto se debe a la explicación dada anteriormente que el octeno presenta una red molecular más fuerte que la del hexeno. No obstante, la desviación obtenida entre las propiedades de elongación y rasgado en el sentido longitudinal es de 14,9 % y de 19,9 % respectivamente; lo cual se traduce en beneficio debido a que ambas desviaciones permiten que los valores obtenidos a partir la película elaborada con el copolímero de hexeno satisfagan los requerimientos exigidos por el cliente.

TABLA 4.3 VALORES OBTENIDOS DE ELONGACIÓN PARA LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS

Estructura	Elongación Longitudinal ($E_L \pm 0,1$)%			Elongación Transversal ($E_T \pm 0,1$)%		
	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
O	779,6	713,1	751,2	983,9	900,0	939,3
H	682,1	570,8	639,4	870,3	810,2	845,8

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C

Presión Ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA 4.4 VALORES OBTENIDOS DE RESISTENCIA AL RASGADO PARA LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS

Estructura	Resistencia al Rasgado Longitudinal						Resistencia al Rasgado Transversal					
	Peso: 800 gf						Peso: 1600 gf					
	(RRL ±0,1)%			(RRL±0,1)gf			(RRT ±0,1)%			(RRT±0,1)gf		
	V _M	V _m	P	V _M	V _m	P	V _M	V _m	P	V _M	V _m	P
O	29,3	21,2	24,8	250,0	163,2	203,6	60,4	49,6	55,8	985,6	794,3	898,3
H	23,0	19,6	20,6	184,0	153,6	162,9	52,0	41,7	46,8	832,0	700,2	752,4

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C

V_M: Valor máximo; V_m: Valor mínimo

Presión Ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Finalmente, en la Tabla 4.5 al comparar el copolímero de hexeno con el de octeno este último presenta superioridad en todas las propiedades mecánicas, aún así los valores obtenidos para la película de hexeno no se alejan en más de un 20 %, y aún presente esta desviación las propiedades mecánicas se encuentran dentro de los rangos exigidos por el cliente, en consecuencia, el producto final presentará buena calidad permitiendo que la sustitución del octeno por el hexeno sea viable.

TABLA 4.5 PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LOS COPOLÍMEROS EN ESTUDIOS Y PORCENTAJE DE DESVIACIÓN ENTRE AMBOS

Propiedad		Estructura		%Desviación
		O	H	
Índice de fluidez (g/10 min) ^(a)		1,0	0,75	25,0
Densidad (g/cm ³) ^(a)		0,920	0,918	-
Impacto al dardo (g)		340	318	6,4
Elongación (%)	DM	751,19	639,41	14,9
	DT	939,32	845,85	9,4
Resistencia al rasgado (gf)	DM	203,6	162,9	19,9
	DT	898,3	752,4	16,2

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C

(a): Tomado de la Ficha técnica de Dow Chemical

Presión Ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

DM: Longitudinal; DT: Transversal

4.2 Establecimiento de los diferentes niveles de adición del copolímero de hexeno con el fin de generar distintas formulaciones.

Para la identificación de los factores que influyen en las propiedades físico – mecánicas de la película se analizan las 6 M (materiales, medición, medio ambiente, maquinaria, método, mano de obra), que intervienen en el proceso de fabricación de la misma.

- **Materiales:** En esta categoría se analizaron los insumos y materias primas necesarias para la elaboración de la película coextruída para laminación. La materia prima está constituida en su totalidad por resinas de polietileno de baja densidad y polietilenos lineales copolímeros de: buteno, hexeno y octeno; estas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

resinas durante su fabricación se le incorporan aditivos antideslizantes, antibloqueo, antioxidante y ayudante de proceso, los cuales son necesarios para la elaboración de las películas, y dado que las resinas contienen estos aditivos, cuyas concentraciones están establecidas por el proveedor y no son modificables, por lo tanto no se requiere de la adición de los mismos en el proceso de coextrusión.

El comportamiento mecánico de las películas de polietileno viene dado por el aporte inherente de cada resina a las mismas, es por ello que en esta categoría lo más influyente son los diferentes polietilenos utilizados en el proceso de manufactura de la película coextruída.

Con la finalidad de determinar cual es la mejor fórmula a partir de la incorporación del copolímero de hexeno, se obtienen tres estructuras, las cuales se estudiaron conjuntamente con la fórmula actual a base del copolímero de octeno.

- *Medición:* Con respecto a las variaciones en las mediciones realizadas en la coextrusora N° 4 y en el laboratorio del aseguramiento de la calidad de la empresa; se obtuvo que en los equipos de coextrusión, dichos efectos no son significativos, ya que la empresa implementó hace varios años la metodología seis sigma como sistema de control de fallos y según el departamento de Calidad actualmente se encuentran en el nivel 2-sigma, que representa un 69,15 % de rendimiento entre la materia prima alimentada y la cantidad de película producida y un 0,5 % de error entre el valor teórico y el real. Estos valores son monitoreados constantemente por los analistas de calidad, los cuales realizan a la película terminada todas las pruebas mecánicas exigidas por el cliente, bajo un estricto control de procedimientos y reguladas de acuerdo a las normas COVENIN y ASTM, certificados por ISO 9001-2000. Es importante resaltar, que todo material que no esté dentro de los límites de control es desechado, lo que garantiza al cliente la entrega de un producto de excelente calidad, de acuerdo a lo antes expuesto, se descarta este factor como influyente.
- *Mano de obra:* Para esta sección se evaluó la capacidad laboral de los operadores y las condiciones de trabajo de los mismos. Cabe destacar que el

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

proceso de coextrusión es automatizado, por lo que los operarios de la maquina se encargan de mantener la materia prima en las tolvas, realizar el arranque de la maquina, efectuar los cambios en la materia prima y en las condiciones de operación, de acuerdo a la orden de fabricación de un pedido en específico y de abordar situaciones de fallo como lo son: caída de la película por efecto de la ruptura en la burbuja, rayas o líneas en la película y atascamiento en el sistema de colapso. Esta categoría se descarta debido a que la empresa capacita el personal semestralmente sobre las técnicas de operación de la maquinaria, por lo que cada operario está preparado para corregir cualquier fallo en el momento de presentarse, permitiendo que la película se procese bajo las condiciones de operación adecuadas, lo que garantiza la calidad del producto terminado.

- *Medio Ambiente:* En esta categoría se analizaron las condiciones externas a las cuales están expuestas las extrusoras, la burbuja y el embobinado. Dado que los equipos se encuentran en un recinto cerrado a condiciones de calor y humedad controlados, se descarta este factor.
- *Maquinaria:* Durante la elaboración de la película coextruída existen una serie de condiciones que deben considerarse para obtener las propiedades mecánicas y ópticas adecuadas en el producto final, así como los requerimientos de espesor, ancho y longitud exigidos por el cliente; para esto se estudiaron los parámetros: temperatura de extrusión y relación de soplado.

La temperatura de extrusión es aquella a la cual se funden, mezclan, homogenizan y se transporta el polietileno, sin afectar los aditivos presentes en la mezcla. Es un parámetro muy importante dado que si las temperaturas en las extrusoras son muy altas, se evaporan los aditivos presentes y la resistencia al impacto en la película terminada disminuye o por el contrario si es muy baja se presenta el defecto “ojo de pescado” que es la presencia de partículas no fundidas en el producto. Las temperaturas utilizadas en las extrusoras A, B, y C fueron de 182, 185 y 180 °C, respectivamente; estas temperaturas se establecieron a partir de la intersección de los rangos recomendados por el fabricante de las resinas, de aquí que el intervalo resultante es (160 - 185) °C y dependiendo de la mezcla de resinas en cada tornillo se seleccionaron los

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

valores cercanos al límite superior para garantizar la fusión y homogenización de la mezcla. La temperatura de extrusión se mantuvo fija en la elaboración de las películas, en consecuencia su influencia sobre las propiedades del producto terminado no son relevantes.

La homogeneidad de la mezcla influye sobre las propiedades mecánicas ya que si la mezcla no es totalmente homogénea, habrá secciones de la película con buena resistencia mecánicas y otras partes con deficiencia en sus propiedades; la misma depende no solo de la temperatura de extrusión, sino también de la longitud de la zona de compresión, la cual según la Corporación Americana de Resinas (CORAMER) debe estar entre 5 y 10 veces el diámetro del tornillo (5D-10D), para obtener una buena homogenización, en el caso de los tornillos existente en la empresa esta longitud es de 8D, por lo que se considera que su efecto sobre las propiedades mecánicas no es significativo.

La relación de soplado indica, cualitativamente, el nivel de orientación transversal impartido a la película, si este parámetro es muy bajo, ocurre una disminución en la resistencia al impacto y al rasgado en la película en el sentido longitudinal, es por ello que mientras mayor sea esta relación mejor será el comportamiento de las propiedades mecánicas en el producto final, en consecuencia se tendrá una buena biorientación.

El ancho de la película es un requisito exigido por el cliente, por lo tanto éste valor es fijo, lo que implica que para incrementar la relación de soplado será necesario disminuir el cabezal (ver sección 2.4). Sin embargo, si no es posible cambiar el cabezal, es necesario la aprobación del cliente, el cual aceptará o no las propiedades mecánicas de la película. En este trabajo el valor utilizado para la elaboración de las películas fue de 1,86 adim, este valor no se pudo variar debido a que la empresa no dispone de un cabezal más pequeño para la coextrusora. Cabe destacar, que esta relación de soplado es la que se usa actualmente en la empresa y ya que la misma cumple con las exigencias del cliente, se descarta de acuerdo a las limitantes ya expuestas.

- **Método:** Para la elaboración de la película de laminación se pueden utilizar dos métodos: por cast film, que consiste en la elaboración de películas multicapas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

planas y por blown film que involucra la formación de películas de forma tubular y luego refileada.

La elaboración de películas por cast film no proporciona una correcta distribución de espesores, mientras que por blown film esta distribución es más uniforme y se puede controlar por medio del sistema optifilm (ver Figura D.5), que consta de un sensor que monitorea el espesor de la película enviando una señal al panel de control, el cual toma las acciones correctivas pertinentes.

Debido a que por medio del proceso de coextrusión por blown film se obtiene una película de mejor calidad y uniformidad en propiedades mecánicas, se descarta esta sección.

En el análisis del diagrama de causa – efecto (ver Figura 4.3), se puede observar que las propiedades mecánicas están ligadas directamente a la materia prima puesto que cada polímero presente en la mezcla realiza un aporte único a la película elaborada (ver Tabla 4.6). En la presente investigación se está evaluando la sustitución de un copolímero por otro y en consecuencia se requiere estudiar los aportes del mismo a la película, por lo que la materia prima representa un factor importante a evaluar.

Tomando en cuenta el análisis realizado para cada uno de los factores estudiados se puede concluir que los que influyen en las propiedades mecánicas de la película terminada son: mano de obra, maquinaria, método y materiales. De estos se descartaron los siguientes:

- Mano de obra: porque el personal se encuentra preparado para corregir cualquier eventualidad o fallo que pueda generar cambios en las propiedades mecánicas de la película.
- Maquinaria: se descarta debido a que los parámetros analizados en esta sección se mantuvieron fijos por exigencia del cliente como es el caso de la relación de soplado y para garantizar el procesamiento de la mezcla polimérica en el caso de la temperatura de extrusión.
- Método: se descarta este factor porque el método para la obtención de películas para laminación por Blown film proporciona mejores resultados con

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

respecto a las propiedades mecánicas de la película y mantiene un mejor control en la distribución de espesores.

Después de realizar el descarte de los factores presentes en el diagrama causa-efecto de la película para laminación, se puede concluir que el factor preponderante a evaluar corresponde a la materia prima.

TABLA 4.6 APORTES DE LAS RESINAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE LA PELÍCULA COEXTRUIDA PARA LAMINACIÓN

Resina	Índice de fluidez g/10min	Densidad g/cm ³	Aporte
PELBD 2045	1,0	0,9200	<ul style="list-style-type: none"> – Estabilidad térmica en el procesamiento. – Alta resistencia al punzonado, rasgado e impacto.
PELBD 11Q4	0,75	0,9190	<ul style="list-style-type: none"> – Alta sellabilidad. – Baja resistencia al impacto. – Ayudante de procesamiento. – Posee aditivos deslizantes, antioxidantes y antibloqueo.
Plastómero 1881	1,0	0,9035	<ul style="list-style-type: none"> – Excelente capacidad de sellado. – Contiene agentes deslizantes y antibloqueo. – Buenas propiedades ópticas.
PEBD 240	1,85	0,9200	<ul style="list-style-type: none"> – Baja resistencia al impacto, rasgado. – Posee agentes deslizantes, antioxidantes y antibloqueo – Procesabilidad.
PELBD 2685G	0,75	0,9195	<ul style="list-style-type: none"> – Buena resistencia al punzonado, rasgado e impacto. – Buenas propiedades ópticas. – Posee agentes deslizantes.
PELBD 11F1	0,80	0,9190	<ul style="list-style-type: none"> – Regular resistencia al impacto y rasgado. – Posee aditivos antioxidantes. – Ayudantes de procesamiento
PELBD 11PG1	1,00	0,9200	<ul style="list-style-type: none"> – Regular resistencia al impacto y rasgado. – Posee aditivos antioxidantes y baja sellabilidad.

Fuente: Dow Chemical y Polinter, 2006

Las películas para laminación son aquellas que poseen dos caras (ver figura 4.4), una no tratada que ofrece buen grado de deslizamiento y una tratada que permite una buena adherencia de los materiales al laminarse (tratamiento de corona) (ver sección 2.9), a su vez dichas películas ofrecen resistencia al rasgado e impacto y sus espesores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

varían entre (20-60) μm , en consecuencia se necesita para su elaboración una mezcla polimérica adecuada que garantice esas características.

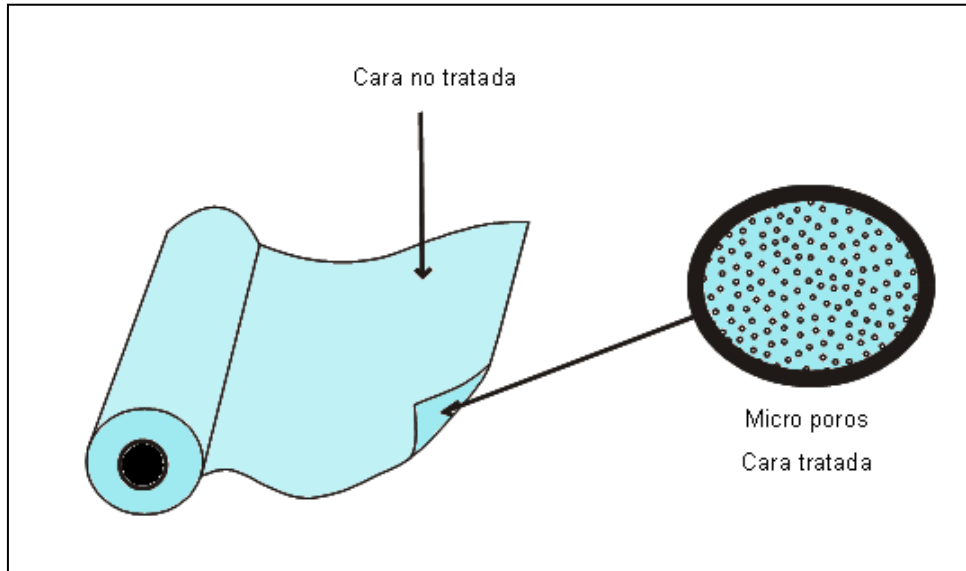


Figura 4.4 Partes de la película coextruída para laminación.

Por lo general, estas películas son elaboradas a partir de mezclas de PEBD y PELBD; por lo tanto si se utilizara solamente polietileno de baja densidad en la fabricación de las mismas se tendrá buena procesabilidad, mientras que su resistencia al rasgado e impacto serán muy deficientes debido a que dichas propiedades se optimizan en espesores por encima de los 100 μm ^[20].

Hay que recordar que el polietileno en estado sólido presenta zonas cristalinas que están unidas entre sí por puentes o moléculas de entrelazamiento que forman un entramado molecular entre las cadenas polietilénicas, dando lugar a una molécula gigante con mayor resistencia mecánica. Dicho entrelazamiento molecular se debe a la fuerzas de Van Der Waals presentes en el polietileno, que permiten la formación de enlaces covalentes.

El entrecruzamiento le confiere a la resina estabilidad y resistencia mecánica, gracias a que el arreglo de las moléculas se produce tanto en dirección transversal como longitudinal, como se puede apreciar en la resistencia al rasgado de la estructura 2 (ver Tabla 4.11).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a Fizner ^[19], a mayor cristalinidad y puentes que las unan habrá mejor resistencia mecánica y a su vez la presencia de una gran cantidad de zonas cristalinas ocasiona disminución en las propiedades ópticas de la película debido a que estas dependen directamente de la zona amorfa del polietileno. En el caso del PEBD, este presenta carencia de zonas cristalinas que permiten obtener películas de buena calidad óptica, económicas pero con baja resistencia mecánica. Por el contrario, los PELBD en estado sólido tiene mayor cantidad de zonas cristalinas y puentes entre las mismas, esta mayor cantidad de puentes se debe a que los mismos se originan en las zonas de las moléculas que contienen ramificaciones cortas que impiden el compactamiento de las moléculas en cristales y dicha interrupción genera los puentes formándose una red molecular que brinda mayor performance mecánica. La cantidad de puentes formados dependen de la longitud de las ramas unidas a la cadena principal, es decir del tamaño del comonomero.

Para la elaboración de películas en las que se requiere una alta resistencia mecánica de acuerdo a la bibliografía^[20] y a la experiencia de la empresa se recomienda no adicionar más del 30 % de PEBD en la mezcla, pero si la película posee un espesor por debajo de 100 μm no se debe adicionar más de 25 % del mismo. Este porcentaje de PEBD añadido otorga a la mezcla procesabilidad y un nivel adecuado de transparencia y brillo a la película, además de disminuir el costo de fabricación de la película.

La longitud de la cadena carbonada del comonomero ligado al etileno favorece e incrementa la formación de puentes, ya que la interrupción de la formación de cristales es más efectiva a medida que aumenta la longitud de las ramificaciones cortas. Por lo que se concluye que en términos generales las propiedades son mejoradas considerablemente a medida que se aumenta el número de carbonos en el comonomero: buteno, hexeno, octeno.

En cuanto a la proporción de PELBD que debe estar presente en la película se recomienda agregar una cantidad del 70 % basado en las experiencias de la empresa y a la bibliografía consultada ^[20], garantizando así alta resistencia mecánica en el producto final, este porcentaje se puede llevar al 100% siempre y cuando los equipos donde se desea elaborar la película sean capaces de procesar la mezcla, debido a que

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

el PELBD carece de buena procesabilidad. De acuerdo a los equipos existentes en la empresa solo se pueden procesar como máximo mezclas al 75 % de PELBD.

El copolímero de octeno 2045 por su estructura molecular exhibe en mezclas las mejores propiedades mecánicas, sin embargo a nivel económico es muy costoso lo que limita su uso a solo un 40 % en peso, fuera de este valor se elevaría el precio de la película y no sería competitiva en el mercado.

En la película para laminación se utilizan resinas que contienen agentes deslizantes, para disminuir la fricción en la cara no tratada y así evitar problemas al laminar el material, sin embargo estos agentes agregados en exceso migrarían también hacia la cara tratada de la película, originando un cierre en la porosidad de la misma, disminuyendo la adherencia entre los materiales, lo que implica que el laminado posterior no se pueda realizar de manera satisfactoria (ver Sección 2.8).

Dentro de las resinas aditivadas con agentes deslizantes se encuentra el copolímero de hexeno 2685G, el cual es más económico que el de octeno, por lo que su adición podría ser del 50% en la mezcla sin elevar el costo de la película ni afectar su porosidad, no obstante si la mezcla contiene otros copolímeros aditivados solo se puede adicionar hasta un 33%. Igualmente sucede con el copolímero de buteno 11Q4 el cual es una resina aditivada con estos mismos agentes.

En este trabajo, el PEBD 240 se encuentra aditivado con agente deslizante por lo que el PELDB 2685G se limita hasta un 33 % (ver Tabla 4.7).

El uso de los copolímeros de buteno: 11F1, 11PG1, se limita a los valores mostrados en la tabla 4.7, esto se debe a que estas resinas no poseen agente deslizante. En el caso de añadir más del 35% de los mismos, se disminuye la cantidad de agente incorporado a la película, ocasionando así un aumento del coeficiente de fricción, y por ende desmejorando la calidad del producto final, ya que éste no cumpliría con las especificaciones del cliente.

El Plastómero poliolefínico 1881 es una resina en base polietilénica el cual ha sido diseñado para su uso como capa sellante en estructuras flexibles, disminuyendo la temperatura de inicio de sellado. Según la bibliografía consultada ^[19] se puede añadir entre un (20-25)% del plastómero para mejorar considerablemente tanto el sellado como las propiedades mecánicas, sin embargo es altamente costoso, lo que limita

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

mucho su nivel de adición en la mezcla y de acuerdo a la experiencia de la empresa en ensayos anteriores se llegó a que se puede añadir entre un 10 y 15 % del mismo lográndose mejoras en el sellado y un equilibrio en el costo del producto final (ver Tabla 4.7).

TABLA 4. 7 NIVELES DE ADICIÓN DE LAS RESINAS PRESENTES EN LA PELÍCULA COEXTRUÍDA

Resina	Valor Mínimo (%)	Valor Máximo (%)
PELBD 11F1	10	35
PEBD240	20	25
PELDB 2685G	20	33
Plastómero 1881	10	15
PELDB 11PG1	10	35
PELBD 2045	20	40
PELBD 11Q4	25	30

En el desarrollo de las estructuras a estudiar se consideró como punto de partida el estándar diseñado por la empresa hace varios años con la ayuda y la capacitación suministrada por los proveedores, esta estructura es a base del PELBD copolímero de octeno (PELBD 2045), copolímero de buteno (PELBD 11Q4), Plastómero olefínico 1881 y PEBD 240, (ver fórmula 4 en la Tabla 4.8).

Para el estudio realizado se desarrollaron tres fórmulas, en las cuales se mantuvieron fijas las cantidades de PEBD 240, con la finalidad de garantizar la procesabilidad y de Plastómero 1881, con la intención de no afectar el costo de elaboración de la película, estas cantidades representan el 36,7% en peso de la mezcla.

Por la cantidad de agente deslizante que puede tener la película, el porcentaje de copolímero de hexeno se fija en 28.3 %, de lo contrario habría un exceso de dicho agente y la película no cumpliría con los requerimientos de calidad. Solo resta un 35% el cual debe ser un copolímero de buteno, ya que se requiere de la presencia de un polietileno lineal se utilizan entonces 2 copolímeros de buteno el 11F1 y el 11PG1 ambos existentes en la empresa los cuales de acuerdo a la ficha técnica (ver Apéndice B) poseen características muy similares. De allí surgen dos estructuras una en la que se

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

utiliza 35% de 11F1, otra que contiene 11PG1 en igual cantidad y la tercera estructura surge de la inquietud de comprobar el efecto de mezclar ambos copolímeros y por recomendación del proveedor se decidió agregar en mayor cantidad el 11PG1 (ver tabla 4.8).

No se diseñaron más estructuras debido a que el costo de elaboración de cada película es muy elevado, limitándose el estudio a tres fórmulas nuevas y la que se usa actualmente en la empresa, la cual se elaboró con la finalidad de comparar la calidad de las nuevas estructuras y su cercanía con las características mecánicas de la película con copolímero de octeno. Por disposición de la empresa, los porcentajes que se muestran a continuación son globales y no por capa ya que los mismos son confidenciales.

**TABLA 4.8 ESTRUCTURAS ESTUDIADAS DESARROLLADAS EN LA EMPRESA
PLÁSTICOS DE EMPAQUE C.A.**

Número de formulación	Resina	% en peso
1	PELBD 11F1	35,0
	PEBD 240	23,3
	PELDB 2685G (Hexeno)	28,3
	Plastómero 1881	13,4
2	PELBD 11PG1	35,0
	PEBD 240	23,3
	PELDB 2685G (Hexeno)	28,3
	Plastómero 1881	13,4
3	PELBD 11F1	11,7
	PELBD 11PG1	23,3
	PEBD 240	23,3
	PELDB 2685G (Hexeno)	28,3
	Plastómero 1881	13,4
4	PELBD 11Q4	28,3
	PELBD 2045 (Octeno)	35,0
	PEBD 240	23,3
	Plastómero 1881	13,4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3 Análisis de las propiedades mecánicas de las películas elaboradas con el propósito de seleccionar la fórmula que cumpla con las especificaciones del cliente

Para la realización del análisis de las propiedades mecánicas, se revisaron las normas COVENIN 1019:99; 1357:99; 463:94; 994:97; 384:98, 837:95; 464:94; estas normas establecen la metodología para la realización de ensayos de propiedades mecánicas y ópticas en películas plásticas y empaques flexibles combinados, de las secciones técnicas de química, polímeros, resinas termoplásticos, empaques y embalajes.

La norma 464:94 establece la metodología para la evaluación de las propiedades ópticas en películas plásticas y tiene como objeto la determinación de la transmisión luminosa y en particular la dispersión en secciones planas de plástico transparente utilizando un medidor de nublación.

En este trabajo las propiedades ópticas de la película se evaluaron cualitativamente debido a que para su realización era necesaria la utilización del equipo de nublación, el cual la empresa no posee. Para este ensayo cualitativo se escogió una escala del 1 -10 con la finalidad de expresar con mayor sensibilidad las diferencias entre las características de una película y otra.

De las normas revisadas se descartó la norma 1357:99, debido a que dicha norma establece el método de ensayo para determinar las propiedades tensiles de los plásticos no reforzados en forma de probeta estándar, a condiciones definidas de temperatura, humedad y de velocidad de maquina de ensayo, pero es aplicable para muestras de materiales con espesores mayores de 1 mm y hasta 14 mm, y dado que el espesor de las películas analizadas es de 0,0564mm (56,4 μm) la norma no aplica, por ende para el ensayo de las propiedades tensiles se debe aplicar la norma 1019:99 que es para muestras de materiales con espesores menores de 1 mm.

La norma 837:95 especifica el método de ensayo para la determinación de la resistencia del sellado y el cálculo del coeficiente de sellado para las películas plásticas y laminados usados en la fabricación de empaques flexibles plásticos, para la aplicación de dicha norma se debe utilizar un equipo que posea dos cabezales de sellado con control de temperatura, presión y tiempo; y a su vez unir la película a unas mordazas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

que midan la fuerza de separación del sellado; y en vista que en el laboratorio del aseguramiento de la calidad de la empresa no posee dicho aparato, y el mismo es sumamente costoso, la prueba que rige esta norma no se pudo realizar y en sustitución se hizo un ensayo cualitativo de sellabilidad donde se determinó la temperatura mínima de sellado.

La norma 463:94 define los métodos de ensayo para la determinación del coeficiente de fricción estático y dinámico de películas plásticas y de laminados usados en la elaboración de empaques flexibles, en la misma se establecen dos métodos: el primero con deslizador estacionario y plano movable, y el segundo con deslizador movable y plano estacionario (ver Apéndice B), la aplicación de uno u otro depende del equipo disponible para su realización, en este trabajo se realizó el segundo método debido a que el laboratorio cuenta con el equipo necesario para su aplicación.

Las normas 384:98 y 994:98 fueron aplicadas en la determinación de la resistencia al impacto al dardo y rasgado respectivamente, ya que en la empresa se cuenta con los equipos necesarios para su realización, (ver Apéndice B).

Las propiedades de impacto al dardo, resistencia al rasgado y elongación se relacionan con la cantidad de energía que puede absorber la película sin romperse y los esfuerzos de estiramiento que puede soportar.

Estas propiedades definen la resistencia mecánica que posee el empaque terminado y su importancia viene dada por el uso final al cual será sometido; es así como el impacto al dardo se relaciona con la capacidad de resistir impacto (una bolsa que cae o es golpeada durante su traslado), la resistencia al rasgado mide la energía para la propagación de un rasgado iniciado (presencia de objetos filosos, ruptura en su traslado o su colocación en almacenes) y con que facilidad se continúa el mismo, lo que significa que si es alto será mas resistente a la ruptura, pero si se desea que el empaque se abra fácilmente, la resistencia al rasgado debe ser baja; por otra parte la elongación mide el estiramiento de un material para llegar al punto de ruptura y tiene que ver con el levantamiento de una bolsa por un extremo o un estiramiento en su traslado. Con esto lo que se quiere enfocar es que las especificaciones exigidas por el cliente para estas propiedades dependen del uso al cual estará destinado el material terminado, (ver Tabla 4.9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante recordar que la laminación es una técnica que consiste en unir dos o más películas del mismo material o de materiales diferentes para la elaboración de empaques flexibles combinados en forma de bobina; antes de aplicar dicha técnica se puede imprimir y luego laminar para proteger la impresión o solo laminar para mejorar las propiedades de la película. Posteriormente, las bobinas de películas laminadas son llevadas al cliente final el cual las transforma en bolsas para detergentes, leche, alimentos y productos farmacéuticos.

Por otro lado, la temperatura de sellado y más precisamente la pegajosidad en caliente (hot tack) y el coeficiente de fricción, son propiedades que tienen que ver con la maquinabilidad del material, es decir, su mayor o menor predisposición para ser transformado en máquinas automáticas, en un envase a partir de la película plana.

La película para ser envasada entra por una boquilla o cuello formador donde se dobla creando un tubo, el cual va sellado en los bordes longitudinales formando un sello interno y externo, simultáneamente se produce el sello superior de un envase y el sello inferior del otro, (ver Figura 4.5).

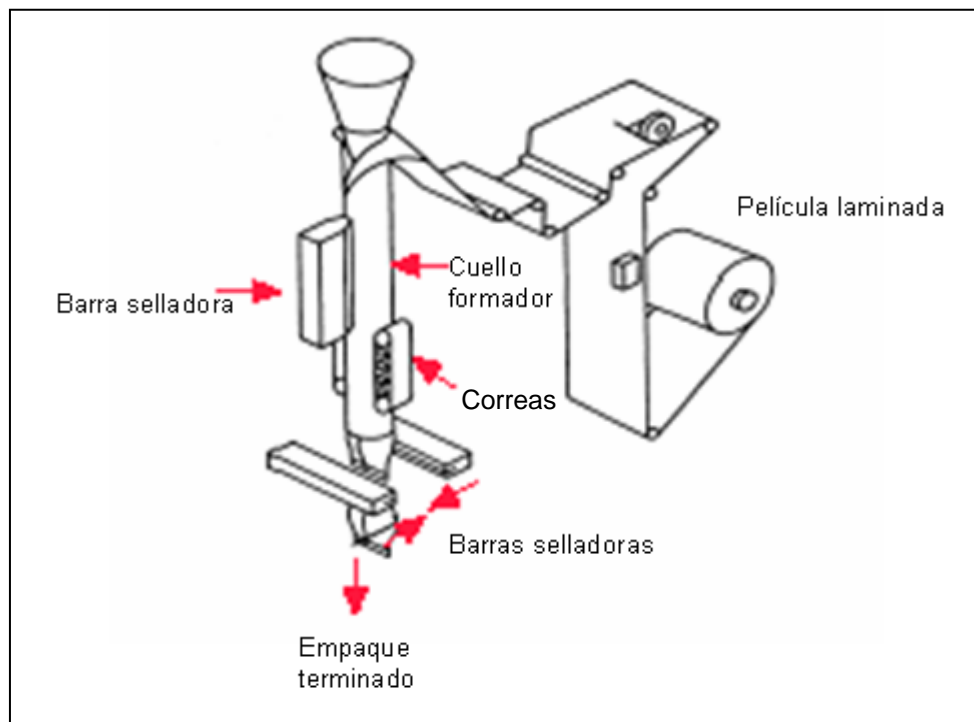


Figura 4.5 Método de sellado tipo almohada. Fuente: Dow Chemical

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a lo antes expuesto, el coeficiente de fricción exigido por el cliente debe ser inferior a 0,2 adim, para evitar que se generen fuerzas de fricción entre la película y el cuello formador, las cuales provocan que la película se atasque, interrumpiendo el proceso de llenado. Por otra parte la temperatura de sellado debe ser la mínima posible, esto con la finalidad de garantizar que a la temperatura existente en la selladora del cliente, la película selle completamente evitando la pérdida del material empacado.

Las especificaciones exigidas por el cliente para las propiedades mecánicas en la película coextruída para laminación se muestran a continuación:

TABLA 4.9 ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACUERDO A LAS EXIGENCIAS DEL CLIENTE EN LAS PELÍCULAS COEXTRUÍDAS PARA LAMINACIÓN

Propiedad		Valor mínimo
Impacto al Dardo (g)		> 194
Resistencia al rasgado (gf)	DM	> 142
	DT	> 800
Elongación (%)	DM	> 655
	DT	> 850
Coeficiente de fricción (adim.)	Estático	< 0,2
	Dinámico	< 0,2
Temperatura de inicio de sellado (°C)		100 -125

Fuente: Historial del Laboratorio del aseguramiento de la calidad de la empresa Plásticos de Empaque C.A.

DM: Dirección longitudinal; DT: Dirección transversal

De acuerdo a las normas COVENIN, se establece que para la elongación y el rasgado se deben realizar 7 corridas del ensayo tanto en sentido longitudinal como transversal, y en el caso del coeficiente de fricción, impacto al dardo y temperatura mínima de sellado se deben realizar 3 corridas del ensayo, (ver Apéndice E)

**TABLA 4.10 PORCENTAJE DE ELONGACIÓN PARA LAS PELÍCULAS
ELABORADAS CON LAS ESTRUCTURAS EN ESTUDIO**

Estructura	Elongación Longitudinal ($E_L \pm 0,1$)%			Elongación Transversal ($E_T \pm 0,1$)%		
	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
1	698,1	570,3	675,3	900,6	810,1	874,0
2	713,7	604,6	650,1	909,8	851,7	866,7
3	713,0	639,2	675,6	889,6	830,1	865,3
4	779,6	697,3	752,3	983,6	893,9	928,1

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C. Número de muestras: 7 (ver Sección E.3)

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

En la Tabla 4.10 se observa que en sentido longitudinal las estructuras 1 y 3 muestran valores semejantes de porcentaje de elongación, los cuales solo difieren en decimales, presentando una desviación con relación a la estructura 4 de un 10,2 y 10,1% respectivamente. Por otra parte la estructura 2 presentó un valor de 650,1%, el cual no cumple con el valor mínimo exigido por el cliente (ver tabla 4.9) lo que indica que esta estructura no aporta una buena elongación a la película.

La semejanza entre los valores de elongación longitudinal de las 3 estructuras en estudio, se debe a que las mismas estuvieron sometidas a igual velocidad de halado, por lo tanto la fuerza aplicada a la red molecular de las películas fue la misma haciendo que las cadenas se orienten longitudinalmente en forma similar.

La similitud entre estos valores se debe no solo a la velocidad de halado sino también a la formulación de las estructuras, las cuales contienen copolímero de hexeno en igual cantidad, promoviendo de esta manera que en las redes moleculares de las estructuras 1 y 3 existan cantidades proporcionales de puentes entre las zonas cristalinas, por lo tanto la diferencia existente en el porcentaje de elongación depende directamente de los aportes inherentes a los copolímeros de buteno 11F1 y 11PG1.

En sentido transversal todas las estructuras presentaron valores acordes con los requerimientos del cliente, aunque la que presentó menor desviación fue la estructura 1 con un valor del 5,8% (ver Tabla 4.16) ; y aunque fueron sometidas a la misma relación

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

de soplado, el comportamiento es distinto al longitudinal ya que la fuerza aplicada en sentido transversal es menor, permitiendo que las cadenas tengan mayor libertad de acomodarse en la red molecular y cada película exhiba las propiedades pertinentes al aporte del polietileno usado en su formulación.

En el caso de las estructura 1 el valor de elongación transversal es mayor debido a que la estructura molecular del copolímero de buteno 11F1 conjuntamente con el copolímero de hexeno promueven una mayor formación de puentes. Esto ocurre por que el 11F1 presenta una arquitectura molecular más ramificada e irregular que el 11PG1, lo que permite que hayan menos zonas cristalinas y por consiguiente mayor cantidad de zona amorfa haciendo que la elongación mejore considerablemente.

La estructura 4 presentó valores mayores que las estructuras a base de hexeno en el sentido longitudinal y transversal, esto se debe que el octeno presenta una red molecular más fuerte que la del hexeno.

TABLA 4.11 RESISTENCIA AL RASGADO OBTENIDA PARA LAS PELÍCULAS ELABORADAS CON LAS ESTRUCTURAS EN ESTUDIO

Estructura	Resistencia al Rasgado Longitudinal						Resistencia al Rasgado Transversal					
	Peso: 800 gf						Peso: 1600 gf					
	(RRL ±0,1)%			(RRL±0,1)gf			(RRT ±0,1)%			(RRT±0,1)gf		
	V _M	V _m	P	V _M	V _m	P	V _M	V _m	P	V _M	V _m	P
1	47,7	27,8	39,7	381,6	222,4	317,6	55,6	44,8	50,2	889,6	716,8	803,7
2	48,3	29,0	41,0	386,4	232,0	334,4	59,9	48,3	55,7	958,4	722,8	891,2
3	29,3	20,2	22,7	250,0	161,6	182,2	55,6	40,5	46,2	889,6	690,5	748,9
4	27,1	19,3	22,8	220,8	153,6	183,9	64,0	48,3	55,1	985,6	763,9	891,2

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C

V_M: Valor máximo; V_m: Valor mínimo

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

P: Promedio; Número de muestras: 7 (ver Sección E.2)

Para el sentido longitudinal son las estructuras 1 y 2 las que presentan mayores valores para la propiedad de resistencia al rasgado, los mismos pueden observarse en la Tabla 4.11, las estructuras nuevas 1 y 2 superan en valor a la de octeno, siendo la estructura 2 la que supera a todas en valor. En este sentido se puede decir que todas las estructuras implicadas en el estudio satisfacen los requerimientos del cliente. En

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

sentido transversal el ensayo arrojó un comportamiento similar al longitudinal con respecto a las estructuras en estudio, dado que las que exhiben mayores valores son la 1 y 2. Cabe destacar que la estructura 2 presenta el mismo valor que la de octeno, por lo que no posee desviación. La estructura 3 presentó un valor de 748,9 gf, el cual está por debajo de lo exigido por el cliente.

En cuanto a la desviación que presentan los valores de resistencia al rasgado se observa que aun cuando las estructuras 1 y 2 en sentido longitudinal muestran valores altos con respecto a la estructura 4 (película realizada con octeno), dichas desviaciones son positivas, pues presentan superioridad en la propiedad evaluada al ser comparadas con la película actual. Las observaciones realizadas permiten concluir que estas películas exhiben mejor calidad en la propiedad de rasgado, inclusive mejor que la ofrecida por la actual, lo cual representa un punto a favor en el estudio de la sustitución que se plantea en este trabajo. La superioridad que presenta la estructura 2 tiene su explicación en la presencia del 11PG1, el cual presenta una mayor cantidad de zonas cristalinas que al ser mezcladas con las zonas cristalinas del hexeno crea una red molecular fuerte haciendo que la mezcla sea sinérgica (ver Sección 2.3), lográndose con esto valores por encima de los aportados por los polímeros puros.

En la Tabla 4.12 se observa que las tres estructuras nuevas presentan menores resistencias al impacto que la 4. Sin embargo la desviación de las mismas con la 4 no excede el 10% (ver Tabla 4.16). Aun cuando los valores obtenidos son menores que el de la estructura 4, los mismos son favorables por que se encuentran por encima del mínimo requerido por el cliente, por lo tanto la calidad del producto se mantiene. Esto se debe básicamente al aporte inherente al copolímero de hexeno, el cual al poseer ramas más cortas que las del octeno permite que existan menos puentes que unan las regiones cristalinas y por ende la red molecular sea más débil, haciendo que la fuerza necesaria para llegar a romper la película de plástico por un golpe seco sea menor.

La Tabla 4.13 muestra los valores de la temperatura mínima de sellado en las películas estudiadas, se observa en ésta tabla que tanto la estructura 2 y 3 no cumplen con los requerimientos mínimos del cliente puesto que los valores exceden el rango. De todas las estructuras nuevas en estudio solo la estructura 1 cumple con la especificación del cliente y además no presenta desviación con respecto a la estructura

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4, lo cual es favorable, ya que se pudo obtener una película con igual calidad de sellado que la actualmente utilizada en la empresa.

TABLA 4.12 RESISTENCIA AL IMPACTO AL DARDO OBTENIDA PARA LAS PELÍCULAS ELABORADAS CON LAS ESTRUCTURAS EN ESTUDIO

Estructura	Resistencia al Impacto al Dardo ($I_D \pm 1$)g		
	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
1	310	304	307
2	340	310	325
3	340	325	335
4	340	340	340

Temperatura ambiente: $(25,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$

Número de muestras: 3 (ver Sección E.4)

Presión ambiente: $(711,00 \pm 0,05)$ mmHg

La sellabilidad de un material depende de la densidad de la mezcla polimérica en estado sólido y de la longitud de las ramas del copolímero. Si la densidad de la película es muy alta implica que el porcentaje de cristalinidad también es muy alto, por lo tanto el arreglo molecular se hace denso impidiendo el desplazamiento de las moléculas al ser sometidas al calor, esto genera dificultad entre las moléculas para unirse entre si, requiriendo así mayor cantidad de calor para su sellado.

De forma similar influye la longitud de la cadena pues a mayor longitud existen mayor cantidad de puentes entre las zonas cristalinas y estos puentes al aplicarle calor al material, brindan mayor movilidad a las moléculas permitiendo que estas se desplacen y se puedan unir a las moléculas de la otra superficie. Por esta razón, la película a base del copolímero de octeno presenta una baja temperatura de inicio de sellado. En el caso de las estructuras 1,2, y 3, aún cuando la longitud de las cadenas de los copolímeros involucrados es igual, lo que determina la temperatura de sellado es la densidad, la cual para la estructura 1 es de $0,917 \text{ g/cm}^3$ (ver Tabla 4.14) y en comparación con las otras estructuras es menor, lo que permite que la temperatura de sellado sea más baja.

TABLA 4.13 TEMPERATURA MÍNIMA DE SELLADO PARA LAS PELICULAS ELABORADAS CON LAS ESTRUCTURAS EN ESTUDIO

Estructura	Temperatura mínima de sellado (T±1)°C		
	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
1	120	100	110
2	150	130	140
3	130	130	130
4	110	110	110

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C

Número de muestras: 3 (ver Sección E.5)

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA 4.14 DENSIDAD DE LAS PELÍCULAS ELABORADAS A PARTIR DE LAS ESTRUCTURAS ESTUDIADAS

Estructura	Densidad g/cm ³
1	0,917
2	0,918
3	0,918
4	0,918

En el estudio del coeficiente de fricción (ver Tabla 4.15) no se observó mucha discrepancia entre una estructura y otra, encontrándose así que todas cumplen con el requerimiento del cliente (COF<0,2). Esto significa que la erucamida (agente deslizante) presente en las resinas, luego de la coextrusión migró correctamente hacia la superficie de las películas logrando lubricarlas y así disminuyendo los valores del coeficiente de fricción tanto estático como dinámico. Esta migración ocurre gracias a que el agente deslizante es una amida grasa que consiste en una cabeza polar de nitrógeno y otra no polar de un hidrocarburo. Su parte polar, migra hacia la superficie de la película rechazada por la estructura no polar del polietileno, haciendo que sobre la superficie se formen capas de amidas ordenadas haciendo que el COF de las películas disminuya.

TABLA 4.15 COEFICIENTE DE FRICCIÓN OBTENIDO PARA LAS PELÍCULAS ELABORADAS CON LAS ESTRUCTURAS EN ESTUDIO

Estructura	Coeficiente de Fricción Estático ($COF_E \pm 0,001$)			Coeficiente de Fricción Dinámico ($COF_D \pm 0,001$)		
	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio
1	0,100	0,085	0,091	0,081	0,061	0,069
2	0,095	0,062	0,079	0,137	0,049	0,086
3	0,179	0,099	0,132	0,117	0,013	0,099
4	0,135	0,079	0,108	0,075	0,062	0,069

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de muestras: 3 (ver Sección E.1)

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA 4.16 DESVIACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS PELÍCULAS ELABORADAS A PARTIR DEL COPOLÍMERO DE HEXENO CON RESPECTO A LA ESTRUCTURA ACTUAL

Propiedad		Desviación (%D ± 0,1)		
		Estructuras		
		1	2	3
Impacto al Dardo		9,7	4,4	0,0
Resistencia al rasgado	DM	72,7	81,8	0,9
	DT	9,8	0,0	15,9
Elongación	DM	10,2	13,5	10,1
	DT	5,8	6,6	6,7
Coeficiente de fricción	Estático	15,7	26,8	22,2
	Dinámico	0,0	24,6	43,5
Temperatura de inicio de sellado		0,0	27,3	18,2

En la Tabla 4.17 se muestran las propiedades ópticas de las películas estudiadas, cabe destacar que a pesar que solo se evaluaron la transparencia de la película y el brillo, ninguna de las películas presentaba rayas de soldadura (líneas que aparecen por la presencia de alguna imperfección mecánica en el cabezal del extrusor). Observando

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

los valores obtenidos, la película a base de octeno presenta las mejores propiedades ópticas esto es de esperarse por que dichas propiedades dependen de la longitud de las ramas del copolímero y de la densidad de la mezcla polimérica. A medida que aumenta la longitud de las ramas existe mayor concentración de los puentes o uniones entre las zonas cristalinas aumentando la zona amorfa, lo que permite que las propiedades ópticas se incrementen, asimismo, si se tiene una mayor densidad la cantidad de zonas cristalinas aumenta y en consecuencia las propiedades ópticas disminuyen. Estas propiedades están estrechamente ligadas a la región amorfa del polietileno, por que la carencia de empaquetamiento que presentan estas zonas permite el paso de la luz; y por lo tanto, mientras menor sea la densidad mejor será la transparencia y el brillo. En el caso de las estructuras 1, 2, y 3 lo que determina las propiedades ópticas es la densidad, debido a que la longitud de las cadenas de los copolímeros involucrados es igual. De las tres estructuras a base de copolímero de hexeno la que presentó mejores propiedades ópticas es la 1, la cual posee la menor densidad (ver Tabla 4.14).

TABLA 4.17 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS PELÍCULAS ELABORADAS CON LAS ESTRUCTURAS EN ESTUDIO

Propiedad	Ponderación			
	Estructura			
	1	2	3	4
Transparencia	8	7	7	10
Brillo	9	7	5	10

Ponderación (1 -10), siendo 1 la menos favorable y 10 la más favorable

Partiendo de las especificaciones del cliente se discrimina inicialmente la estructura 2 debido a que dicha estructura presentó un valor de elongación longitudinal 650,11% el cual es menor al requerido por el cliente (ver Tabla 4.9) así como la temperatura de inicio de sellado es de 140 °C la cual excede el valor máximo exigido por el cliente.

La estructura 3 no cumple con el valor mínimo exigido por el cliente en el rasgado transversal, pues presentó un valor de 748,9 gf, además la temperatura de inicio de sellado excede el rango exigido por el cliente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es así como la única estructura que cumple con todas las especificaciones del cliente es la estructura 1, cuya formulación es la siguiente: PELBD 11F1 35%, PEBD 240 23,3 %, PELDB 2685G 28,3%, Plastómero 1881 13,4%.

4.4 Realización del estudio económico de la fórmula seleccionada a partir del copolímero de hexeno para la elaboración de la película coextruída, con el fin de determinar su rentabilidad.

La evaluación económica es un factor determinante a la hora de tomar decisiones en un proyecto, ya que la opción seleccionada debe brindar tanto calidad como economía, para así ofrecer ganancias al fabricante.

Cuando se estudió la incorporación de un sustituto del copolímero de octeno, se buscó un copolímero que ofreciera similitud en propiedades mecánicas y que fuese más económico que el copolímero usado actualmente, es por eso que se seleccionó el copolímero de hexeno, el cual presenta características mecánicas similares y los costos asociados a este son menores.

En esta sección se analizaron los costos asociados a la elaboración de la película a partir de la estructura seleccionada en el objetivo anterior, además de los beneficios que implica dicha sustitución. Los cálculos involucrados en el estudio económico, se muestran en el Apéndice A.

Según datos de la Asociación Venezolana de Industrias Plásticas (AVIPLA), la demanda del producto de laminación ha sido de 2710 y 3000 toneladas para los años 2005 y 2006 respectivamente. De acuerdo a los datos suministrados por el Departamento de Ventas de Plásticos de Empaque C.A, para las películas de laminación la empresa solo cubre el 20% del mercado nacional. Partiendo de los datos obtenidos de la demanda total y la demanda cubierta por la empresa, se realizó una proyección económica para un tiempo de estudio de 5 años, (ver Tabla 4.18)

Cabe Destacar, que para la estimación de los flujos de ingresos y egresos se considera que no se realizó inversión inicial para la ejecución de este proyecto, ya que para la elaboración de las películas se utilizan las maquinarias y el capital existente en la empresa; lo que implica que los costos solo involucran la materia prima a utilizar y los

gastos operativos, estos últimos son constantes debido a que no se realizó ninguna variación en las condiciones de operación.

TABLA 4.18 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA NACIONAL DEL PRODUCTO PARA LAMINACIÓN

Años	Cantidad de rollos por año (Unidad/año)
2005	19.424
2006	21.582
2007	23.740
2008	25.898
2009	28.056

Los cálculos económicos se realizaron a partir de los precios de la materia prima vigentes para el año 2006, con una tasa de interés pasiva del 11% establecida por el Banco Central de Venezuela.

● Costo de la materia prima:

El costo asociado a la materia prima se determinó a partir de la cantidad de resinas necesarias para la fabricación de un rollo de 139 kg, para una película de 2958 m de longitud, 90 cm de ancho y 56,4 micrones de espesor (ver apéndice A); se tomó esta presentación debido a que la misma es la más solicitada por los clientes. En la Tabla 4.19 y 4.20 se encuentran tabulados los costos totales para las estructuras 1 y 4 respectivamente, además se observa que la estructura a base de hexeno es más económica que la de octeno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA 4.19 COSTOS ASOCIADOS A LA MATERIA PRIMA NECESARIA PARA LA ELABORACIÓN DE LA PELÍCULA UTILIZANDO LA ESTRUCTURA A BASE DE COPOLÍMERO DE HEXENO

Resina	Composición (% peso)	Precio (\$/kg)	Total (\$/kg)	Total (\$/Unidad)
PELBD 11F1	0,350	1,34	0,47	65,19
PEBD 240	0,233	1,46	0,34	47,26
PELDB 2685G	0,283	1,51	0,43	59,35
Plastómero 1881	0,134	2,57	0,34	47,82
Costo Total			1,58	219,62

TABLA 4.20 COSTOS ASOCIADOS A LA MATERIA PRIMA NECESARIA PARA LA ELABORACIÓN DE LA PELÍCULA UTILIZANDO LA ESTRUCTURA A BASE DE COPOLÍMERO DE OCTENO

Resina	Composición (% peso)	Precio (\$/kg)	Total (\$/kg)	Total (\$/Unidad)
PELBD 2045	0,350	1,63	0,57	79,37
PEBD 240	0,233	1,46	0,34	47,26
PELDB 11Q4	0,283	1,36	0,39	53,52
Plastómero 1881	0,134	2,57	0,34	47,82
Costo Total			1,64	227,97

● Costos de fabricación:

Los costos de fabricación son todos aquellos gastos que involucran los servicios como el agua, la electricidad, la mano de obra, mantenimiento de los equipos, los cores (cilindros de cartón alrededor del cual se bobina la película), las películas de embalaje, los fletes para el traslado, almacenamiento, etc. Estos gastos suman un total de 50,29 \$/unidad, donde 19,39 \$/unidad provienen de gastos de depreciación, core, traslado, flete y almacenamiento, 12,93 \$/unidad corresponden a el pago de energía, 10,34 \$/unidad a gastos por servicio de agua y 7,64 \$/ unidad de mano de obra. Cabe destacar que los gastos se estimaron con ayuda del personal encargado de coextrusión.

● Precio de venta al público:

El precio mínimo de venta al público (P.V.P) de la película coextruída para laminación se estima incrementando en 10% los costos totales operacionales, que es la mínima ganancia que la empresa admite de acuerdo al Departamento de Ventas de Plásticos de Empaque C.A.

Los costos operacionales son la suma de los costos asociados a la materia prima y los gastos de fabricación. Este cálculo se realizó para la estructura actualmente utilizada en la empresa y la seleccionada a base de copolímero de hexeno con la finalidad de comparar los costos generados en la elaboración de cada una de ellas (ver Tabla 4.21).

TABLA 4.21 COSTOS OPERACIONALES Y PRECIO DE VENTA AL PÚBLICO PARA LAS PELÍCULAS DE LAMINACIÓN

Estructura	Costos operacionales (\$/unidad)	Precio de venta al público (\$/unidad)
1	269,92	296,91
4	278,27	306,09

● Flujos monetarios asociados al estudio económico:

Según la bibliografía ^[15] los flujos monetarios son todos los costos o ingresos que ocurren como consecuencia de la implantación y operación de un proyecto, como lo son la inversión inicial, los costos operacionales y los ingresos brutos. Es así como el flujo monetario neto es simplemente la diferencia entre los ingresos y egresos asociados al proyecto en estudio.

El ingreso bruto se estima como el producto de la producción anual y el precio de venta al público, este ingreso representa la venta anual del producto para laminación.

Los costos operacionales anuales incluyen todos los desembolsos que se requieren para la elaboración del producto terminado y se calcula como el producto entre los costos operacionales asociados (\$/Unidad) y la producción anual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las estimaciones se realizaron en dólares con la finalidad de minimizar la influencia de la inflación, mejorando las estimaciones ya que es una moneda más estable y así poder garantizar los flujos en tiempo presente.

En las tablas 4.22 y 4.23 se muestran los ingresos brutos, los costos operacionales totales y los flujos monetarios netos para los años en estudio. Cabe destacar, que todos los flujos netos dieron mayor que cero, lo que significa que los ingresos son mayores que los costos y en este caso se dice que el flujo monetario neto es un ingreso neto.

TABLA 4.22 FLUJOS MONETARIOS NETOS RELACIONADOS CON LA FABRICACIÓN DE LA PELÍCULA A BASE DE COPOLÍMERO DE HEXENO

Año	Producción anual (unidad/año)	Ingresos brutos (\$/año)	Costos totales (\$/año)	Flujos monetarios (\$/año)
1	19.424	5.767.179,84	5.242.887,23	524.292,61
2	21.582	6.407.911,62	5.825.370,28	582.541,34
3	23.740	7.048.643,40	6.407.853,32	640.790,08
4	25.898	7.689.375,18	6.990.336,36	699.038,82
5	28.056	8.330.106,96	7.572.819,41	757.287,55

TABLA 4.23 FLUJOS MONETARIOS NETOS RELACIONADOS CON LA FABRICACIÓN DE LA PELÍCULA A BASE DE COPOLÍMERO DE OCTENO

Año	Producción anual (unidad/año)	Ingresos brutos (\$/año)	Costos totales (\$/año)	Flujos monetarios (\$/año)
1	19.424	5.945.492,16	5.405.077,63	540.414,53
2	21.582	6.606.034,38	6.005.579,98	600.454,40
3	23.740	7.266.576,60	6.606.082,32	660.494,28
4	25.898	7.927.118,82	7.206.584,66	720.534,16
5	28.056	8.587.661,04	7.807.087,01	780.574,03

● Análisis económico:

En la determinación de la rentabilidad de este estudio se utilizaron los modelos de rentabilidad valor actual (VA) y equivalente anual (EA) de forma diferencial, o sea la diferencia entre el valor actual de la película a base de octeno y el valor actual de la de

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

hexeno, a este tipo de aplicación también se le conoce como rentabilidad del flujo extra para selección de alternativas, por lo que permite determinar si es rentable o no la sustitución.

La diferencia del valor actual obtenida es de 71.449,34 \$/año, y del equivalente anual es de 49.648,05 \$/año, ambos valores son mayores que cero, por lo que se concluye que la alternativa planteada en este trabajo es factible e implica un ahorro en los gastos, aumentando así los ingresos anuales por concepto de películas plásticas para laminación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se muestran a continuación las conclusiones y recomendaciones más importantes obtenidas a partir del análisis de resultados.

5.1. Conclusiones:

1. El copolímero de octeno 2045 otorga mejores propiedades de impacto al dardo, resistencia al rasgado y elongación a la película terminada que los copolímeros de hexeno y buteno.
2. La diferencia de los valores de impacto al dardo entre la película a base de octeno y de hexeno fue de un 6,4%.
3. La sustitución del hexeno en la película no afecta significativamente la calidad de la misma.
4. Al caracterizar el copolímero de hexeno y el de octeno se obtuvo que la sustitución del octeno por el hexeno es técnicamente viable.
5. En el descarte de los factores presentes en el diagrama causa - efecto se determinó que el factor preponderante a evaluar fue la materia prima.
6. Se determinó que en películas con espesores por debajo de 100 μm y con buenas propiedades mecánicas no se debe adicionar más de 25 % en peso de PEBD.
7. Se diseñaron 3 estructuras nuevas a base de copolímero de hexeno, % en peso:
Estructura 1: PELBD 11F1 35, PEBD 240 23,3, PELDB 2685G 28,3 y Plastómero

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1881 13,4; Estructura 2: PELBD 11PG1 35, PEBD 240 23,3, PELDB 2685G 28,3 y Plastómero 1881 13,4 y; Estructura 3: PELBD 11F1 11,7, PELBD 11PG1 23,3, PEBD 240 23,3, PELDB 2685G 28,3 y Plastómero 1881 13,4.

8. En la elongación transversal, todas las estructuras presentaron valores acordes con los requerimientos del cliente y la desviación entre la estructura 1 y la usada actualmente en la empresa fue del 5,8%.
9. En el estudio del coeficiente de fricción se determinó todas cumplen con el requerimiento del cliente ($COF < 0,2$) adim.
10. La temperatura mínima de sellado de la estructura 1 es de 110 °C, la misma cumple con lo exigido por el cliente.
11. La estructura que cumple con todas las especificaciones del cliente es la estructura 1.
12. La diferencia del valor actual obtenida es de 71.449,34 \$/año, y del equivalente anual es de 49.648,05 \$/año
13. La sustitución del copolímero de octeno por el copolímero de hexeno es factible económicamente e implica un ahorro en los gastos por consumo de materia prima.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.2 Recomendaciones:

1. Aplicar la estructura 1 en la elaboración de películas para laminación conservando las actuales condiciones de operación.
2. Adquirir el Hot tack heatsealer, con la finalidad de realizar el ensayo cuantitativo de la resistencia y el coeficiente de sellado en películas para empaques flexibles (ver apéndice E).

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Arroyo, I., Martínez, F. (1998, Abril). La coextrusión: una herramienta para lograr diferenciación en el mercado. Revista Latinoamérica PE News N° 2. Argentina.
2. ASTM F 1921: 98 (2004). Standard Test Method for Hot Seal Strength (Hot Tack) of Thermoplastic Polymers and Blends Comprising the Sealing Surfaces of Flexible Webs. FONDONORMA.
3. Banco Central de Venezuela (2006). [on-line]. Disponible en: <http://www.bcv.org.ve>. [Consulta: 2006, Noviembre 10]
4. Boletín técnico: Mezclas PEBD-PELBD para empaque industrial. (1998). Poliolefinas internacionales C.A. [on-line]. Disponible en: <http://www.polinter.com.ve> [Consulta: 2006, Mayo 20]
5. Chawa M., Jorge. (2002). Mejoramiento de una formulación de PVC laminado modificando el tipo y cantidad de carbonato de calcio. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
6. Cimillo, Carolina; Feo, Fernando. (2002) Mejoramiento de la formulación de engobe y esmaltes bases utilizados en la elaboración de baldosas de cerámica plana mediante un proceso de monococción en la planta Gres Valencia S.A.C.A. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
7. Costa, Carlos. (2004, Mayo).Dow LDPE 208. Una alternativa de baja densidad con un buen equilibrio d propiedades mecánicas y ópticas. Revista Latinoamérica PE News N° 26. Argentina.
8. Corporación Americana de Resinas.(2007). Módulo III: Fabricación de película tubular.[Folleto]. Caracas: Gerencia Técnica.
9. COVENIN 463:1994. Películas Plásticas. Determinación del coeficiente de fricción. FONDONORMA.
10. COVENIN 837:1995. Empaques Flexibles combinados. Determinación de la resistencia al sellado y del coeficiente de sellado. FONDONORMA.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

11. COVENIN 994:1998. Películas Plásticas. Determinación de la resistencia al rasgado. (Norma). FONDONORMA.
12. COVENIN 1019:1999. Películas y láminas plásticas delgadas. Determinación de las propiedades tensiles. (Norma). FONDONORMA.
13. COVENIN 1357:1999. Plásticos. Determinación de las propiedades tensiles. (Norma). FONDONORMA.
14. COVENIN 2229:1997. Empaques Flexibles Combinados. Definición y terminología. (Norma). FONDONORMA
15. De Alvarado, L., de Betancourt, C., de Salama, I. y Guerra, V. (1997). Evaluación de proyectos de inversión (2^{da} Edición). Venezuela. Clemente Editores C.A.
16. De Eliotte .co. inc. (2006). [on-line]. Disponible en: <http://www.deelliotte.com/index.html> [Consulta: 2006, Noviembre 12]
17. DOW Plásticos Latinoamérica. (2006) [on-line]. Disponible en: <http://plastics.dow.com/plastics/la/span/about.htm> [Consulta: 2006, Mayo 20]
18. Dynisco Instruments & Polymer Test. (2006). [on-line]. Disponible en: <http://www.dynisco.com/aboutus.asp?lang=es> [Consulta: 2006, Noviembre 10]
19. Fizner, Marcelo (2004, Junio). La tecnología INSITE. Revista Latinoamérica PE News Edición Especial N° 1. Argentina.
20. Gaglio, Tirso. (1999, Noviembre). Evolución de los polietilenos hacia las resinas de tecnología INSITE. Revista Latinoamérica PE News N° 8. Argentina.
21. Goodridge, Jorge (2000, Mayo). Efecto de la tensión de bobinado y la temperatura de fundido sobre el coeficiente de fricción de una película de polietileno. Revista Latinoamérica PE News N° 10. Argentina.
22. Matières Plastiques Techniques. (2006). [on-line]. Disponible en: <http://e.m.c.2.free.fr/matieres-plastiques-techniques.htm> [Consulta: 2006, Noviembre 15]
23. Martínez C. (1997). Material de apoyo para la asignatura tecnología de los polímeros. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Venezuela.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

24. Montañez P., Aleyda. (2003). Utilización de la fibra de coco como sustituto del amianto en los procesos industriales. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Venezuela.
25. Morton, J. (1999). Procesamiento de plásticos.(2a.ed.). México. Editorial Limusa.
26. Mota, J. (2004). Mejoramiento de las características de la película coextruída stretch por blow film en la empresa Plásticos de Empaque C.A. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Venezuela.
27. Poliolefinas internacionales C.A. (2006). [on-line]. Disponible en: <http://www.polinter.com.ve> [Consulta: 2006, Mayo 20]
28. Rajen M., Patel; Saavedra, José; Hinton, Carlos; De Groot, Jackie. (1999, Septiembre). Análisis comparativo entre un plastómero olefínico y EVA en mezclas con polietileno de baja densidad. Revista Latinoamérica PE News N° 7. Argentina.
29. Saavedra, José. (2001, Febrero). Estudio comparativo entre polietileno lineal a base de octeno, hexeno y buteno en mezclas con polietilenos de baja densidad. Revista Latinoamérica PE News N° 13. Argentina.
30. Sierra, C. (2004). Estrategias para la elaboración de un proyecto de investigación. (1a.ed). Maracay. Venezuela. Insertos Médicos de Venezuela C.A.
31. Special Chem Adhesives & Sealants. (2006). [on-line]. Disponible en: <http://www.specialchem4adhesives.com> [Consulta: 2006, Noviembre 15]
32. Windmöller & Hölscher. (2006). [on-line]. Disponible en: http://www.wuh-lengerich.de/inhalt_es.html [Consulta: 2006, Noviembre 12]

APÉNDICE A

CÁLCULOS ASOCIADOS AL ANÁLISIS DE ECONÓMICO

En esta sección se presentan todos los cálculos involucrados en la determinación de los flujos monetarios, modelos de rentabilidad y reducción de costos.

A.1 *Peso de la película coextruída para laminación*

Para el cálculo del peso de la película se partió de la definición de densidad:

$$P_{PL} = D_{PL} * V_{PL} * Fc1 \quad (A.1)$$

Donde:

P_{PL} : Peso de la película para laminación, kg.

D_{PL} : Densidad de la película, g/cm³

V_{PL} : Volumen de la película, cm³

Fc1: Factor de conversión 0,001 kg/g

El volumen se obtiene como:

$$V_{PL} = L * A * E \quad (A.2)$$

Donde:

L: Longitud de la película, cm

A: Ancho de la película, cm

E: Espesor de la película, cm

Sustituyendo D.2 en D.1 queda:

$$P_{PL} = D_{PL} * L * A * E * Fc1 \quad (A.3)$$

Luego sustituyendo los valores correspondientes (ver sección 3.2.3.3):

$$P_{PL} = 0,917 \text{ g / cm}^3 * 100\text{cm} * 90\text{cm} * 0,0056,4\text{cm} * 0,001\text{kg / g}$$

$$P_{PL}=0,047 \text{ kg}$$

Cabe destacar, que el valor del P_{PL} es el peso de la película por metro lineal; para obtener el peso de un rollo se multiplica este valor por la longitud del mismo la cual es igual a 2958 m, obteniéndose así que el peso de un rollo convencional es de 139 kg.

A.2 Costos relacionados a la materia prima para la elaboración de la película.

Partiendo de la composición de cada una de las resinas en la película se estimó el valor del costo total de la materia prima necesaria para elaborar tanto la película con copolímero de octeno (Estructura 4) como la película con hexeno (Estructura 1), (ver Tablas 4.19 y 4.20).

A.3 Costos de fabricación

Estos costos representan los egresos por los servicios como el agua, la electricidad, la mano de obra, mantenimiento de los equipos, etc. De acuerdo al departamento de coextrusión estos gastos se estimaron en 50,29 \$/unidad.

A.4. Precio de venta al público

Para la estimación del precio de venta se calcularon los costos operacionales:

$$C_{op} = C_{MT} + C_F \quad (A.4)$$

Donde:

C_{op} : costos operacionales, \$/Unidad

C_{MT} : Costos totales de la materia prima, \$/Unidad

C_F : Costos de fabricación, \$/Unidad

Sustituyendo los valores correspondientes

$$C_{op} = (219,62 + 50,29)\$/unidad = 269,92 \$/unidad$$

El precio de venta se obtiene al incrementar en 10 % los costos operacionales, por lo que:

$$P.V.P = 1,1 * C_{op} \quad (A.5)$$

$$P.V.P = 1,1 * 269,92 \$/unidad = 296,91 \$/unidad$$

A.5. Estimación de los flujos monetarios

Para la estimación de los flujos se proyectó la demanda nacional de forma lineal ya que solo se pudieron obtener solamente los datos de la demanda del producto para laminación de los años 2005 y 2006. (Ver tabla 4.18)

El ingreso bruto se calcula como:

$$\text{Ingreso bruto (\$/año)} = \text{Producción anual (unidad/año)} * \text{P.V.P (\$/unidad)} \quad (\text{A.6})$$

Sustituyendo los valores correspondientes al primer año (ver Tabla 4.18):

$$\text{Ingreso bruto (\$/año)} = 19.424 \text{ unidad/año} * 296,91 \text{ \$ / unidad} = 5.767.179,84 \text{ \$/año}$$

Y los costos totales se obtienen de forma similar, pero multiplicando por los costos operativos:

$$\text{Costos totales (\$/año)} = \text{Producción anual (unidad/año)} * \text{Costos op. (\$/unidad)} \quad (\text{A.7})$$

Sustituyendo los valores correspondientes al primer año (ver Tabla 4.18):

$$\text{Costos totales (\$/año)} = 19.424 \text{ unidad/año} * 269,92 \text{ \$ / unidad} = 5.242.887,23 \text{ \$/año}$$

Los flujos monetarios se calcularon como la resta de los ingresos brutos y los costos totales.

$$Ft(i) = \text{Ingresos brutos (i)} - \text{Costos totales (i)} \quad (\text{A.8})$$

Donde:

Ft (i) : flujos monetarios para el año i, \\$/año

i: 1,2,3,4,5

Sustituyendo los valores correspondientes al primer año de la proyección:

$$Ft(1) = 5.767.179,84 \text{ \$/año} - 5.242.887,23 \text{ \$/año} = 524.292,61 \text{ \$/año}$$

Los ingresos brutos, los costos operaciones y los flujos monetarios para el resto de los años de la proyección, se encuentran reflejados en las tablas 4.22 y 4.23.

A.6. Modelos de Rentabilidad

● *Cálculo del Valor actual (V.A):*

Para el cálculo del valor actual se actualizan todos los flujos monetarios netos del proyecto como:

$$VA(i) = \sum_{t=0}^n Ft * [P/S_{i,t}] \quad (A.9)$$

Donde:

VA= valor actual, \$/año

Ft= flujo monetario para el año t, \$/año

P/S_{i,t}= factor de actualización en pago simple para una tasa mínima de rendimiento i en el año t, adim.

Sustituyendo los valores correspondientes al primer año:

Ft 1= 524.292,61\$/año

P/S_{it}= 0,9009 adim ^[15]

$$VA(1) = 524.292,61\$/año * 0,9009 = 472.335,21\$/año$$

Los resultados correspondientes al resto de los años de la proyección de la demanda se encuentran tabulados en la tabla A.1 y A.2

TABLA A.1 CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL PARA UNA T.M.R DEL 11% Y UN TIEMPO DE VIDA DE 5 AÑOS PARA LA ESTRUCTURA 1

Años	Flujos monetarios (\$/año)	Factor de actualización^[15] (adim.)	Valor actual (\$/año)
1	524.292,61	0,9009	472.335,21
2	582.541,34	0,81162	472.802,21
3	640.790,08	0,73119	468.539,30
4	699.038,82	0,65873	460.477,84
5	757.287,55	0,59345	449.412,30
Total			2.323.566,85

Fuente: Propia

TABLA A.2 CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL PARA UNA T.M.R DEL 11% Y UN TIEMPO DE VIDA DE 5 AÑOS PARA LA ESTRUCTURA 4

Años	Flujos monetarios (\$/año)	Factor de actualización^[15] (adim.)	Valor actual (\$/año)
1	540.414,53	0,9009	486859,4483
2	600.454,40	0,81162	487340,8034
3	660.494,28	0,73119	482946,8126
4	720.534,16	0,65873	474637,4646
5	780.574,03	0,59345	463231,6593
Total			2395016,188

Fuente: Propia

● *Cálculo del Equivalente Anual (E.A):*

El equivalente anual expresa la rentabilidad de un proyecto en forma de una serie uniforme anual, de allí que se obtiene como:

$$EA(i) = \sum_{t=0}^n VA(i) * [R / P_{i,t}] \quad (A.10)$$

Donde:

EA=Equivalente anual, \$/año

VA= valor actual, \$/año

R/P_{i,t}= factor de recuperación del capital una tasa mínima de rendimiento i en el año t, adim.

Sustituyendo los valores correspondientes al primer año:

$$VA(1) = 472.335,21 \text{ \$/año}$$

$$R/P_{it} = 1.11 \text{ adim}^{[15]}$$

$$EA(1) = 472.335,21 \text{ \$/año} * 1.11 = 581.964,79 \text{ \$/año}$$

Los valores obtenidos para los años siguientes de la proyección de la demanda se encuentran tabulados en la tabla A.3 y A.4

TABLA A.3 CÁLCULO DEL EQUIVALENTE ANUAL PARA UNA T.M.R DEL 11% Y UN TIEMPO DE VIDA DE 5 AÑOS PARA LA ESTRUCTURA 1

Años	Valor actual (\$/año)	Factor de recuperación de capital (adim.)	Equivalente anual (\$/año)
1	472.335,21	1,11	581.964,79
2	472.802,21	0,58394	340.169,19
3	468.539,30	0,40922	262.224,12
4	460.477,84	0,32233	225.321,18
5	449.412,30	0,27057	204.899,29
Total			1.614.578,58

Fuente: Propio

TABLA A.4 CÁLCULO DEL EQUIVALENTE ANUAL PARA UNA T.M.R DEL 11% Y UN TIEMPO DE VIDA DE 5 AÑOS PARA LA ESTRUCTURA 4

Años	Valor actual (\$/año)	Factor de recuperación de capital (adim.)	Equivalente anual (\$/año)
1	486859,4483	1,11	599.860,1261
2	487340,8034	0,58394	350.629,3447
3	482946,8126	0,40922	270.287,4693
4	474637,4646	0,32233	232.249,7745
5	463231,6593	0,27057	211.199,9158
Total			1.664.226,63

Fuente: Propio

A.7. Diferencia del valor actual y el equivalente anual

Cuando se trata de seleccionar alternativas de inversión lo relevante en la toma de decisiones es la rentabilidad del flujo extra.

La rentabilidad del flujo extra se define como la diferencia entre los valores actuales o equivalentes anuales, de la alternativa existente y la alternativa nueva de inversión ^[15].

En forma general, si se tienen dos alternativas y se desea seleccionar la mejor para una determinada tasa mínima de rendimiento, entonces sí:

$VA_1 - VA_2 \geq 0$ y $EA_1 - EA_2 \geq 0$ la inversión es factible económicamente.

La diferencia de valor actual, se expresa como:

$$\Delta VA = VA_O - VA_H \quad (A.11)$$

Sustituyendo los valores correspondientes a la estructura 4 y 1:

$$\Delta VA = 2.395.016,18\$/año - 2.323.566,85 \$/año = 71.449,34 \$/año$$

La diferencia del equivalente anual, se expresa como:

$$\Delta EA = EA_O - EA_H \quad (A.12)$$

Sustituyendo los valores correspondientes a la estructura 4 y 1:

$$\Delta EA = 1.664.226,63\$/año - 1.614.578,58 \$/año = 49.648,05 \$/año$$

APÉNDICE B

FICHAS TECNICAS DE LA MATERIA PRIMA UTILIZADA PARA LA ELABORACIÓN DE LA PELÍCULA

En esta sección se muestran las fichas técnicas de cada uno de los polietilenos utilizados en la formulación y elaboración de las estructuras estudiadas.

DOWLEX* 2045B

Polietileno de Baja Densidad Lineal, copolímero de octeno

- Película para aplicaciones de uso pesado como bolsas industriales y de uso general
- Película para uso agrícola
- Película coextruída
- Cumple con regulación FDA 21 CFR 177.1520(c)3.2a
- Apto para contacto con alimentos según informe N° 592 / 00 emitido por el INAL de conformidad con legislación MERCOSUR.

El DOWLEX* 2045B es un Polietileno de Baja Densidad Lineal, copolímero de octeno, producido a través del Proceso de Solución. Esta resina presenta excelente estabilidad térmica en un rango amplio de condiciones de procesamiento. Las películas hechas con esta resina presentan una combinación de excelentes propiedades de resistencia al punzonado, al impacto y al rasgado.

Propiedades Físicas	Métodos	Valores ⁽¹⁾
Propiedades de la Resina		
Índice de Fluidez (190°C / 2,16kg), g/10 min	ASTM D 1238	1,00
Densidad, g/cm ³	ASTM D 792	0,9200
Propiedades de la Película, 37,5µm		
Resistencia al Punzonado, J/cm ² (ft-lbf/in. ²)	Dow Method	11 (132)
Resistencia al Impacto, (Método A), g	ASTM D 1709	250
Resistencia al Rasgado, g	DM	590
	DT	880
Tracción en el Punto de Fluencia, MPa (psi)	DM	11 (1593)
	DT	11 (1593)
Tracción en el Punto de Ruptura, MPa (psi)	DM	50 (7244)
	DT	45 (6519)
Elongación en el Punto de Ruptura, %	DM	840
	DT	1050
Módulo Secante al 2%, MPa (psi)	DM	195 (28251)
	DT	226 (32742)
Brillo, 45°	ASTM D 2457	61
Nubosidad, %	ASTM D 1003	11

Condiciones de Procesamiento Utilizadas:

- Diámetro de Tornillo: 60 mm; 32:1 L/D
- Tipo de Tornillo: Simple con Mezclador
- Luz de Labio: 1,8 mm
- Temperatura de Masa: 217°C
- Productividad: 49,1 Kg/h
- Diámetro de Matriz: 150 mm
- Relación de Soplado: 2,5:1
- Velocidad de Tornillo: 60 rpm
- Altura de la Línea de Enfriamiento: 50 cm
- Temperatura del Aire de Enfriamiento: 20°C

(1) Valores típicos para el producto que deberán ser confirmados por el cliente a través de sus propios ensayos.

Figura B.1 Ficha técnica del PELBD copolímero de octeno. Fuente: Dow Chemical, 2006


Technical Information					
DOWLEX 2685G					
Polyethylene Resin					
DOWLEX™ Polyethylene Resin is designed for the production of a wide variety of film applications. Films made from this resin exhibit a combination of good toughness and tear resistance.					
Main Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> Linear Low Density Polyethylene Complies with U.S. FDA 21 CFR 177.1520 (c) 3.2a. Consult the regulations for complete details. 			Slip Additive:	900 ppm
				Antiblock Additive:	5,100 ppm
Properties⁽¹⁾		English		S.I.	
Typical Physical		Test Method			
Mel Index, (I ₂) at 190°C/2.16 kg, g/10 min		ASTM D 1238			
Density, g/cm ³		0.75		0.75	
		ASTM D 792			
DSC Melting Point, °F (°C)		248		120	
		Dow Method			
Vicat Softening Point, °F (°C)		216		102	
		ASTM D 1525			
Film, 2.0 mil (51µm)					
Puncture Resistance, (ft-lbf/in ³) (J/cm ³)		Dow Method			
		191		16	
Dart Impact, g Method A		ASTM D 1709			
		800		800	
Elmendorf Tear (Method B), g		MD	ASTM D 1922	841	841
		CD		1,080	1,080
Tensile Yield, psi (MPa)		MD	ASTM D 882	1,870	13
		CD		1,853	13
Ultimate Tensile, psi (MPa)		MD	ASTM D 882	8,995	62
		CD		7,429	51
Ultimate Elongation, %		MD	ASTM D 882	701	701
		CD		795	795
Tensile Modulus, 2% Secant, psi (MPa)		MD	ASTM D 882	22,985	159
		CD		24,861	171
Gloss, 45°		ASTM D 2457			
		59		59	
Haze, %		ASTM D 1003			
		17		17	
Fabrication Conditions For Blown Film:					
<ul style="list-style-type: none"> Screw Size: 2.5 in. (63.5 mm) 30:1L/D Screw Type: DSBII Die Gap: 70 mil (1.8 mm) Output: 10 bhr/in. of circumference 		<ul style="list-style-type: none"> Die Diameter: 6 in. Blow-Up Ratio: 2.5 : 1 Screw Speed: 84 rpm Frost Line Height: 20 in. (508 mm) 		(1) These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.	

Figura B.2 Ficha técnica del PELBD copolímero de hexeno. Fuente: Dow Chemical, 2006

AFFINITY* PL 1881G

Plastómero Poliolefínico, copolímero de octeno – Tecnología INSITE*

- Baja temperatura de inicio de sellado
- Excelente resistencia del sello en caliente
- Alta eficiencia de sellado a través de contaminantes
- Excelentes propiedades ópticas
- Cumple con regulación FDA 21 CFR 177.1520 c) 3.2 a)
- Apto para contacto con alimentos según informe N° 715/03 emitido por el INAL de conformidad con legislación MERCOSUR.

Aditivos: Deslizante
Antibloqueo

El AFFINITY* PL 1881G es un Plastómero Poliolefínico, copolímero de octeno, producido mediante la tecnología INSITE* de Dow. Ha sido diseñado para su uso como capa

sellante en estructuras flexibles para envasado de carnes, quesos, alimentos secos, etc. Debido a su excelente capacidad de sellado, resistencia del sello en caliente,

propiedades ópticas y resistencia mecánica, está especialmente indicado para su uso en máquinas de alta velocidad de conformado-llenado-sellado.

Propiedades Físicas	Métodos	Valores ⁽¹⁾
Propiedades de la Resina		
Índice de Fluidez (190°C / 2,16kg), g/10 min	ASTM D 1238	1.0
Densidad, g/cm ³	ASTM D 792	0.9035
Punto de Fusión (DSC) °C (°F)	Método Dow	100 (212)
Punto de Ablandamiento Vicat, °C (°F)	ASTM D 1525	86 (187)
Propiedades de la Película, 50µm (2.0 mil)		
Resistencia al Punzonado, J/cm ² (ft.lbf/in. ²)	Dow Method	22 (265)
Energía, J (in.lbf)		8 (72)
Fuerza, N (lbf)		83 (18)
Resistencia al Impacto, (Método B), g	ASTM D 1709	>830
Resistencia al Rasgado ⁽²⁾ , g	DM ASTM D 1922	560
	DT	730
Tracción en el Punto de Fluencia, MPa (psi)	DM ASTM D 882	8 (1170)
	DT	7 (1040)
Tracción en el Punto de Ruptura, MPa (psi)	DM ASTM D 882	45 (6580)
	DT	43 (6170)
Elongación en el Punto de Ruptura, %	DM ASTM D 882	585
	DT	630
Módulo Secante al 2%, MPa (psi)	DM ASTM D 882	97 (14120)
	DT	97 (14060)
Brillo, 20°	ASTM D 2457	112
Nubosidad, %	ASTM D 1003	3.2
Temperatura de Inicio de Sellado ⁽³⁾⁽⁴⁾ , °C	Método Dow	85 (185)
COF (Película/Película)	ASTM D 1894	0.15
Fuerza de Bloqueo, g	ASTM D 3354-89	70

Condiciones de Procesamiento Recomendadas:

- Diámetro de Tornillo: 63,5 mm (2.5 in.); 24:1 L/D
- Tipo de Tornillo: DBS II
- Luz de Labio: 1,8 mm (70 mil)
- Temperatura de Masa: 221°C (430°F)
- Diámetro de Matriz: 152 mm (6 in.)
- Relación de Soplado: 2.5:1
- Velocidad de Tornillo: 40 rpm
- Altura de la Línea de Enfriamiento: 635 mm (25 in.)

- (1) Valores típicos para el producto que deberán ser confirmados por el cliente a través de sus propios ensayos.
- (2) Especimen de Test Modificado, rectangular.
- (3) Temperatura a la cual fue alcanzada la resistencia en el sello de 8.8 N/25.4 mm.
- (4) Equipo automático de Sello Topwave HT Tester intervalo de 0,5 s, presión 40 psi bar, velocidad de tracción en el Instron de 250 mm/s (10 in./min).

Figura B.3 Ficha técnica del Plastómero Olefínico. Fuente: Dow Chemical, 2006



Venelene FA-0240

Polietileno de Baja densidad (PEBD) Grado: Película Tubular

Elementos distintivos:

- ◆ Excelente procesabilidad, transparencia y brillo.

Aplicaciones Típicas:

- ◆ Sacos y bolsas industriales (< 10 kg.)
- ◆ Bolsas para supermercados y boutiques
- ◆ Películas para empaçado automático de 30 a 50 micras de espesor
- ◆ Soplado de botellas y juguetes

Recomendaciones de

Procesamiento:

- ◆ Intervalo de temperaturas de extrusión: 120 a 180°C
- ◆ Relación de soplado (BUR): 2 a 3.
- ◆ Abertura de boquilla: 0.7 a 1.0 mm.
- ◆ Altura de la línea de enfriamiento (ALE): 4 a 5 veces el diámetro de la boquilla.

Propiedades	Norma ⁽¹⁾ ASTM	Unidades	Valor de referencia ⁽²⁾
Índice de Fluidéz (190°C / 2.16 Kg.)	D 1238	g/10 min	1.85
Densidad	D 792	g/cm ³	0.9200
Designación NORVEN: (Termoplástico) Covenin (3581)-PE, FBHS, 18-E022			

Propiedades de la película (50µ) ⁽³⁾				
Propiedades en tensión			DE	DT
Tenacidad	D 882	MPa	30	54
Esfuerzo en Ruptura	D 882	MPa	24	15
Deformación en Ruptura	D 882	%	150	500
Desgarre Elmendorf	D 1922	g	400	150
Resistencia al impacto	D 1709	KJ/m	28	
Resistencia a la penetración		g	1050	
Propiedades ópticas ⁽³⁾				
Transmisión Luminosa	D 1003	%	80	
Turbidez	D 1003	%	13	

Aditivos:	
Antioxidantes	Dosis estándar
Deslizantes	Nivel medio
Antibloqueo	Nivel medio
Ayudante de procesamiento	No contiene
Estabilizantes UV	No contiene

(1) Las normas COVENIN equivalentes a las ASTM utilizadas son las siguientes: Densidad Covenin 461-96; Índice de fluidez Covenin 1152-93; Propiedades mecánicas Covenin 1357-79, Desgarre Elmendorf Covenin 994-98, Impacto Covenin 384-98, Ópticas Covenin 464-94.

(2) Los valores típicos son resultados promedio obtenidos en laboratorio, se muestran aquí solo como guías y en ningún momento como especificaciones.

(3) Las propiedades fueron evaluadas sobre una película tubular extruida bajo las siguientes condiciones: Diámetro del tornillo 50mm; Perfil de extrusión: 130-150°C; Abertura de boquilla 1,2 mm; Relación de soplado 2,5. Tanto las propiedades mecánicas, como las ópticas dependen de las condiciones de procesamiento empleadas.

Figura B.4 Ficha técnica del PEBD 240. Fuente: Polinter, 2006

Polietilenos Venelene Hoja Técnica



Venelene 11Q4

Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD) Buteno
Grado: Película Tubular

Elementos distintivos:

- ◆ Excelentes propiedades mecánicas, y ópticas
- ◆ Alta resistencia del sello en caliente (Hot Tack).

Aplicaciones Típicas:

- ◆ Película para empaque automático para líquidos (Agua, leche, Yoghurt), etc.
- ◆ Películas laminadas o coextruidas para empaquetado automático de alimentos (< a 5 kg)
- ◆ Bolsas para empaque secundario

Recomendaciones de

Procesamiento:

- ◆ Intervalo de temperaturas de extrusión: 160 a 210°C
- ◆ Perfil de extrusión invertido (descendente)
- ◆ Relación de soplado (BUR): 2 a 3.
- ◆ Abertura de boquilla: 0.9 a 2.0 mm.
- ◆ Altura de la línea de enfriamiento (ALE): 4 a 5 veces el diámetro de la boquilla.

Propiedades	Norma ⁽¹⁾ ASTM	Unidades	Valor de referencia ⁽²⁾
Índice de Fluidez (190°C / 2.16 Kg.)	D 1238	g/10 min	0.75
Densidad	D 792	g/cm ³	0.9190

Designación NORVEN: (Termoplástico) Covenin (3581)-PE, FABHS, 18-E006

Propiedades de la película (50μ)⁽³⁾

Propiedades en tensión

			DE	DT
Tenacidad	D 882	MPa	130	145
Esfuerzo en Ruptura	D 882	MPa	38	34
Deformación en Ruptura	D 882	%	750	800
Desgarre Elmendorf	D 1922	g	300	550
Resistencia al impacto	D 1709	KJ/m	27	
Resistencia a la penetración	D 3420	g	750	

Propiedades ópticas⁽³⁾

Transmisión Luminosa	D 1003	%	68
Turbidez	D 1003	%	27

Aditivos:

Antioxidantes	Dosis estándar
Deslizantes	Nivel medio
Antibloqueo	Nivel medio
Ayudante de procesamiento	Dosis estándar
Estabilizantes UV	No contiene

(1) Las normas COVENIN equivalentes a las ASTM utilizadas son las siguientes: Densidad Covenin 461-96; Índice de fluidez Covenin 1152-93; Propiedades mecánicas Covenin 1357-79, Desgarre Elmendorf Covenin 994-98, Impacto Covenin 384-98, Ópticas Covenin 464-94.

(2) Los valores típicos son resultados promedio obtenidos en laboratorio, se muestran aquí solo como guías y en ningún momento como especificaciones.

(3) Las propiedades fueron evaluadas sobre una película tubular extruida bajo las siguientes condiciones: Diámetro del tornillo 50mm; Perfil de extrusión: 170-200°C; Abertura de boquilla 1,8 mm; Relación de soplado 2,5. Tanto las propiedades mecánicas, como las ópticas dependen de las condiciones de procesamiento empleadas.

Figura B.5 Ficha técnica del PELBD 11Q4. Fuente: Polinter, 2006

Polietilenos Venelene

Hoja Técnica

Venelene 11F1

Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD) Buteno Grado: Película Tubular

Elementos distintivos:

- ◆ Excelentes propiedades mecánicas

Aplicaciones Típicas:

- ◆ Sacos industriales (< 30 Kg)
- ◆ Bolsas para hielo
- ◆ Empaques para alimentos congelados
- ◆ Bolsas para empaque secundario
- ◆ Bolsas para basura
- ◆ Tuberías flexibles para riego

Recomendaciones de Procesamiento:

- ◆ Intervalo de temperaturas de extrusión: 160 a 210°C
- ◆ Perfil de extrusión invertido (descendente)
- ◆ Relación de soplado (BUR): 2 a 3.
- ◆ Abertura de boquilla: 0.9 a 2.0 mm.
- ◆ Altura de la línea de enfriamiento (ALE): 4 a 5 veces el diámetro de la boquilla.

Propiedades	Norma ⁽¹⁾ ASTM	Unidades	Valor de referencia ⁽²⁾	
Índice de Fluidez (190°C / 2.16 Kg.)	D 1238	g/10 min	0.80	
Densidad	D 792	g/cm ³	0.9190	
Designación NORVEN: (Termoplástico) Covenin (3581)-PE, FABH, 18-E006				
Propiedades de la película (50µ) ⁽³⁾				
Propiedades en tensión			DE	DT
Tenacidad	D 882	MPa	120	140
Esfuerzo en Ruptura	D 882	MPa	36	34
Deformación en Ruptura	D 882	%	730	750
Desgarre Elmendorf	D 1922	g	300	550
Resistencia al impacto	D 1709	KJ/m	28	
Resistencia a la penetración	D 3420	g	750	
Propiedades ópticas ⁽³⁾				
Transmisión Luminosa	D 1003	%	68	
Turbidez	D 1003	%	28	
Aditivos:				
Antioxidantes	Dosis estándar			
Deslizantes	No contiene			
Antibloqueo	Nivel medio			
Ayudante de procesamiento	Dosis estándar			
Estabilizantes UV	No contiene			

(1) Las normas COVENIN equivalentes a las ASTM utilizadas son las siguientes: Densidad Covenin 461-96; Índice de fluidez Covenin 1152-93; Propiedades mecánicas Covenin 1357-79, Desgarre Elmendorf Covenin 994-98, Impacto Covenin 384-98, Ópticas Covenin 464-94.

(2) Los valores típicos son resultados promedio obtenidos en laboratorio, se muestran aquí solo como guías y en ningún momento como especificaciones.

(3) Las propiedades fueron evaluadas sobre una película tubular extruida bajo las siguientes condiciones: Diámetro del tomillo 50mm; Perfil de extrusión: 170-200°C; Abertura de boquilla 1,8 mm; Relación de soplado 2,5. Tanto las propiedades mecánicas, como las ópticas dependen de las condiciones de procesamiento empleadas.

Figura B.6 Ficha técnica del PELBD 11F1. Fuente: Polinter, 2006

APÉNDICE C NORMAS COVENIN

En esta sección se muestra las normas que rigen los ensayos de coeficiente de fricción, porcentaje de elongación, rasgado e impacto al dardo, las mismas incluyen el objetivo, las definiciones básicas y metodología de aplicación.

**NORMA
VENEZOLANA**

**COVENIN
384:1998**

**PELÍCULAS PLÁSTICAS.
DETERMINACIÓN DE LA
RESISTENCIA AL IMPACTO
POR CAIDA LIBRE DE DARDO**

(1^{ra} Revisión)



ASOQUIM

asociación venezolana de la
industria química y petroquímica



FONDONORMA

**NORMA VENEZOLANA
PELÍCULAS PLÁSTICAS.
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
AL IMPACTO POR CAIDA LIBRE DE DARDO**

**COVENIN
384:1998**

1 OBJETO

Esta Norma Venezolana contempla dos métodos de ensayo para determinar la resistencia al impacto, de las películas plásticas por acción de un dardo en caída libre.

Método A: Es usado para impactos cuya fuerza sea menor o igual a 300 g.

Método B: Es usado para impactos cuya fuerza sea superior a 300 g e inferior a 1 300 g.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

La siguiente norma contiene disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Venezolana. La edición indicada estaba en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión se recomienda, a aquellos que realicen acuerdos con base en ella, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de la norma citada seguidamente:

COVENIN 466-89 Películas plásticas. Determinación del espesor.

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta Norma Venezolana se aplican las siguientes definiciones:

3.1 Peso para falla por impacto (Pf). Es aquel peso en el cual fallan el 50 % de las muestras, cuando son ensayadas según el método A (altura de caída del dardo de 66 cm) o el método B (altura de caída del dardo de 152,4 cm).

3.2 Peso de proyectil (p). Es el peso del dardo, más el número total de pesos de los accesorios, sujetos a la varilla. (Véase Figura 1).

3.3 Δp : Es la variación uniforme del peso del dardo durante los ensayos.

3.4 Po: Peso mínimo del dardo para el cual se produjo la primera falla por impacto.

3.5 0: Notación de no falla en la muestra ensayada.

3.6 X: Notación de la falla en la muestra ensayada.

3.7 i: Notación numérica para los pesos del dardo en los cuales hubo falla o fractura en la muestra ensayada.

3.8 Ni: Número de fallas para el peso de dardo dado.

4 PRINCIPIO DEL ENSAYO

4.1 Este método se basa en la determinación del peso que produce la fractura de películas plásticas bajo la acción del impacto de un dardo en caída libre, en condiciones específicas.

4.2 Los métodos A y B, son usados para establecer el peso del dardo cuando el 50% de las muestras fallan bajo las condiciones especificadas. Los datos obtenidos por un método, no pueden ser comparados directamente con los del otro método, ni con aquellos obtenidos de pruebas empleando diferentes condiciones de: velocidad del proyectil, diámetro de la superficie de choque, diámetro efectivo y espesor de la muestra.

Los valores obtenidos de estas variables de ensayo son altamente dependientes del método de fabricación de las películas, así como también del tipo y grado de la resina usada para la fabricación de la misma.

4.3 Los resultados obtenidos por los métodos A y B están influenciados por la calidad de las películas bajo prueba. Los límites de confianza de los datos obtenidos por este procedimiento pueden variar significativamente dependiendo de la calidad de muestra, uniformidad del espesor de la película, marcas en la matriz, contaminantes, entre otros.

4.4 La resistencia al impacto de las películas, depende parcialmente del espesor de la muestra. Sin embargo, los valores de impacto, expresados en gramos, no pueden ser normalizados en base a un rango de espesores, ya que ellos producirían datos erróneos con respecto a la verdadera resistencia al impacto del material.

Los datos de estos métodos son comparables solamente para muestras, que no varían en más de un 25% del espesor nominal o promedio de las muestras ensayadas.

5 APARATOS

5.1 El aparato utilizado será como el mostrado en la Figura 1 y para ambos métodos de prueba debe estar equipado con los siguientes accesorios:

5.1.1 Prensa para sujetar la muestra

La prensa consiste en dos pinzas anulares, dispuestas una sobre otra para sujetar la muestra con un diámetro interno de 127 mm, conforme a los siguientes requerimientos:

a) La abrazadera inferior de la prensa debe estar rígidamente montada de manera que el plano de la muestra esté horizontal y formando un ángulo de 90° con respecto a la vertical del miembro que soporta el dardo.

b) La abrazadera superior o parte móvil de la prensa debe estar diseñada de manera que se establezca un contacto plano y efectivo con la parte fija de la prensa cuando ésta se encuentra en contacto; las abrazaderas deben estar provistas con medios de fijación apropiados, de tal manera que el contacto establecido sea eficiente y conserve la muestra firmemente en su lugar durante la prueba.

c) Pueden colocarse láminas de caucho entre las superficies de contacto de ambas abrazaderas, para de esta manera minimizar los efectos de variación por espesor y evitar el deslizamiento de la película.

Nota 1: Para eliminar el deslizamiento de películas con espesores inferiores a 0,10 mm, se utilizan recubrimientos de papel engomado sujeto a las agarraderas de manera tal que la superficie rugosa está en contacto con la película, manteniéndola firme y plana.

También pueden ser empleadas otras maneras de reducir el deslizamiento; tales como cilindros agarradores adicionales o superficies agarradoras positivas, previendo que la película no esté debilitada por la pared exterior de la agarradera y que el diámetro efectivo de la película no cambie de 127 mm.

5.1.2 Electroimán

Aparato capaz de soportar un peso máximo de 2 kg, a ser usado como soporte y para facilitar la caída del dardo montado. Este debe estar equipado con: un dispositivo centrador para asegurar una caída reproducible y una fuente apropiada de poder eléctrico, la cual puede ser interrumpida con el fin de activar o desactivar el electroimán.

Nota 2: Se permite el uso de un sistema neumático o cualquier otro mecanismo para liberar el dardo de una manera uniforme y reproducible.

5.1.3 Dispositivo posicional

Dispositivo por medio del cual se provee la posición del dardo a una altura de 660 mm (Método A) o de 1 524 mm (Método B) de la superficie de choque del cabezal del dardo a la superficie de la muestra. Este dispositivo debe colocar al dardo en posición vertical sobre el centro de la superficie de choque de la muestra.

5.1.4 Micrómetro

Aparato utilizado para medir el espesor de la película con una sensibilidad de $\pm 0,001$ mm.

5.1.5 Acolchonamiento y dispositivos de resguardo. Son unos mecanismos para protección personal del operador y evitar daños sobre la superficie de choque del dardo, estos mecanismos o dispositivos de resguardo pueden ser láminas de corcho o caucho colocadas en el fondo de la cavidad donde va a caer el dardo.

5.1.6 Anillo de sujeción. Es una abrazadera metálica con un diámetro interno de aproximadamente 7 mm y con un tornillo para asegurar dicha abrazadera al eje del dardo.

5.2 Componentes específicos para el método A

5.2.1 Dardo: Consiste de un cabezal hemisférico de $(38,10 \pm 0,13)$ mm de diámetro unido a una barra cilíndrica de 6,4 mm de diámetro y 114 mm de longitud que permite colocar los pesos removibles. El dardo y el anillo de fijación colocado en la barra, sin ningún peso adicional, deben pesar $32 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ y este peso debe ser conocido con una precisión de 0,1 g. El cabezal debe ser hecho de aluminio, resina fenólica u otro material de baja densidad y similar dureza, y debe estar perfectamente liso, pulido y libre de muescas, abolladuras u otras irregularidades superficiales. La barra debe estar fijada en el centro de la cara plana superior del cabezal con su eje longitudinal a 90° con la superficie. Esta barra debe ser de aluminio u otro material que no sea magnético con una punta de acero inoxidable de 12,7 mm de longitud fijada en el extremo que hace contacto con el electroimán.

5.2.2 Pesas: Las pesas deben ser de acero inoxidable, de forma cilíndrica de 31 mm de diámetro con orificio central de 6,6 mm de diámetro, el espesor de las pesas se ajustará de manera de obtener los pesos indicados con una exactitud de $\pm 0,5 \%$. (Véase Tabla 1).

Tabla 1. Números y Peso de pesas. Método A

Número o Cantidad de pesas	Peso Unitario en g
2 o más	5
8	15
8	30
8	60

5.3 Componentes específicos para el método B

5.3.1 Dardo: Consiste de un cabezal hemisférico de $(50,80 \pm 0,13)$ mm de diámetro unido a una barra cilíndrica de 6,4 mm de diámetro y 114 mm de longitud, que permite colocar los pesos removibles. El dardo y el anillo de fijación colocado en la barra, sin ningún peso adicional, deben pesar $320 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$ y este peso debe ser conocido con una precisión de $\pm 0,5 \text{ g}$. El cabezal debe ser hecho de aluminio, resina fenólica u otro material de baja densidad y similar dureza y debe estar perfectamente liso, pulido y libre de muescas, abolladuras u otras irregularidades superficiales. La barra debe estar fijada en el centro de la cara plana superior del cabezal, con su eje longitudinal a 90° con la superficie. Esta barra debe ser de aluminio u otro material que no sea magnético, con una punta de acero inoxidable de 12,7 mm de longitud fijada en el extremo que hace contacto con el electroimán.

5.3.2 Pesas. Las pesas deben ser de acero inoxidable, de forma cilíndrica de 45 mm de diámetro con orificio central de 6,6 mm de diámetro; el espesor de las pesas se ajustará de manera de obtener los pesos indicados con una exactitud de $\pm 0,5 \%$. (Véase Tabla 2).

Tabla 2. Números y peso de pesas. Método B

Número o cantidad de pesas	Peso unitario en g
2 o más	15
8	45
8	90

Nota 3: Opcionalmente, pesos adicionales cada uno de $120 \text{ g} \pm 0,5 \%$ para el método A ó $180 \text{ g} \pm 0,5 \%$ para el método B, pueden ser construidos para usarlos, si es necesario, para extender el peso del dardo más allá de aquel realizable con todos los pesos en el juego estándar.

6 MATERIAL A ENSAYAR

6.1 El material a ensayar consiste en una muestra de película plástica la cual debe ser suficientemente larga para poder sobresalir de la agarradera de la muestra en todos los puntos. La muestra debe ser representativa de la película a ensayar y debe ser tomada de la hoja o tubo que esté en mejores condiciones. Esto es para asegurar que toda la película estará representada en la prueba, tal que la muestra sola constituya la variable bajo estudio.

6.2 La muestra debe estar libre de pinchazos, surcos, dobleces, u otros defectos obvios a menos que tales imperfecciones constituyan variables a ensayar.

7 CONDICIONES DE ENSAYO

7.1 Las muestras a ser ensayadas se someten por espacio mínimo de 40 horas, a la temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y a $50\% \pm 5\%$ de humedad relativa, previo a la realización del ensayo.

7.2 Las condiciones a las cuales se llevarán a cabo los ensayos de caída libre serán las de un cuarto o local adecuado a $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y a $50\% \pm 5\%$ de humedad relativa.

8 PROCEDIMIENTO

8.1 Preparación y montaje del aparato de ensayo

8.1.1 Se hace el montaje del aparato según la Figura 1.

8.1.2 Se selecciona para el método A, el dardo con cabezal hemisférico de 38,1 mm o para el método B, el dardo con cabezal hemisférico de 50,8 mm.

8.1.3 Se activa el electroimán y se coloca el dardo seleccionado en posición vertical con la punta de acero del mango insertada en el adaptador central del electroimán. Se ajusta la altura de caída (distancia vertical que va desde el plano de la superficie de choque de la película hasta la superficie inferior del cabezal del dardo) a 660 mm para el método A o a 1 524 mm para el método B.

Nota 4: Para películas menores o iguales a 20 micrones de espesor se puede utilizar una altura de 330 mm usando el método A.

8.1.4 Se coloca una muestra de ensayo entre las dos superficies o abrazaderas de la prensa de sujeción de la película.

8.1.5 Se deja caer el dardo sin ninguna pesa adicional y se observa el punto en el cual el dardo golpea a la muestra de ensayo. Si es necesario se ajusta la barra soporte o la pinza ajustada del electroimán de manera que el dardo golpee el centro de la superficie de choque de la película en forma reproducible.

8.1.6 Se debe revisar el aparato periódicamente para evitar el deslizamiento de la película durante los ensayos ya que los resultados deben rechazarse en caso de producirse deslizamiento. La posibilidad de que ocurra el deslizamiento de la película se incrementa con un aumento en el peso del dardo y en la altura de caída además de que varía según la naturaleza de las películas bajo ensayo.

8.1.7 Antes de activar el dardo para el ensayo, se marca mediante el instrumento adecuado un círculo sobre la muestra de prueba en la zona o superficie interior de choque delineada por la abrazadera superior. Se deja caer el dardo y se marca nuevamente un círculo sobre la película. Si ha ocurrido deslizamiento de la película, se observarán líneas dobles, sobre la circunferencia.

8.1.8 Se repite el procedimiento indicado en el punto 8.1.7 hasta lograr minimizar el deslizamiento, mediante mecanismos apropiados (cauchos o papel engomado).

8.2 Procedimiento de ensayo para presentar los resultados en forma analítica

8.2.1 Se selecciona el peso del dardo y la altura de choque según especificaciones y espesor de la muestra a ensayar; teniendo en cuenta que: el dardo con cabezal hemisférico de 38,1 mm y la altura de choque de 660 mm, son específicos del método A y que el dardo con cabezal hemisférico de 50,8 mm y la altura de 1.524 mm son específicos del método B.

8.2.2 Se mide el espesor de la muestra de ensayo, según la norma COVENIN 466, en el área de impacto con la aproximación de 0,01 mm; y se determina el promedio de espesor para 5 medidas.

8.2.3 Se selecciona un peso del dardo cercano al valor del peso de falla de la muestra (50% del peso de falla esperado).

8.2.4 Se pesa el dardo con el anillo de sujeción con una exactitud de 0,1 g.

8.2.5 Se coloca la primera muestra de ensayo sobre la agarradera fija de la prensa y sobre ella se cuadra la agarradera móvil de manera que ambas queden perfectamente alineadas. La muestra debe quedar plana, lisa, firme y sobresaliendo de la prensa en todos los puntos.

8.2.6 Se selecciona un incremento al peso del dardo (Δp), tal que se tomen al menos 3 pesas de diferentes pesos. El valor de Δp apropiado es de 5% a 15% del peso de falla esperado.

8.2.7 Se colocan las pesas seleccionadas (Δp) al dardo y se fijan mediante el anillo de sujeción de manera que queden firmes.

8.2.8 Se activa el electroimán y se coloca el dardo en la posición vertical adecuada.

8.2.9 Se desactiva el electroimán para liberar el dardo, asegurándose que el mismo golpee en el centro del área de choque; se evita que el dardo rebote sobre la película, excluyendo así la posibilidad de impactos múltiples. El operador ha de estar atento a detener el dardo tan pronto como éste rebote, con el fin de prevenir que se dañe la superficie de impacto del dardo.

8.2.10 Se examina la muestra para determinar alguna evidencia de deslizamiento, si esto ha ocurrido el ensayo debe ser rechazado.

8.2.11 Si no ha ocurrido deslizamiento, se examina la muestra para determinar si hubo o no, falla. La falla está definida como cualquier fractura a través de películas ensayadas y puede ser fácilmente detectada observando la muestra al trasluz. Se anotan las observaciones tal como aparecen en la Figura 2, usando un cero (0) para la no falla y una (X) para la falla.

8.2.12 Si la primera muestra falla, se disminuye el peso total del dardo en un valor igual a (Δp); esto es, se quitan las pesas adicionales al dardo. Si en la primera muestra no ocurre falla, se aumenta el peso total del dardo en un incremento de peso uniforme, (Δp).

8.2.13 Se ensayan las demás muestras y dependiendo de que la muestra anterior haya fallado o no, se aumenta (en caso de que no exista falla) o se disminuye (en caso de que falle) el peso total del dardo de una manera uniforme.

8.2.14 Después de haber ensayado 20 muestras, se cuenta el número total de fallas (N). Si el número total de fallas es diferente a 10, se continua con el siguiente procedimiento:

8.2.14.1 Si el número total de fallas es menor que 10, se continúan ensayando muestras de películas hasta que el número de fallas totales sumen 10.

8.2.14.2 Si el número total de fallas es mayor que 10, se continúan ensayando muestras de películas, hasta que el número total de muestras que no fallen alcancen a 10.

8.3 Procedimiento de ensayo para presentar los resultados en forma gráfica

8.3.1 Esta técnica involucra el ensayo de grupos sucesivos de 10 muestras. Para cada grupo se emplea un solo peso de dardo y de grupo en grupo se varía el peso del dardo en incrementos uniformes. El ensayo se lleva a cabo hasta que haya al menos 5 resultados, en la siguiente forma: un grupo donde haya 0% de fallas, uno donde haya 100% de fallas y tres grupos donde el porcentaje de falla esté entre 0% y 100%.

8.3.2 Se selecciona el método A o el método B, según las especificaciones de las películas a ser ensayadas. Se realiza el montaje del aparato, escogiendo dardo y altura de choque, según el método seleccionado.

8.3.3 Se revisa el deslizamiento de la película, mediante el procedimiento seguido en los puntos 8.1.7 y 8.1.8 de la presente norma.

8.3.4 Se mide el espesor de la muestra de ensayo, según la norma COVENIN 466, en el área de impacto, con la aproximación de 0,0025 mm y se determina el promedio de espesor para 5 medidas como mínimo.

8.3.5 Se selecciona un peso total de dardo cercano al valor del peso de fallas teórico, añadiendo el número de pesas necesario en el dardo, colocando el anillo de sujeción, de manera que las pesas se mantengan fijas y firmes.

8.3.6 Se coloca en la prensa de sujeción la primera muestra de ensayo, sobre la agarradera fija y sobre ella se cuadra la agarradera móvil de manera que ambas queden perfectamente alineadas. La muestra debe quedar plana, lisa, firme y sobresaliendo en la prensa en todos los puntos.

8.3.7 Se activa el electroimán y se coloca el dardo en la posición vertical adecuada.

8.3.8 Se desactiva el electroimán para liberar el dardo, asegurándose, que el dardo golpee en el centro del área de choque; se evita que el dardo rebote sobre la película, excluyendo así la posibilidad de impactos múltiples. El operador debe estar atento a detener el dardo tan pronto como éste rebote, con el fin de prevenir que se dañe la superficie de impacto del dardo.

8.3.9 Se ensayan un total de 10 muestras sin variar el peso de dardo inicial seleccionado. Se anota el peso del dardo con las pesas adicionales y el resultado en porcentaje de las muestras que fallen.

8.3.10 Si el porcentaje de fallas, en este primer grupo de 10 muestras, es 0% se incrementa el peso del dardo en un mínimo de 15 g para el método A o en 45 g para el método B.

De la misma manera si el porcentaje de fallas es 100%, se disminuye el peso en 15 g como mínimo para el método A o en 45 g para el método B. En ambos casos se ensaya nuevamente otro grupo de 10 muestras.

8.3.11 Si luego de ensayados varios grupos se obtienen 5 resultados consecutivos entre 0% y 100%, se da por terminado el ensayo. Si no es así, se selecciona un nuevo incremento de peso pero menor al incremento empleado inicialmente.

8.3.12 Se ensayan nuevos grupos de muestras, comenzando con un incremento de peso por debajo del peso que produjo 100% de fallas anteriormente. Se continúan ensayando las muestras con incrementos de peso, ahora menores hasta que se obtengan resultados entre 0% y 100%, inclusive.

8.3.13 Si el mínimo de resultados antes mencionados, no se obtienen, se selecciona un incremento de peso aún menor y se repite el proceso, hasta que se obtenga un mínimo de 5 resultados a un incremento de peso uniforme.

9 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

9.1 Método analítico

9.1.1 A partir de los resultados obtenidos aplicando el procedimiento descrito en el punto 8.2 de la presente norma se construye una tabla según la Figura 2 anotando bajo N_i , el número total de fallas para cada peso de falla dado, tomando en cuenta sólo las últimas 10 fallas durante el ensayo.

Nota 4: Si durante el ensayo, luego de 20 muestras ensayadas, el número total de fallas es mayor o igual a 10 habrá solo 10 fallas luego de concluido el ensayo. Solo cuando el número total de fallas es mayor a 10, luego de 20 ensayos, se omitirán algunos de los resultados de fallas.

9.1.2 Bajo i , se colocan números enteros (0,1,2,etc) para cada N_i que se anote; de la siguiente manera: Coloque un cero (0) para el menor peso total de dardo al cual ocurrió la primera falla; se coloca un uno (1) para el siguiente peso inmediato de dardo que produjo al menos una falla en la muestra ensayada y así sucesivamente (Véase Figura 2).

9.1.3 Bajo la columna de iN_i , se coloca el resultado del producto de i , por N_i , correspondiente a cada fila de pesos del dardo (Véase Figura 2).

9.1.4 Se suma el número de fallas para cada peso del dardo (N_i), correspondiente a cada fila, y se reporta como el número total de fallas (N). De la misma manera, se suman los valores de los productos iN_i , correspondientes a cada fila de pesos de dardo y se anota el resultado de la suma, como (A).

9.1.5 Se anota (P_0), el peso total del dardo para el cual ocurrió la primera falla. Se anota como (Δp), la variación uniforme de peso de dardo empleada durante el ensayo (Véase Figura 2).

9.1.6 Se calcula el peso de fallas por impacto (P_f), expresado en gramos, mediante la siguiente fórmula:

$$P_f = P_0 + \Delta p \left[\frac{A}{N} - \frac{1}{2} \right]$$

donde:

Pf: Peso de falla por impacto, en gramos.

Po: Peso mínimo del dardo al cual ocurrió la falla o fractura, en gramos.

Δp : Variación uniforme de peso empleada, en gramos.

A: Suma de los números de los productos iN_i , en gramos.

N: Número total de fallas.

9.2 Método gráfico

9.2.1 Para calcular el peso de falla por impacto (Pf), mediante el procedimiento descrito en el punto 8.3 de la presente norma, se usará la fórmula siguiente:

$$Pf = P1 - \Delta p \left[\frac{S}{100} - \frac{1}{2} \right]$$

donde:

Pf: Peso de falla por impacto, en gramos.

Pl: Menor peso total de dardo, de acuerdo al Δp particular usado, en el cual se obtuvo un 100% de fallas de las muestras, en gramos.

Δp : Variación uniforme de peso empleada, en gramos.

S: Suma de los resultados, en porcentaje obtenidos por los 5 grupos consecutivos ensayados desde 0% de falla hasta el 100% de fallas.

9.2.2 A continuación se da un ejemplo del cálculo de Pf mediante el método gráfico:

Peso de dardo	% de falla
91	0
106	10
121	20
136	60
151	100

Δp : 15 g

S: 190

Pl: 151 g

Resultados: $Pf = P1 - \Delta p \left[\frac{S}{100} - \frac{1}{2} \right]$

$$= 151 - 15 \left[\frac{S}{100} - 0,5 \right] = 130g$$

9.2.3 Se promedian pares sucesivos de pesos de dardo donde han ocurrido fallas, incluyendo aquellos para los cuales se obtuvo un 0% y 100% de fallas. De igual manera, se saca un promedio entre dos porcentajes de fallas sucesivas, desde 0% hasta 100%.

9.2.4 Se anotan los promedios de los pesos y de los porcentajes para construir una gráfica de peso de dardo contra porcentajes de fallas en un papel semi-logarítmico de 3 ciclos.

9.2.5 Se fija, para los promedios de peso de dardo, la escala lineal del papel (eje vertical) y para los promedios de los porcentajes de falla, la escala semi-logarítmica de 3 ciclos (eje horizontal).

9.2.6 Se van colocando los puntos de la gráfica, tomando un valor de los promedios de los pesos de la escala lineal hasta que se intercepte con el valor correspondiente de los promedios de los porcentajes en la escala semilogarítmica. Se traza por los puntos, así contruidos, la mejor línea recta que pase entre ellos.

9.2.7 Se lee entonces en la recta el peso de falla por impacto (Pf) al cual ocurrirá el 50% de falla en cualquier número de muestras.

9.2.8 En la Figura 3 se dan ejemplos de la determinación de Pf para 50% de fallas, obtenidos mediante el procedimiento anteriormente descrito.

10 INFORME

El informe debe incluir como mínimo lo siguiente:

10.1 Identificación completa de la muestra.

10.2 Fecha de realización del ensayo e identificación del analista.

10.3 Espesor de la película y rango de espesor de las muestras ensayadas.

10.4 Método de ensayo empleado, indicando diámetro hemisférico y altura de choque para el dardo.

10.5 Número de muestras ensayadas y número total de fallas.

10.6 Tipo de procedimiento para evaluar los resultados y peso de falla por impacto (Pf) encontrado.

10.7 Realizado según la Norma Venezolana COVENIN 384.

10.8 Observaciones.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D 1709-91 Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic film by the free - falling dart method.

Participaron en la revisión de esta Norma: González, Neil; Hernández, Otto; Lamas, Nathaly; Maldonado, Alvaro; Márquez, María Luisa; Saldívia Simón.

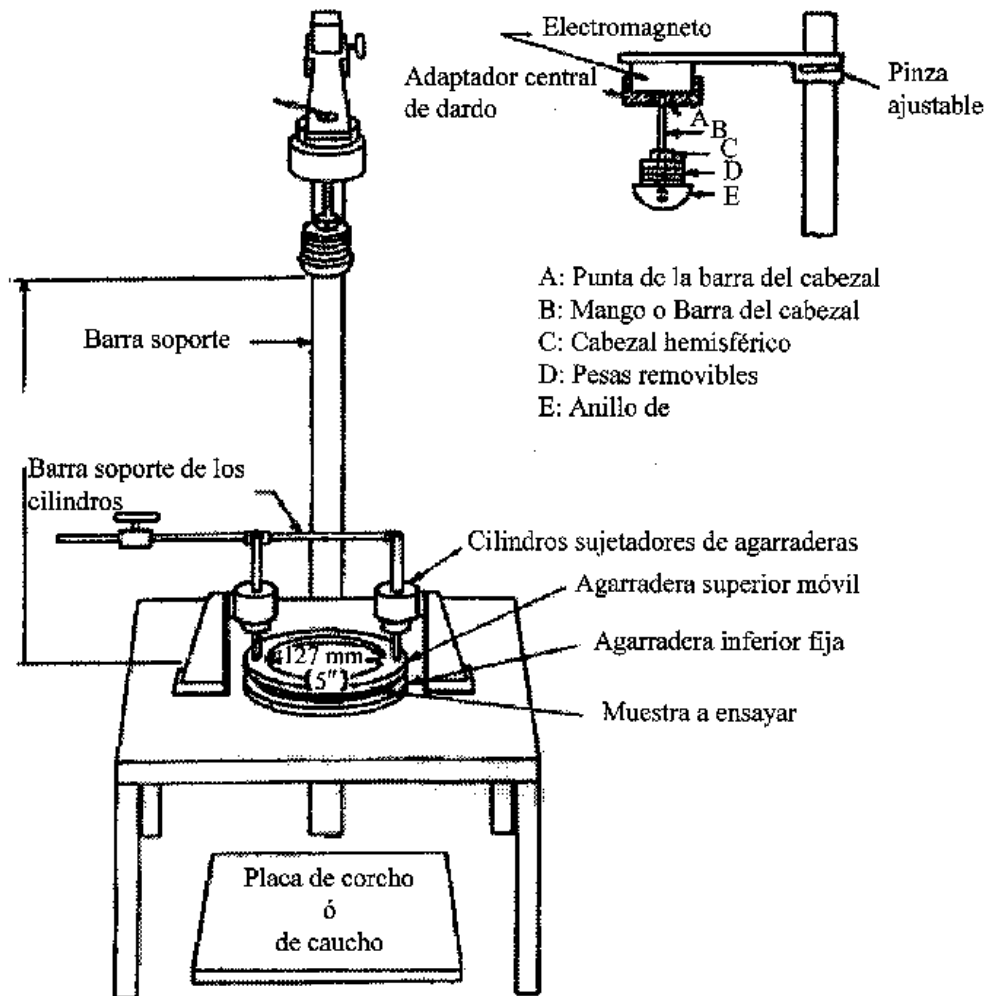


Figura 1. Aparatos para determinar falla por impacto de dardo en caída libre

COVENIN
384:1998

CATEGORÍA
B



FONDONORMA
Av. Andrés Bello Edif. Torre Fondo Común Pisos 11 y 12
Telf. 575.41.11 Fax: 574.13.12
CARACAS

publicación de:



I.C.S: 71.060.50

ISBN: 980-06-2050-8

RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS
Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio.



Descriptor: Empaques; plásticos; resistencia; películas plásticas; caída libre; método de ensayo.

**NORMA
VENEZOLANA**

**COVENIN
994:1998**

**PELÍCULAS PLÁSTICAS.
DETERMINACIÓN DE LA
RESISTENCIA AL RASGADO**

(1^{ra} Revisión)



ASOQUIM

asociación venezolana de la
industria química y petroquímica



FONDONORMA

**NORMA VENEZOLANA
PELÍCULAS PLÁSTICAS.
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
AL RASGADO**

**COVENIN
994:1998
(1^{ra} Revisión)**

1 OBJETO

Esta Norma Venezolana establece el método de ensayo para determinar la resistencia al rasgado en películas plásticas.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Venezolana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión se recomienda, a aquellos que realicen acuerdos con base en ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente:

COVENIN 64: 1996 Plásticos. Acondicionamiento de las muestras para los ensayos.

COVENIN 466-89 Películas plásticas. Determinación del espesor.

3 PRINCIPIO DEL ENSAYO

El ensayo consiste en medir la fuerza de resistencia a la propagación por rasgado de un corte, hecho inicialmente en una muestra, utilizando para ello un péndulo de dimensiones estándar.

4 APARATOS

4.1 Aparato de péndulo tipo impulso, (véase figura 1) que consta de:

4.1.1 Mordaza fija.

4.1.2 Mordaza móvil, que está ensamblada al péndulo.

Nota 1: Las dimensiones de las mordazas deben ser de al menos 25,4 mm de ancho por 12,7 mm de profundidad.

4.1.3 Sujetador, que mantiene el péndulo en la posición inicial de ensayo y permite su liberación de manera instantánea.

4.1.4 Mecanismo indicador, para el registro de máximo arco que describe el péndulo cuando oscila una vez liberado. El péndulo debe llevar una escala en forma de semicírculo contra la cual se lee con la ayuda de una aguja indicadora la fuerza requerida para desgarrar la probeta. Los valores medidos pueden ser expresados directamente en milinewtons, gf o en un porcentaje de la capacidad del péndulo.

Nota 2: La aguja y la escala pueden ser reemplazadas por un indicador electrónico digital.

4.1.5 Péndulos, que se consiguen con capacidades de carga o pesos de 200 gf, 400 gf, 800 gf, 1600 gf, 3200 gf, 6400 gf.

4.2 Micrómetro con apreciación de $\pm 0,0025$ mm

4.3 Plantilla, para cortar las probetas en la forma especificada en la Figura 2.

4.4 Cuchilla, para efectuar el corte inicial en la probeta, en caso de que el equipo no la posea.

5 MATERIAL A ENSAYAR

5.1 El material a ensayar consiste de diez (10) probetas, como mínimo, tomadas en la dirección de la extrusión y diez (10) probetas, como mínimo, tomadas perpendicularmente a la dirección de la extrusión. Las probetas se cortan según las dimensiones especificadas en la Figura 2.

5.2 Todas las muestras deben estar acondicionadas a una atmósfera estándar de acuerdo a la Norma Venezolana COVENIN 64.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Verificación y ajuste del aparato

6.1.1 Se selecciona el péndulo de menor peso o energía, y se coloca en su posición inicial de ensayo, se verifica que la separación entre las mordazas sea de 2,54 mm.

6.1.2 Para la nivelación del aparato, se ajusta el péndulo con la base del equipo de manera que la línea que indica el punto de suspensión vertical coincida con un punto correspondiente de la base del aparato.

6.1.3 La fricción de la aguja se chequea colocando la misma en el punto cero de la escala, se libera el péndulo y se verifica que la lectura registrada no difiera en más de tres divisiones de la escala. Una lectura mayor de cero en tres divisiones indica una excesiva fricción de la aguja; por lo cual se debe proceder a calibrar el equipo según el manual del suplidor.

6.1.4 Para corregir el punto cero del aparato, se suelta el péndulo sin probeta alguna y cuando retorna a su posición inicial, la aguja debe marcar en la escala graduada el valor cero (0), de no cumplirse esto, el aparato se debe ajustar con el tornillo correspondiente, hasta que al repetir la operación anterior la aguja marque cero (0).

6.2 Determinación del espesor de la película

Se realiza según la Norma Venezolana COVENIN 466.

6.3 Medición de la resistencia al rasgado

6.3.1 Se coloca la probeta entre las mordazas de la máquina, de forma tal que el corte inicial quede en el centro de las mismas.

6.3.2 Se ubica el péndulo en su posición de partida para el ensayo.

6.3.3 Se suelta el péndulo y al detenerlo se anota el valor que indica la aguja en la escala graduada.

6.3.4 En las determinaciones en las que la dirección del rasgado se desvía del precorte en un ángulo superior a 5°, se desecha el ensayo y se toma otra probeta.

Nota 3: Si la energía requerida para el rasgado de la probeta es mayor de 60% del valor máximo de la escala de medición, se coloca un péndulo de mayor energía, se verifica y ajusta nuevamente el cero y se repiten los ensayos.

Nota 4: Si la energía de rasgado en estas nuevas condiciones es superior al 60% de la lectura máxima de la escala, la resistencia al rasgado de las probetas es demasiado elevada para medirla con este aparato, y por lo tanto, los valores no se considerarán representativos.

Nota 5: Si utilizando el péndulo de menor energía y la energía de rasgado medida está por debajo del 20% de la lectura máxima de la escala de medición, se pueden utilizar las probetas superpuestas para realizar el ensayo.

7 EXPRESIÓN DE RESULTADOS

7.1 La resistencia al rasgado se expresa en kilogramos por milímetros de espesor de la película, mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{32 \times S}{e} \times f$$

donde:

- R: Resistencia a la propagación del rasgado, en kilogramos por milímetros.
- e: Espesor de la muestra en milímetros.
- f: Factor de corrección, correspondiente al peso adicional del aparato, si dicho peso es utilizado. Si no se utiliza se toma el valor de 1.
- S: Valor de la lectura en kilogramos.

8 INFORME

El informe debe incluir como mínimo lo siguiente:

- 8.1** Identificación completa de la muestra.
- 8.2** Fecha de realización del ensayo e identificación del analista.
- 8.3** Espesor de cada muestra.
- 8.4** Valor de R en cada dirección.
- 8.5** Realizado según la Norma Venezolana COVENIN 994.
- 8.6** Observaciones.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D 1922-94a, "Standard Test Method for Propagation Tear Resistance of Plastic Film and Thin Sheeting by Pendulum Method", p.p 497-502.

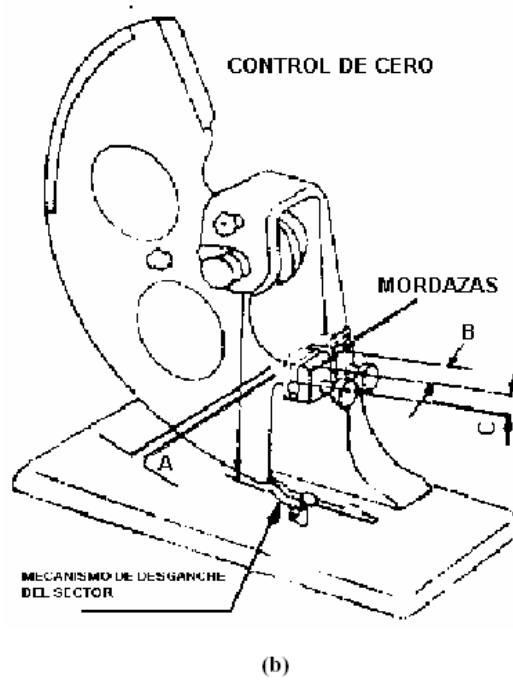
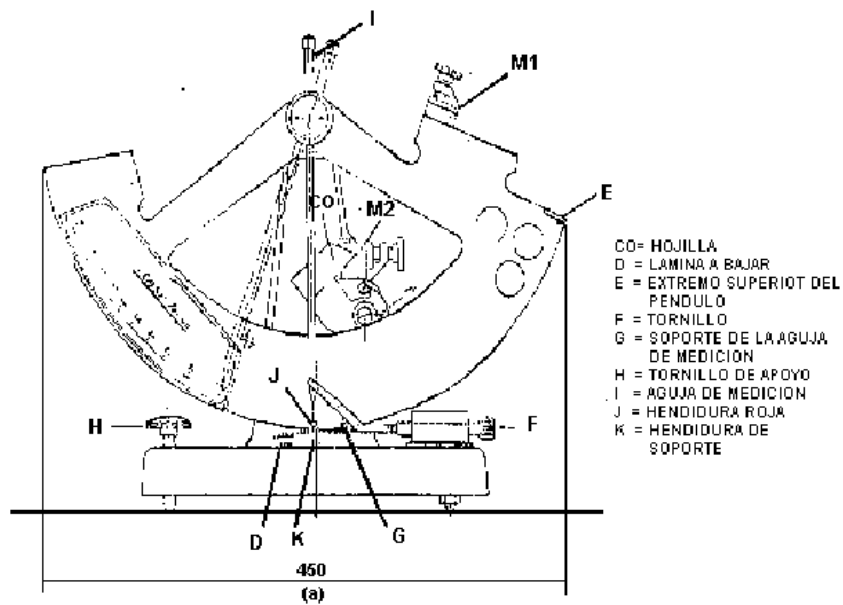


Figura 1. Aparato de péndulo

(A) Vista Frontal (B) Vista del equipo en la posición del ensayo

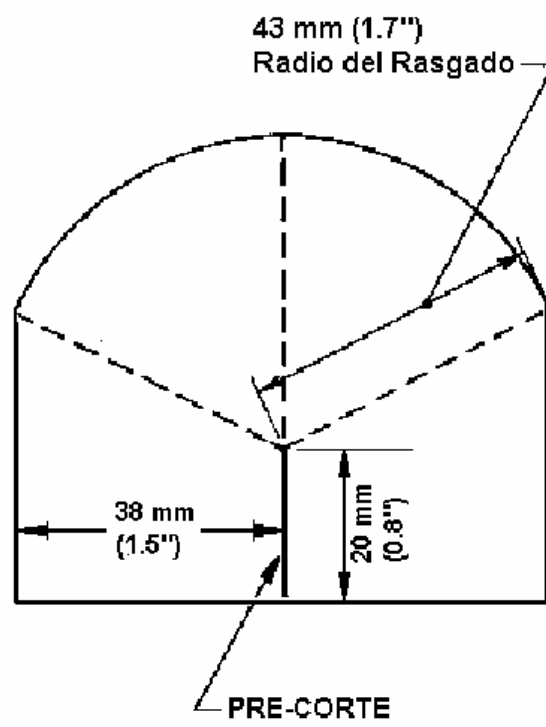


Figura 2. Probeta de ensayo

COVENIN
994:1998

CATEGORÍA
B

FONDONORMA
Av. Andrés Bello Edif. Torre Fondo Común Pisos 11 y 12
Telf. 575.41.11 Fax: 574.13.12
CARACAS

publicación de:



I.C.S: 55.040

ISBN: 980-06-2051-6

RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio.

Descriptores: Empaque, plásticos, resistencia, rasgado, películas plásticas, métodos de ensayo.

**NORMA
VENEZOLANA**

**COVENIN
1019:1999**

**PELÍCULAS Y LÁMINAS PLÁSTICAS
DELGADAS. DETERMINACIÓN DE
LAS PROPIEDADES TENSILES**

(2^{da} Revisión)



ASOQUIM

asociación venezolana de la
industria química y petroquímica



FONDONORMA

NORMA VENEZOLANA
PELÍCULAS Y LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS.
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TENSILES

COVENIN
1019:1999
(2^{da} Revisión)

1 OBJETO

1.1 Esta Norma Venezolana establece el método de ensayo para determinar las propiedades tensiles: límite de proporcionalidad, módulo de elasticidad, módulo secante, resistencia a la tracción, elongación, factor de ruptura; en películas plásticas y láminas delgadas de hasta 1 mm de espesor.

1.2 Para láminas con espesores mayores a 1 mm se debe utilizar la norma COVENIN 1357.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que, al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Venezolana. Las ediciones indicadas estaban vigentes para el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos con base en ellas que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente:

COVENIN 64:1996	Plásticos. Acondicionamiento de las muestras para los ensayos.
COVENIN 466:1994	Películas plásticas. Determinación del espesor.
COVENIN 930:1997	Empaques Flexibles Combinados. Determinación del ancho de películas.
COVENIN 1357-79	Plásticos. Determinación de las propiedades de esfuerzo.

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma se aplican las siguientes definiciones:

3.1 Película plástica: es una distribución plana de material polimérico lo suficientemente gruesa para mantener su consistencia, pero lo suficientemente delgada para poder ser flexible y capaz de doblarse; con espesores de hasta 0,35 mm.

3.2 Límite de proporcionalidad: es el mayor esfuerzo que el material puede soportar desde el inicio, sin mostrar ninguna desviación en la proporcionalidad del esfuerzo y la deformación (Ley de Hooke). Se expresa en fuerza por unidad de área, MPa.

3.3 Módulo de elasticidad: es un índice de la rigidez de la película plástica. Se define como la relación entre el esfuerzo aplicado y su deformación correspondiente, por debajo del límite de proporcionalidad del material. Se expresa en fuerza por unidad de área, MPa.

3.4 Módulo secante: es la relación entre el esfuerzo máximo y la deformación correspondiente en cualquier punto de la curva. Se expresa en fuerza por unidad de área, MPa.

3.5 Resistencia a la tracción: es el esfuerzo tensil que soporta una muestra en cualquier punto durante un ensayo de tensión. Si el esfuerzo de referencia se toma en el punto de fluencia se denomina resistencia a la tracción en la fluencia (σ_f), si se toma en el punto de ruptura se denomina resistencia a la tracción en la ruptura (σ_r).

3.6 Elongación: es la extensión de la probeta en cualquier punto de referencia; expresada como un porcentaje de la longitud inicial de ensayo. Los puntos típicos de referencia son los de fluencia y ruptura.

3.7 Punto de fluencia: es el primer punto de la curva esfuerzo-deformación en el que ocurre un incremento de la deformación sin un incremento en esfuerzo (véase Figura 1).

3.8 Punto de ruptura: es el punto de la curva esfuerzo-deformación en el cual se registra la ruptura del material (véase Figura 1).

3.9 Factor de ruptura: es la carga máxima que soporta la muestra con respecto al ancho inicial de la misma.

4 APARATOS

4.1 Máquina de ensayos: un equipo del tipo de velocidad constante de separación de mordazas que conste de lo siguiente:

4.1.1 Miembro fijo, esencialmente estacionario y provisto de una mordaza.

4.1.2 Miembro móvil, provisto de una segunda mordaza.

4.1.3 Mordazas, para sujetar la probeta entre el miembro fijo y el móvil. Las mordazas deben estar alineadas de forma tal que el eje longitudinal de la probeta coincida con la dirección de la carga aplicada en la línea central de las mordazas. Las mordazas deben garantizar que no exista deslizamiento de la probeta.

4.1.4 Mecanismo de movimiento, para impartir al miembro móvil una velocidad uniforme y controlada con respecto al miembro estacionario.

Nota 1: Indicador de elongación (extensiómetro), un instrumento opcional capaz de medir la distancia entre dos puntos ubicados dentro de la longitud con ancho constante en la parte central de la probeta.

4.1.5 Indicador de carga, un mecanismo capaz de indicar la carga soportada por la muestra cuando es sostenida por las mordazas. Este mecanismo debería, esencialmente, estar exento de retardos del movimiento por efecto de la inercia a la velocidad de ensayo establecida; y debería indicar la carga con una precisión de $\pm 1\%$ del valor indicado o más baja.

4.2 Micrómetro: con dial de peso muerto y una apreciación de $\pm 0,0010$ mm.

4.3 Regla graduada: con apreciación de 1 mm, o un aparato similar de longitud mayor al ancho de la película que se desea medir.

5 MATERIAL A ENSAYAR

5.1 El material a ensayar consiste de una muestra tomada de una película, limpia y libre de imperfecciones. Se toma una muestra en el sentido longitudinal y otra en el sentido transversal. Estas direcciones podrán determinarse por alguna característica visible de la película o conociendo su método de fabricación.

5.2 La probeta se cortará de la muestra en forma de tiras de 5 mm a 25 mm de ancho y no menos de 150 mm de longitud.

Nota 2: Para las determinaciones de módulo de elasticidad las probetas se cortarán en forma de tiras de 5 mm a 25 mm de ancho y no menos de 300 mm de longitud.

5.3 El número de las probetas depende del espesor de la muestra. Si el espesor es menor de 0,04 mm se deben tomar 10 probetas como mínimo, mientras que si el espesor es mayor de 0,04 mm se deben tomar 5 probetas como mínimo, en cada dirección.

5.4 El espesor de la muestra será el del material a ensayar.

6 ACONDICIONAMIENTO Y CONDICIONES DE ENSAYO

6.1 Todas las muestras deben ser acondicionadas a una atmósfera estándar de acuerdo con la norma COVENIN 64 (Procedimiento A).

Nota 3: Para efectos de control de proceso las determinaciones se pueden realizar sobre probetas sin acondicionamiento previo.

6.2 Los ensayos se deben realizar a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $50\% \pm 5\%$ de humedad relativa, a menos que se especifique otra cosa para el material a ensayar. En caso de desacuerdos entre las partes las tolerancias deben ser de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\pm 2\%$ de humedad relativa.

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Se cortan las probetas según las características a medir como se indica en el punto 5 de la presente norma, de tal manera que los bordes sean uniformes sin rebabas, ni cortaduras irregulares.

7.2 Se determina el espesor de la probeta, según el procedimiento de la norma COVENIN 466.

Nota 4: Se deben escoger aquellas probetas cuyos espesores no varíen en más de un 10 %.

7.3 Se determina el ancho de la muestra según el procedimiento de la norma COVENIN 930.

7.4 Se determina la sección transversal inicial con los valores obtenidos en los puntos 7.2 y 7.3, según la ecuación:

$$\text{área transversal} = \text{espesor} \times \text{ancho}$$

7.5 Utilizando un marcador de tinta indeleble o cualquier medio apropiado, se realizan dos marcas de referencias en la zona central de la probeta. Las dos marcas deben ser dos líneas paralelas, separadas por una distancia que depende de la elongación a la ruptura del material, como se indica en la Tabla 1.

7.6 Se fija la probeta entre las mordazas con una separación entre ellas de acuerdo a lo indicado en la Tabla 1. Se deben ajustar apropiadamente las probetas para evitar deslizamiento durante el ensayo.

Nota 5: Se debe tener el cuidado de que el eje longitudinal de la probeta se ubique verticalmente para no producir distorsiones en las medidas.

Nota 6: Si se dispone de un extensiómetro se debe colocar sobre las marcas realizadas en la probeta.

7.7 Se selecciona la velocidad de ensayo de acuerdo a lo especificado en la Tabla 1.

7.8 Se activa el mecanismo de separación de las mordazas.

7.9 Se grafica la curva de esfuerzo-deformación hasta la ruptura de la probeta, escogiendo la escala más adecuada que represente la curva con suficiente apreciación de la parte lineal inicial.

Nota 7: Las muestras que rompan en el interior de las mordazas o por algún defecto visible se deben rechazar y reemplazar por otras.

Tabla 1. Parámetros de ensayo de acuerdo con la elongación a la ruptura típica

Elongación hasta Ruptura (%)	Longitud de Ensayo (mm)	Separación de las Mordazas (mm)	Velocidad de Ensayo (mm/min)
< 20	125	145	12,5
Entre 20 y 100	100	120	50,0
> 100	50	70	500,0

En el caso de la determinación del módulo de elasticidad se utilizan los siguientes parámetros:

Longitud de Ensayo (mm)	Separación de las Mordazas (mm)	Velocidad de Ensayo (mm/min)
250	270	25,0

8 EXPRESIÓN DE RESULTADOS

8.1 La elongación se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$e = \frac{E L}{L_0} \times 100 = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100$$

donde:

- e: Es el porcentaje de elongación, expresada en porcentaje (%).
- E_L : Es la elongación, expresada en milímetros
- L_0 : Es la longitud inicial, expresada en milímetros.
- L_1 : Es la longitud final, expresada en milímetros.

8.2 La resistencia a la tracción σ se obtiene dividiendo la carga aplicada (F) en un punto de referencia dado, por la sección transversal inicial (S), según la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{S} \times 10^{-6}$$

donde:

- σ : Es la resistencia a la tracción, expresada en MPa.
- F: Es la carga aplicada en un punto, expresada en Newtons.
- S: Es la sección transversal inicial de la muestra ensayada, expresada en m^2 (calculada en el punto 7.4)

8.3 Para determinar el módulo de elasticidad (E) se traza una tangente a la porción lineal inicial de la curva esfuerzo-deformación y se divide el esfuerzo tensil por su deformación correspondiente en un punto dado sobre la misma (véase Figura 2a). El resultado se debe expresar en MPa.

8.4 Para determinar el módulo secante (S) se traza una tangente a la máxima pendiente en el punto de inflexión de la porción inicial de la curva esfuerzo-deformación, se extiende esta recta hasta intersectar el eje de las abscisas (o de deformación) y se toma este punto (B') como el punto corregido de deformación cero (Figura 2b). Usando este punto B' como deformación cero, el esfuerzo en cualquier punto de la curva (G') se divide por la deformación corregida en ese punto para obtener el módulo secante. El resultado se debe expresar en MPa.

8.5 El factor de ruptura se calcula dividiendo la máxima carga o esfuerzo soportado por la probeta entre el mínimo ancho original de la misma. El resultado debe ser expresado en MPa.

9 INFORME

El informe debe contener como mínimo lo siguiente:

- 9.1 Tipo de material ensayado y descripción.
- 9.2 Número de lote de producción.
- 9.3 Nombre del fabricante.
- 9.4 Espesor de cada muestra.
- 9.5 Ancho de la muestra.
- 9.6 Límite de Proporcionalidad.
- 9.7 Módulo de elasticidad.
- 9.8 Módulo secante.

9.9 Resistencia a la tracción en el punto de referencia.

9.10 Factor de Ruptura

9.11 Elongación en el punto de referencia

9.12 Nombre del operario.

9.13 Fecha del ensayo

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D 882-95a, "Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting"

Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Vol 7. 1985

Participaron en la revisión de esta norma: Acosta, María; González, Neil; Hernández, Otto; Herrera, Mauricio; Lamas, Nathaly; Maldonado, Alvaro; Rodríguez, Alfredo; Saavedra, Isidro.

COVENIN
1019:1999

CATEGORÍA
B

FONDONORMA
Av. Andrés Bello Edif. Torre Fondo Común Pisos 11 y 12
Telf. 575.41.11 Fax: 574.13.12
CARACAS

publicación de:



I.C.S: 83.140.10

ISBN: 980-06-2362-0

RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio.

Descriptores: Películas plásticas, módulo de elasticidad, límite de proporcionalidad, módulo secante, elongación.

APÉNDICE D
IMÁGENES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA PELÍCULA PARA LAMINACIÓN

En esta sección se presentan figuras e imágenes ilustrativas del proceso de coextrusión que permiten fácil comprensión e identificación.

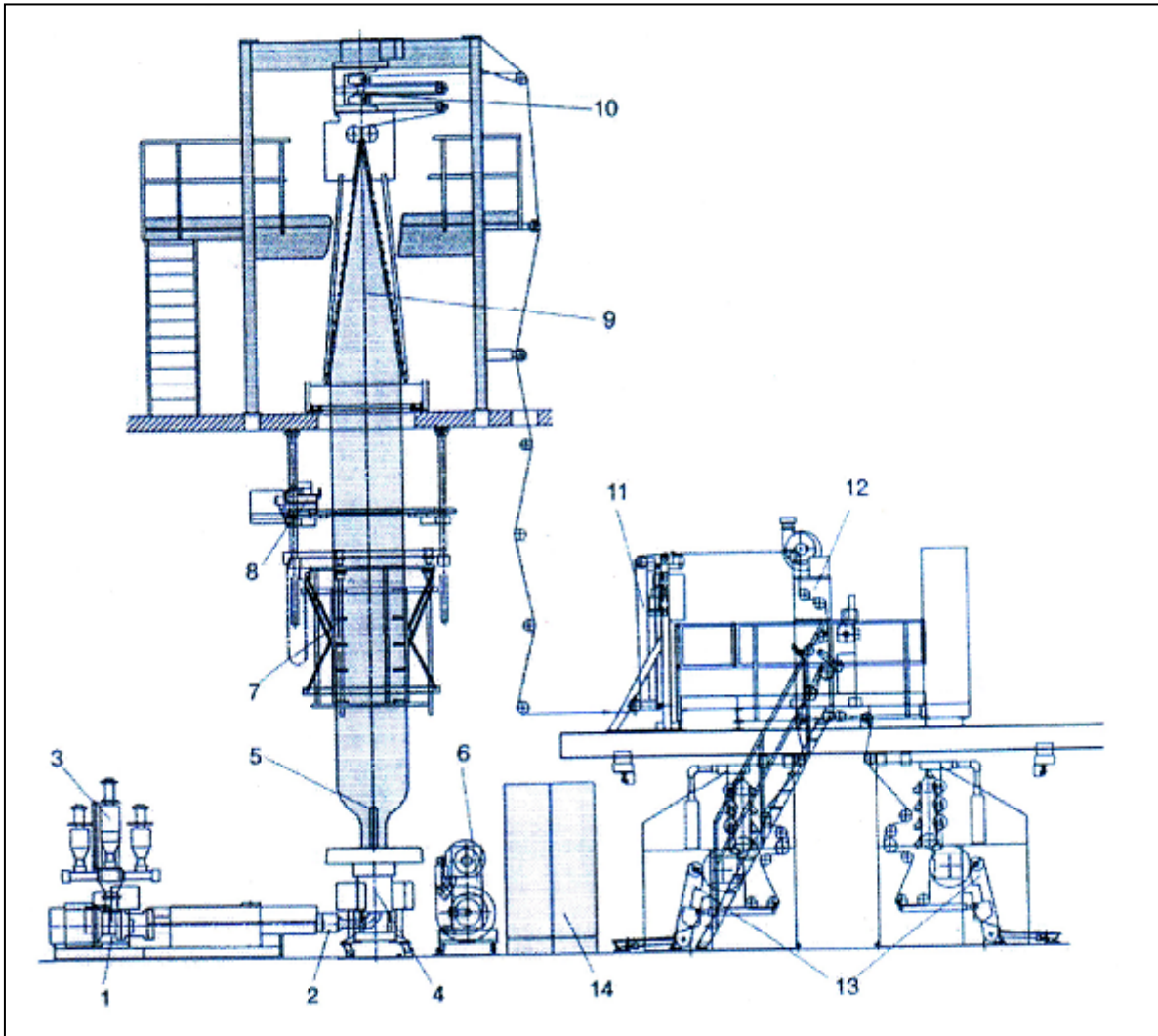


Figura D.1 Diagrama de la coextrusora Windmüller & Hölscher . Fuente: Windmüller & Hölscher, 2003

En la figura D.1 se muestran las partes de la coextrusora: 1: extrusoras, 2: conector, 3: dosificadores, 4: cabezal, 5: flauta, 6: turboventiladores, 7: cestas, 8: control láser de espesor, 9: colapsadores de película, 10: calandra, 11: tratador de corona, 12: refilador de película, 13: bobinadora doble, 14: panel de control.

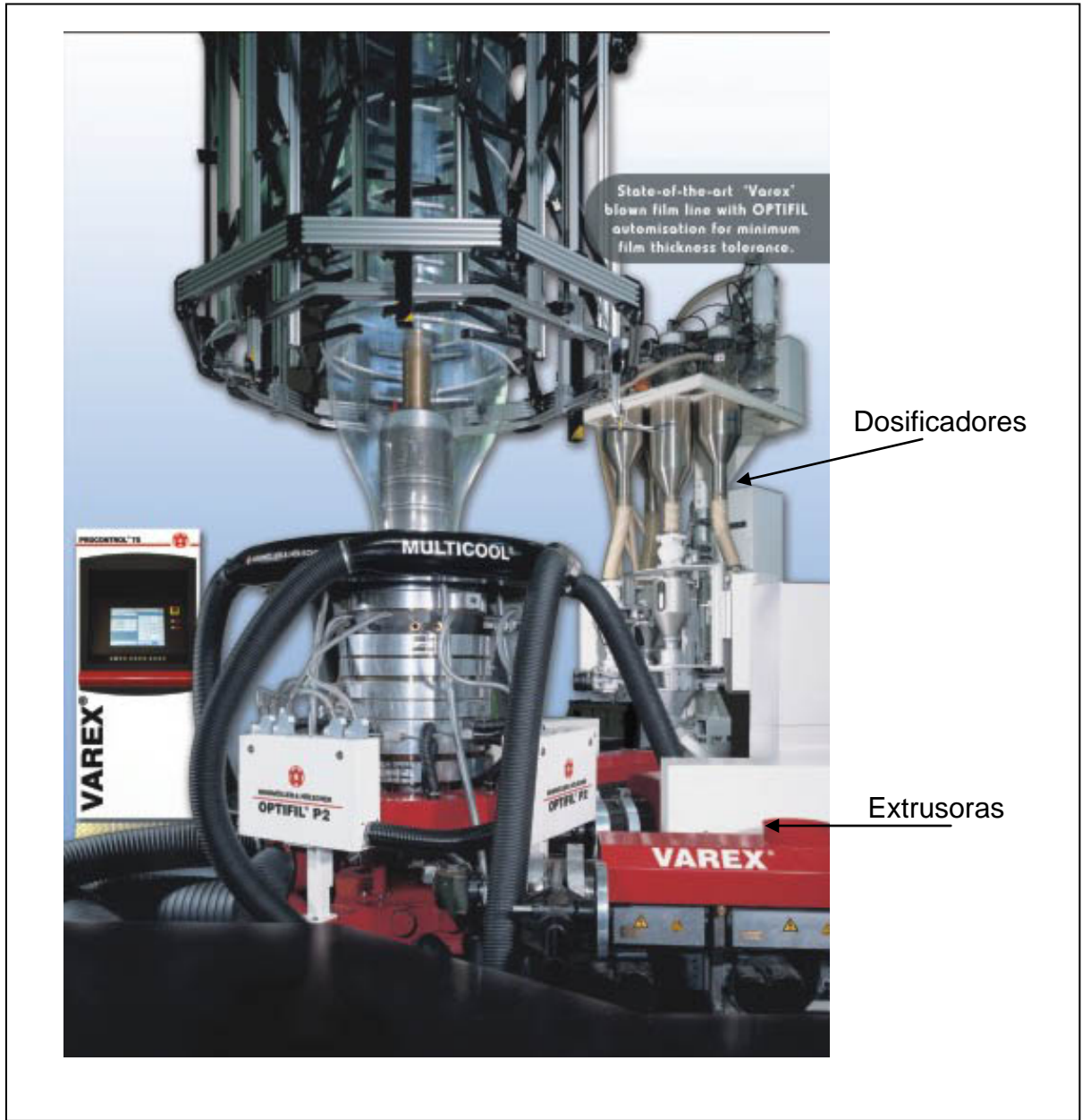


Figura D.2 Sección de extrusión y soplado de la película. Fuente: Windmüller & Hölscher, 2006



Figura D.3 Tren de extrusoras. Fuente: Windmöller & Hölscher, 2006



Figura D.4 Panel de control del proceso de coextrusión.
Fuente: Windmöller & Hölscher, 2006

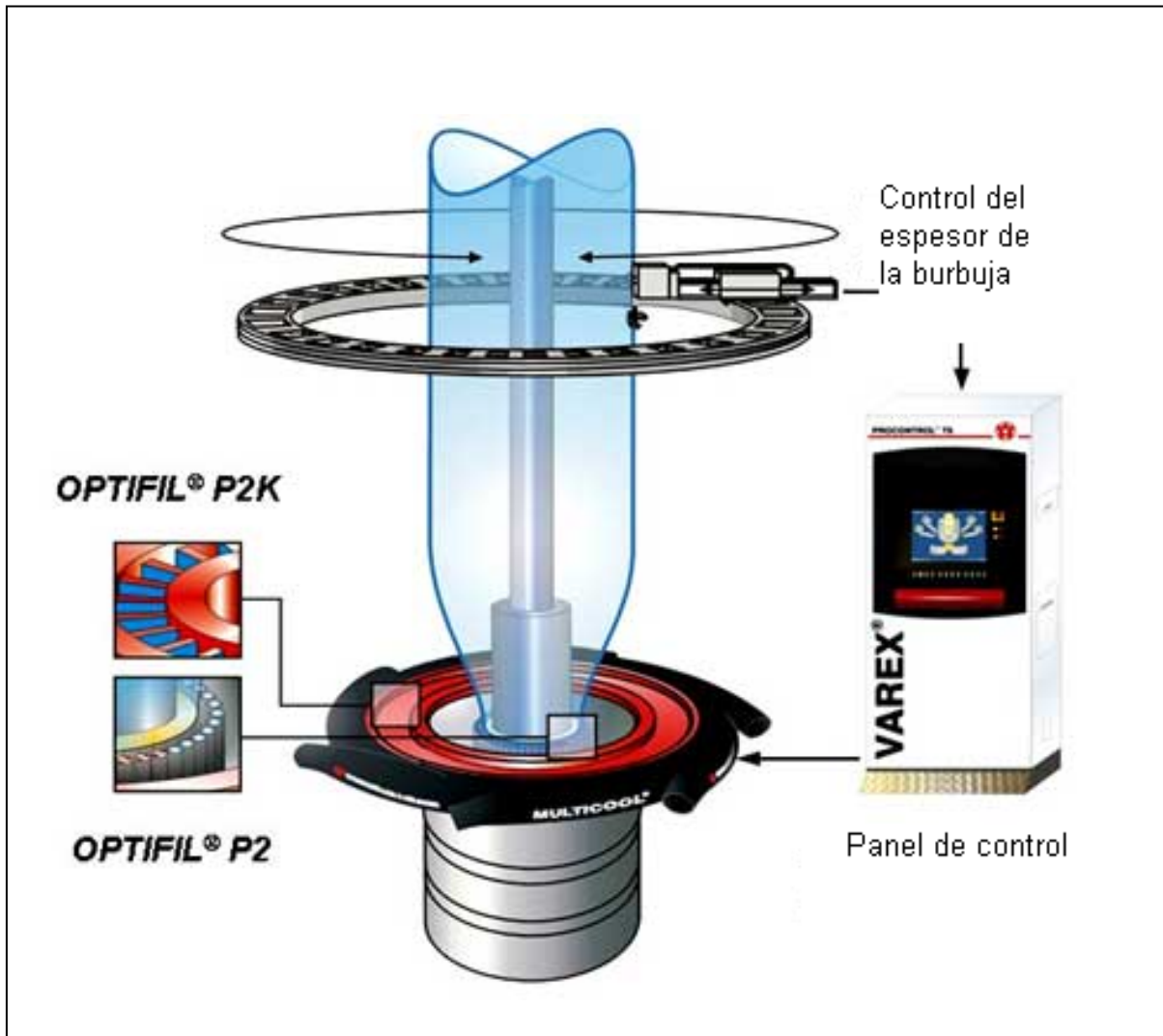


Figura D.5 Sistema de control del espesor Optifil Plus. Fuente: Windmüller & Hölscher, 2006



Figura D.6 Sistema de bobinadoras. Fuente: Windmüller & Hölscher, 2006

**APÉNDICE E
ENSAYOS REALIZADOS DE LAS PROPIEDADES MÉCICAS**

En esta sección se presentan todos los valores obtenidos para las diferentes corridas de los ensayos aplicados a las películas elaboradas con las estructuras estudiadas.

E.1 Coeficiente de fricción

A continuación se presentan los promedios resultantes de las corridas realizadas para un total de tres muestras tomadas, de cada una de las estructuras estudiadas.

TABLA E.1 VALORES DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO PARA LA ESTRUCTURA 1

Muestra	Coeficiente de Fricción Estático ($COF_E \pm 0,001$)	Coeficiente de Fricción Dinámico ($COF_D \pm 0,001$)
1	0,100	0,081
2	0,085	0,061
3	0,088	0,067

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas: 3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.2 VALORES DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO PARA LA ESTRUCTURA 2

Muestra	Coeficiente de Fricción Estático ($COF_E \pm 0,001$)	Coeficiente de Fricción Dinámico ($COF_D \pm 0,001$)
1	0,080	0,049
2	0,095	0,071
3	0,062	0,137

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas: 3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.3 VALORES DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO PARA LA ESTRUCTURA 3

Muestra	Coefficiente de Fricción Estático (COF_E± 0,001)	Coefficiente de Fricción Dinámico (COF_D± 0,001)
1	0,099	0,069
2	0,179	0,013
3	0,119	0,117

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas: 3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.4 VALORES DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DINÁMICO PARA LA ESTRUCTURA 4

Muestra	Coefficiente de Fricción Estático (COF_E± 0,001)	Coefficiente de Fricción Dinámico (COF_D± 0,001)
1	0,115	0,069
2	0,135	0,062
3	0,079	0,075

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas: 3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

E.2 Resistencia al rasgado

En esta sección se muestran los promedios resultantes de las corridas realizadas para un total de siete muestras tomadas, de cada una de las estructuras estudiadas.

TABLA E.5 VALORES DE RESISTENCIA AL RASGADO PARA LA ESTRUCTURA 1

Muestra	Resistencia al Rasgado Longitudinal		Resistencia al Rasgado Transversal	
	Peso: 800 gf		Peso: 1600 gf	
	(RRL ±0,1)%	(RRL±0,1)gf	(RRT ±0,1)%	(RRT±0,1)gf
1	32,8	262,4	55,6	889,6
2	27,8	222,4	45,2	723,2
3	47,7	381,6	47,7	763,2
4	33,7	269,6	47,7	763,2
5	46,1	368,8	44,8	716,8
6	43,3	346,4	55,4	886,4
7	46,5	372,0	55,2	883,2

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:7

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.6 VALORES DE RESISTENCIA AL RASGADO PARA LA ESTRUCTURA 2

Muestra	Resistencia al Rasgado Longitudinal		Resistencia al Rasgado Transversal	
	Peso: 800 gf		Peso: 1600 gf	
	(RRL ±0,1)%	(RRL±0,1)gf	(RRT ±0,1)%	(RRT±0,1)gf
1	48,3	386,4	48,3	772,8
2	40,1	320,8	52,4	838,4
3	44,2	353,6	59,9	958,4
4	42,7	341,6	59,1	945,6
5	29,0	232,0	52,0	832,0
6	40,7	325,6	59,5	952,0
7	45,4	363,2	58,7	939,2

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:7

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.7 VALORES DE RESISTENCIA AL RASGADO PARA LA ESTRUCTURA 3

Muestra	Resistencia al Rasgado Longitudinal		Resistencia al Rasgado Transversal	
	Peso: 800 gf		Peso: 1600 gf	
	(RRL ±0,1)%	(RRL±0,1)gf	(RRT ±0,1)%	(RRT±0,1)gf
1	23,7	189,6	44,2	720,2
2	22,1	176,8	45,2	723,2
3	20,2	161,6	40,5	690,5
4	29,3	250,0	41,7	700,2
5	21,2	163,2	50,8	795,5
6	20,2	161,6	55,6	889,6
7	22,1	176,8	45,2	723,2

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:7

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.8 VALORES DE RESISTENCIA AL RASGADO PARA LA ESTRUCTURA 4

Muestra	Resistencia al Rasgado Longitudinal		Resistencia al Rasgado Transversal	
	Peso: 800 gf		Peso: 1600 gf	
	(RRL ±0,1)%	(RRL±0,1)gf	(RRT ±0,1)%	(RRT±0,1)gf
1	23,7	189,6	48,8	764,2
2	22,1	176,8	48,3	763,9
3	20,2	161,6	58,0	929,6
4	24,2	200,8	49,6	794,3
5	19,3	153,6	60,4	964,8
6	23,0	184,0	64,0	985,6
7	27,1	220,8	56,6	890,5

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:7

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

E.3 Porcentaje de elongación

A continuación se muestran los promedios resultantes de las corridas realizadas para un total de siete muestras tomadas, de cada una de las estructuras estudiadas.

TABLA E.9 VALORES DE PORCENTAJE DE ELONGACIÓN PARA LA ESTRUCTURA 1

Muestra	Elongación Longitudinal ($E_L \pm 0,0001$)%	Elongación Transversal ($E_T \pm 0,0001$)%
1	689,7108	900,6718
2	698,1064	883,9123
3	676,5876	859,9881
4	682,2787	874,1234
5	645,8773	858,3531
6	587,8008	880,0211
7	570,3941	810,1910

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:7

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.10 VALORES DE PORCENTAJE DE ELONGACIÓN PARA LA ESTRUCTURA 2

Muestra	Elongación Longitudinal ($E_L \pm 0,0001$)%	Elongación Transversal ($E_T \pm 0,0001$)%
1	682,1605	868,3817
2	695,5500	909,8939
3	713,7892	889,3440
4	658,2598	871,7240
5	698,2723	851,7357
6	604,6086	830,9980
7	674,7795	896,3007

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:7

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.11 VALORES DE PORCENTAJE DE ELONGACIÓN PARA LA ESTRUCTURA 3

Muestra	Elongación Longitudinal ($E_L \pm 0,0001$)%	Elongación Transversal ($E_T \pm 0,0001$)%
1	639,2562	888,1952
2	663,9759	880,6261
3	678,0760	830,1474
4	659,2789	889,6563
5	696,8900	879,6563
6	679,0603	839,5533
7	713,0915	849,2743

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:7

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.12 VALORES DE PORCENTAJE DE ELONGACIÓN PARA LA ESTRUCTURA 4

Muestra	Elongación Longitudinal ($E_L \pm 0,0001$)%	Elongación Transversal ($E_T \pm 0,0001$)%
1	775,4042	983,6177
2	779,6133	893,9723
3	697,3285	936,3153
4	777,8237	912,3921
5	747,2006	899,0778
6	742,1522	952,0372
7	747,2285	919,7646

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:7

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

E.4 Impacto al dardo

En esta sección se presentan los promedios resultantes de las corridas realizadas para un total de tres muestras tomadas, de cada una de las estructuras estudiadas.

TABLA E.13 VALORES DE RESISTENCIA AL IMPACTO AL DARDO PARA LA ESTRUCTURA 1

Muestra	Resistencia al Impacto al Dardo (I_D± 1)g
1	307
2	310
3	304

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.14 VALORES DE RESISTENCIA AL IMPACTO AL DARDO PARA LA ESTRUCTURA 2

Muestra	Resistencia al Impacto al Dardo (I_D± 1)g
1	325
2	340
3	310

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.15 VALORES DE RESISTENCIA AL IMPACTO AL DARDO PARA LA ESTRUCTURA 3

Muestra	Resistencia al Impacto al Dardo (I_D± 1)g
1	340
2	325
3	340

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

TABLA E.16 VALORES DE RESISTENCIA AL IMPACTO AL DARDO PARA LA ESTRUCTURA 4

Muestra	Resistencia al Impacto al Dardo	
	(I _D ± 1)g	
1	340	
2	340	
3	340	

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas:3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

E.5 Temperatura mínima de sellado

Se presentan a continuación los promedios resultantes de las corridas realizadas para un total de tres muestras tomadas, de cada una de las estructuras estudiadas.

TABLA E.17 VALORES DE TEMPERATURA MÍNIMA DE SELLADO PARA LA ESTRUCTURA 1

Muestra	Temperatura (T±1)°C	Sellabilidad	
		Si	No
1	100	-	X
	110	X	-
	120	X	-
	130	X	-
	140	X	-
	150	X	-
2	100	-	X
	110	-	X
	120	X	-
	130	X	-
	140	X	-
	150	X	-
3	100	X	-
	110	X	-
	120	X	-
	130	X	-
	140	X	-
	150	X	-

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C Número de corridas: 3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

Presión entre los Cabezales (58 ±1)psi

Tiempo de sellado (0,5 ±0,1)s

TABLA E.18 VALORES DE TEMPERATURA MÍNIMA DE SELLADO PARA LA ESTRUCTURA 2

Muestra	Temperatura (T±1)°C	Sellabilidad	
		Si	No
1	100	-	X
	110	-	X
	120	-	X
	130	X	-
	140	X	-
	150	X	-
2	100	-	X
	110	-	X
	120	-	X
	130	-	X
	140	X	-
	150	X	-
3	100	-	X
	110	-	X
	120	-	X
	130	-	X
	140	-	X
	150	X	-

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C

Número de corridas: 3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

Presión entre los Cabezales (58 ±1)psi

Tiempo de sellado (0,5 ±0,1)s

TABLA E.19 VALORES DE TEMPERATURA MÍNIMA DE SELLADO PARA LA ESTRUCTURA 3

Muestra	Temperatura (T±1)°C	Sellabilidad	
		Si	No
1	100	-	X
	110	-	X
	120	-	X
	130	X	-
	140	X	-
	150	X	-
2	100	-	X
	110	-	X
	120	-	X
	130	X	-
	140	X	-
	150	X	-
3	100	-	X
	110	-	X
	120	-	X
	130	X	-
	140	X	-
	150	X	-

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C

Número de corridas: 3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

Presión entre los Cabezales (58 ±1)psi

Tiempo de sellado (0,5 ±0,1)s

TABLA E.20 VALORES DE TEMPERATURA MÍNIMA DE SELLADO PARA LA ESTRUCTURA 4

Muestra	Temperatura (T±1)°C	Sellabilidad	
		Si	No
1	100	-	X
	110	X	-
	120	X	-
	130	X	-
	140	X	-
	150	X	-
2	100	-	X
	110	X	-
	120	X	-
	130	X	-
	140	X	-
	150	X	-
3	100	-	X
	110	X	-
	120	X	-
	130	X	-
	140	X	-
	150	X	-

Temperatura ambiente: (25,0±0,5)°C

Número de corridas: 3

Presión ambiente: (711,00 ±0,05) mmHg

Presión entre los Cabezales (58 ±1)psi

Tiempo de sellado (0,5 ±0,1)s

APÉNDICE F PROBADOR DE SELLADO EN CALIENTE

En esta sección se muestra la maquina de sellado en caliente, la cual se utiliza para determinar la resistencia al sellado.

El HTH2 es el analizador de sellado en caliente del mercado y se utiliza para probar la resistencia del sellado en caliente en la industria del envase flexible. El HTH2 es el único analizador de sellados que cumple con la norma ASTM F 1921-98 método A.

El HTH2 es en realidad cuatro máquinas en una, con funcionalidad para: sellar en puntos, sellar con calor y probar resistencia, o resistencia al descascarado de sellados con calor en laminados, El HTH2 tiene la mejor precisión de tiempo y temperatura en el mercado, dando como resultado una sorprendente capacidad de simulación para una máquina comercial.

El HTH2 tiene características de calibración automática de temperatura, presión y tiempo de sellado. La temperatura de las matrices está controlada $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ y los circuitos de tiempo tienen precisión de ± 2 milisegundos. Con el HTH2 se pueden realizar los dos ensayos de sellado por puntos y de resistencia. Los resultados se muestran en forma gráfica y numérica en el monitor que viene con el controlador de computadora suministrado con cada instrumento. La operación del HTH2 es automática desde el inicio hasta el final. (Dynisco 2006)

HOT TACK HEATSEALER

D A T A S H E E T

The Dynisco Hot Tack Heatsealer is four machines in one.

- > **Hot Tack**
- > **Heatsealing**
- > **Heatsealing & Ultimate Strength**
- > **Peel Strength of Heatseals or Laminations**

Depending on mode selected from the computer menu, the machine automatically configures itself to perform any of the following tests: Hot Tack (ASTM F1921), Heatsealing, Heatsealing and Ultimate Strength, or Peel Strength of Heatseals or Laminations.

This machine is a generation more advanced than other HotTack machines in timing precision (timing accuracy of ± 2 ms), temperature accuracy with automatic calibration ($\pm 0.2^\circ\text{C}$), and commercial machine simulation capability. Making the Dynisco Hot Tack Heatsealer the most versatile system available for film seal strength testing.

The Hot Tack Test

"Hot Tack" is the strength of a hot seal measured at a specified time interval after completion of the sealing cycle but prior to the temperature of the seal reaching ambient. Operation of the Dynisco hot tack machine is automatic from start to finish. It positions the sample between the dies, closes the dies on the sample for a dwell time set in milliseconds (applying pre-set temperature and pressure) and removes the sealed strip instantaneously upon opening of the hot dies. The strip is transferred to an adjacent position where the seal is enveloped in low-pressure air of ambient temperature during the peeling (and cooling) phase. The computer starts the peeling process immediately (no "time delay" is needed). Peel rate is usually set to pull the seal apart in less than 1 second, although other rates can be selected. During the peel the computer measures and records the peeling force continuously, which is then plotted on the monitor as the cooling curve (see chart) of the material.



Graphical Outputs:

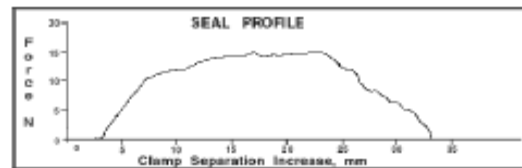
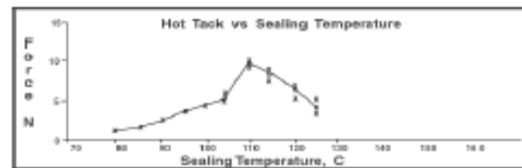
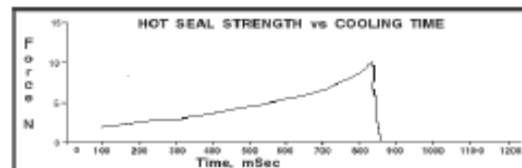


Figura F.1 Ficha técnica de la probadora de sellado en caliente HTH2. Fuente: Dynisco, 2006

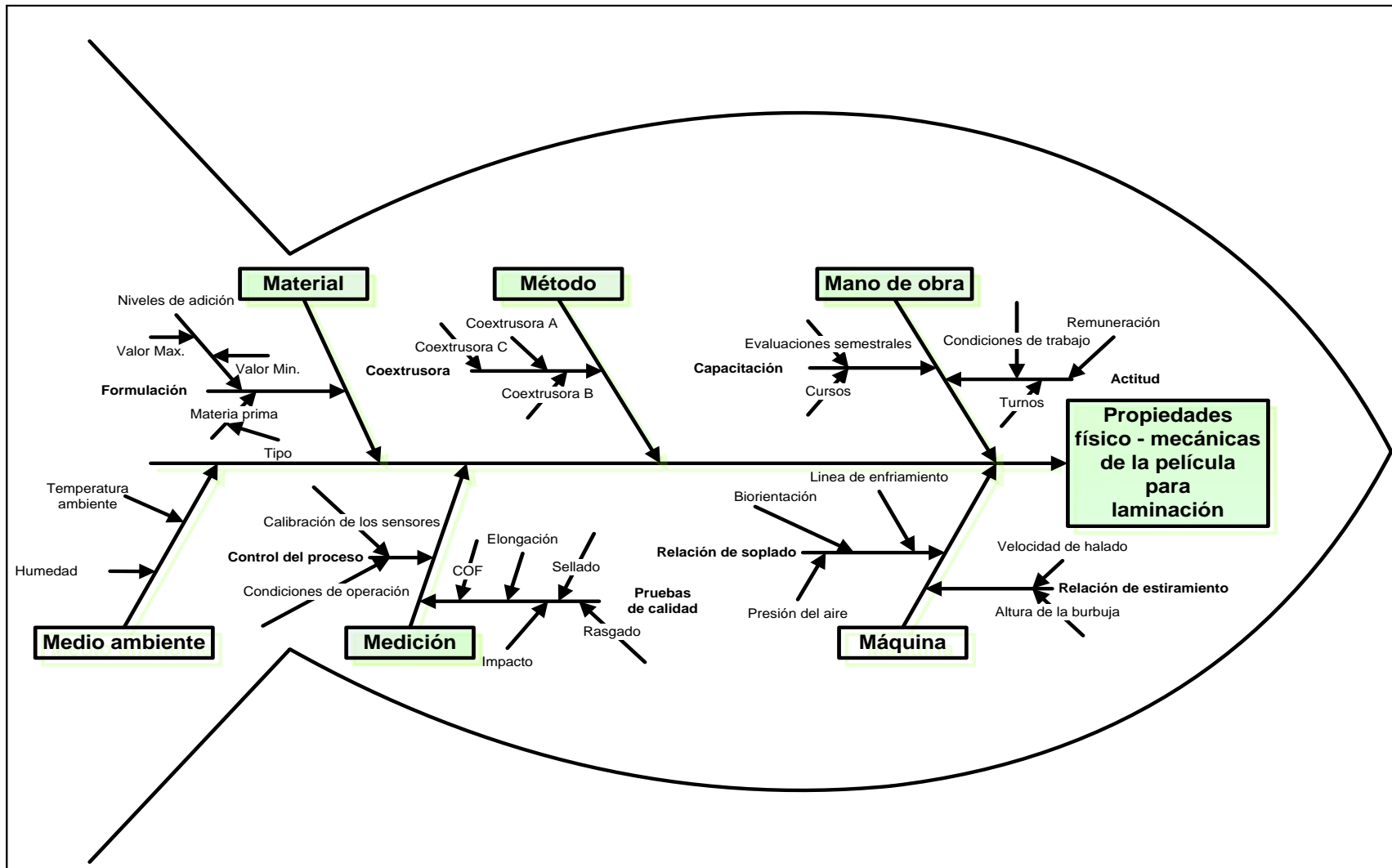


Figura 4.3 Diagrama de causa – efecto general de las propiedades físico-mecánicas de la película coextruída para laminación. Fuente: Propia

