



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES DE CALIDAD INVOLUCRADAS EN LA  
OBTENCIÓN DE PELÍCULAS COEXTRUIDAS DE POLIETILENO  
LINEAL DE BAJA DENSIDAD DE LA EMPRESA  
PLÁSTICOS DE EMPAQUE C.A**

**Tutor Académico:**

Prof. Vanessa Altomare

**Tutor Empresarial:**

Ing. Bibian Terán

**Autores:**

ARRIENS, Andrea

LOAIZA, Nayleth

**VALENCIA, Octubre de 2008**

---

---

## INTRODUCCIÓN

El polietileno es el polímero más simple, de cadena lineal no ramificada. Además es químicamente inerte y puede moldearse a casi cualquier forma. Se obtiene de la polimerización del etileno. Entre la clasificación del polietileno se encuentran el de baja densidad, lineal de baja densidad y el de alta densidad. El polietileno empleado para la fabricación de la película evaluada fue el lineal de baja densidad, que es un polímero ramificado, sólido mas o menos flexible, buen aislante eléctrico, ligero, de gran resistencia mecánica y química (Chow, 2008 y Enciclopedia Microsoft Encarta, 2008).

Las variables de calidad tienen gran importancia, debido a que con ellas se logra un control de las propiedades mecánicas de las películas en el proceso, las cuales determinan si dichas películas cumplen con los requerimientos exigidos por el cliente. Las propiedades mecánicas, son aquellas que indican el comportamiento de un material sólido, bajo la acción de fuerzas externas (Enciclopedia Microsoft Encarta, 2008).

El propósito del estudio consistió, en la evaluación de las variables de calidad involucradas en la obtención de películas coextruídas de polietileno lineal de baja densidad, para poder lograr el control de las variables que afectan las propiedades mecánicas.

Esta investigación surgió, con la necesidad de disponer de mayor información sobre las tecnologías de coextrusión y polímeros, ya que existen pocas publicaciones sobre estos tópicos. Además que la coextrusión de polímeros en América Latina, durante los últimos años ha tenido un auge significativo en el número de aplicaciones y demanda de productos, por lo que con esta investigación, se abre nuevas oportunidades al conocimiento y futuras investigaciones sobre esta última tecnología de crecimiento sostenido.

---

---

**RESUMEN**

La presente investigación tuvo como objetivo principal la evaluación de las variables de calidad involucradas en la obtención de películas coextruídas de polietileno lineal de baja densidad, con el fin de lograr el control de las variables que afectan las propiedades mecánicas. La metodología de elaboración de las películas plásticas fue el proceso de coextrusión, la realización de cada uno de los ensayos para la evaluación de las propiedades mecánicas fue la establecida de acuerdo a las Normas Venezolanas de películas plásticas. El desarrollo experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Aseguramiento de la Calidad de la empresa Plásticos de Empaque C.A. Las propiedades medidas durante la evaluación de la película coextruida fueron: coeficiente de fricción, impacto al dardo, resistencia al rasgado y porcentaje de elongación. Debido a las pérdidas de producto terminado ocasionadas por la variación de las propiedades mecánicas, se realizó un estudio evaluativo de dichas propiedades con respecto a las variables de calidad más relevantes. A través de un análisis estadístico se obtiene el comportamiento de las propiedades mecánicas y con este se establecen las posibles alternativas que logran una mejora de estas propiedades. Finalmente, se estimó la factibilidad económica de las alternativas seleccionadas. Entre los resultados más importantes, se encuentra que para la resistencia a la tensión transversal del lote de fabricación 1, no todos los valores satisfacen el parámetro de calidad que es  $>212 \text{ Kg./cm}^2$ , debido a variaciones puntuales de espesor a lo largo de la probeta. En cuanto a las conclusiones más relevantes obtenidas se destacan, las causas más influyentes que afectan a las variables de calidad de las películas coextruídas son medición – ambiente y que las películas coextruidas presentaron variaciones puntuales de espesor para los lotes de fabricación evaluados.

**Palabras claves:** Variación, Propiedades mecánicas, Película coextruída, Calidad, Polietileno.

---

---

**AGRADECIMIENTOS**

A **Dios**: por otorgarnos la vida que nos permite vivir para pensar; pensar para sentir; sentir para soñar y lograr; soñar y lograr para nuestra satisfacción propia y la de los seres a quienes amamos.

A **nuestros padres**: porque ellos dieron todos sus recursos espirituales y materiales soñando cada día, con el logro de nuestra meta de estudio que hoy culmina.

A la **Prof. Vanesa Altomare**: por su excelente guía tutorial porque sin ella no hubiésemos podido perfeccionar y desarrollar nuestro trabajo de grado.

A la **Ing. Bibian Terán**: ella puso en nuestras mentes ejemplos prácticos y palpables para desarrollar el trabajo de la tesis.

A nuestros **compañeros de Plásticos de Empaque C.A** quienes nos ayudaron a aclarar nuestras dudas y apoyarnos para lograr nuestro propósito: Huguito, Irunu, Johana, Dennis, Miguel, Sanabria, Leonardo y todo el grupo que nos ayudo en la tarea.

A **nuestros amigos**: Chomi, Sandra, Darío y Humberto; ellos por siempre estarán presentes en nuestro pensamiento; sirvieron de gran soporte para culminar con éxito nuestro objetivo.

**Andrea y Nayleth**

ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1.1 Diagrama de bloques general del proceso de coextrusión.....	4
2.1 Estructura de un polímero.....	10
2.2 Estructura del polietileno.....	11
2.3 Molécula de polietileno ramificado.....	12
2.4 Molécula de polietileno lineal.....	13
2.5 Diseño genérico de una extrusora.....	15
2.6 Diagrama de un proceso de extrusión.....	16
2.7 Proceso de coextrusión.....	17
2.8 Laminado en caliente/cinta.....	20
2.9 Laminado por llama.....	21
2.10 Laminado en calandria.....	22
2.11 Extrusión de laminas.....	23
3.1 Generación de la hoja de trabajo.....	33
3.2 Selección de las graficas matriz.....	33
3.3 Introducción de variables.....	34
3.4 Gráfica matriz rasgado transversal promedio en función de días, temperatura R y espesor R.....	34
3.5 Creación de un nuevo problema.....	37
3.6 Creación del árbol de criterios.....	37
3.7 Edición de alternativas.....	38
3.8 Matriz de puntuación.....	39
3.9 Matriz de resultado.....	40
3.10 Gráfico de la matriz de resultado.....	40
4.1 Diagrama causa-efecto del proceso de coextrusión de las películas de polietileno lineal de baja densidad.....	44
4.2 Diagrama causa-efecto depurado del proceso de coextrusión de las películas de polietileno lineal de baja densidad.....	45
	49

	<b>Pag.</b>
4.3 Porcentaje de elongación longitudinal en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	49
4.4 Porcentaje de elongación transversal en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	50
4.5 Coeficiente de fricción estático cara no tratada en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	51
4.6 Coeficiente de fricción estático cara tratada en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	52
4.7 Coeficiente de fricción dinámico cara no tratada en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	53
4.8 Coeficiente de fricción dinámico cara tratada en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	53
4.9 Tensión longitudinal en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	54
4.10 Tensión transversal en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	55
4.11 Impacto al dardo en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	56
4.12 Rasgado longitudinal promedio en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	57
4.13 Rasgado transversal promedio en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.....	57
4.14 Porcentaje de elongación longitudinal en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.....	58
4.15 Porcentaje de elongación transversal en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.....	59
4.16 Coeficiente de fricción estático cara no tratada en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.....	60
4.17 Coeficiente de fricción estático cara tratada en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
4.18 Coeficiente de fricción dinámico cara no tratada en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.....	61
4.19 Coeficiente de fricción dinámico cara tratada en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.....	62
4.20 Tensión longitudinal en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.....	63
4.21 Tensión transversal en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.....	63
4.22 Impacto al dardo en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.....	64
4.23 Rasgado longitudinal promedio en función de día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.....	65
4.24 Normalización por fracción ideal.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
4.1 Comparación entre las técnicas de cast y blown film.....	45
4.2 Valoración de los criterios empleados para la selección de alternativas.....	66
4.3 Matriz de resultados para la selección de alternativas empleando el método de normalización por fracción ideal.....	66
4.4 Información de costos, pedidos y rango de devolución mensual.....	67
4.5 Cantidad de bobinas pedidas y porcentaje de pérdida de los productos mensual.....	68
4.6 Valores de inversión, beneficios y costos para la implementación de las alternativas	69
4.7 Relación beneficio – costo.....	69
C.1 Especificaciones preliminares del lote de fabricación 1.....	123
C.2 Especificaciones preliminares del lote de fabricación 2.....	124
C.3 Materias primas utilizadas para cada capa de la película coextruída en los lotes de fabricación 1 y 2.....	125
C.4 Ficha técnica del polietileno de baja densidad 3003.....	126
C.5 Ficha técnica del polietileno de baja densidad 1110.....	127
C.6 Ficha técnica del polietileno de baja densidad 11Q4.....	128
C.7 Ficha técnica del polietileno de baja densidad FA-0240.....	129

ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	1
CÁPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Situación actual.....	5
1.2.2 Situación deseada.....	5
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Justificación.....	6
CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL.....	7
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Polímero.....	10
2.3 Polietileno.....	10
2.4 Procesos de obtención de las películas plásticas.....	14
2.5 Aditivos utilizados en las películas plásticas.....	23
2.6 Propiedades mecánicas.....	25
2.7 Calidad.....	27
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	30
3.1. Tipo de Investigación.....	30
3.2. Desarrollo de la investigación.....	30
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS.....	72
APÉNDICE A: Normas COVENIN.....	76
APÉNDICE B: Cálculos asociados al análisis económico .....	118
APÉNDICE C: Especificaciones y materias primas de los lotes de fabricación 1 y 2.....	122

# ÍNDICE GENERAL

---

---



## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

*En este capítulo se plantea el problema a tratar, orientándolo desde su situación actual y proyectándolo hasta la situación deseada, con la finalidad de precisar los objetivos generales y específicos que permitan la solución del problema planteado; además se describe la importancia que tiene la realización de este trabajo tanto para Plásticos de Empaque C.A, como para las autoras del mismo.*

#### **1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

Plásticos de Empaque C.A, es una empresa manufacturera que fue creada para proveer de insumos plásticos al mercado industrial de Venezuela y otros países; ésta ubicada en la Zona Industrial Norte de Valencia, Estado Carabobo.

Plásticos de Empaque C.A, cuenta con un mercado nacional e internacional para la fabricación de rollos, bolsas, sacos, hojas, mangas y sacos con válvulas mono o coextruidos en polietileno. La planta de producción tiene una capacidad de transformación de 11.000 toneladas anuales en películas de polietileno, cuya producción se inició a mediados de 1.986.

Actualmente la empresa atiende el 10% del consumo total de películas de polietileno lineal de baja densidad a nivel nacional. Plásticos de Empaque C.A, es cliente potencial de Polinter (proveedor de polietileno de Venezuela) en el campo de película de polietileno. En la gama de productos de Plásticos de Empaque C.A. se tienen los siguientes rubros:

- ✓ Rollos en hojas embozados para la industria del caucho.
- ✓ Rollos en hojas termoencogibles para la industria alimenticia, bebidas, etc.
- ✓ Rollos en hojas extensibles tipo stretch.
- ✓ Rollos para la agricultura
- ✓ Rollos tubulares coextruidos con fuelle lateral, embozados e impresos para sistemas automático del tipo FFS para la industria petroquímica.
- ✓ Bolsas para colchones sueltas o en rollos precortados.

## ***PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA***

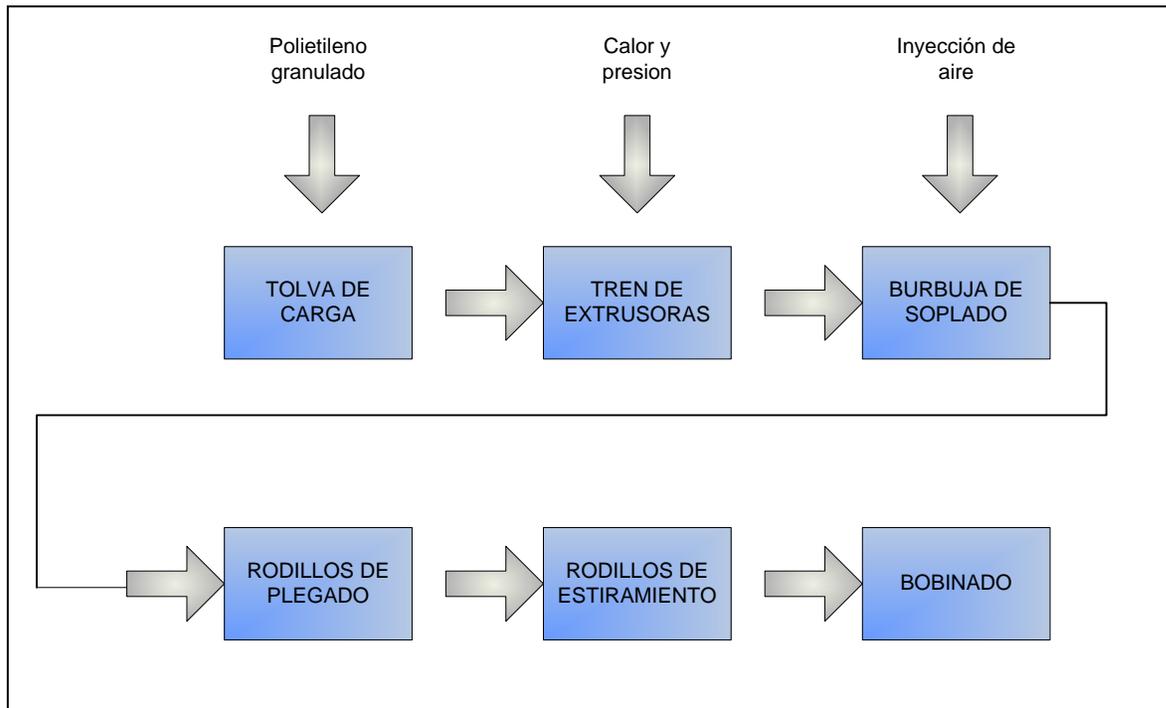
---

- ✓ Bolsas para paletas normales o termoencogibles, sueltas o en rollos precortados.
- ✓ Bolsas de uso general (azúcar, hielo, fertilizantes, productos químicos, etc.)
- ✓ Bolsa con sellado tipo estrella.
- ✓ Sacos industriales.
- ✓ Sacos con válvulas.
- ✓ Sacos con sellado rectangular.
- ✓ Bolsas para ser usadas en el súper saco cementero llamadas linner, las cuales son una camisa protectora de PEBD (polietileno lineal de baja densidad).

Estos productos pueden ser fabricados por extrusión o por coextrusión, pueden ser suministrados en polietileno de alta, lineal o baja densidad; los rollos de bolsa pueden ser fabricados en transparentes o pigmentados, impresos o sin impresión. Las bolsas pueden ser suministradas sueltas o en rollos precortados.

Como parte de su programa de calidad total, Plásticos de Empaque C.A. lleva un control estadístico para toda la producción, partiendo de la materia prima hasta obtener el producto final, proceso por proceso y rollo por rollo. Se controlan las variables de calidad más importantes como grado de fluidez de la materia prima, dimensiones, tolerancia de ancho, largo y espesor, resistencia al impacto, resistencia al rasgado, brillo, transparencia, bloqueo, perforado, sellado y precorte. Se controla e identifica sus productos en procesos y terminados. Estos parámetros antes señalados cumplen con las normas internacionales ASTM (American Society for Testing and Materials) de Estados Unidos y COVENIN (COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES) de Venezuela.

La película a estudiar es realizada por un proceso de coextrusión como se puede observar en la figura 1.1, que es la extrusión simultánea de más de un tipo de polímero para obtener un producto laminado. Esto requiere de un extrusor separado para cada mezcla de polímeros. El producto se forma de capas múltiples, la técnica permite obtener productos con propiedades diferentes en cada lado por lo común en el interior y en el exterior.



**Figura 1.1** Diagrama de bloques general del proceso de coextrusión.

Fuente: Morton, 1993.

Las películas coextruídas de polietileno lineal de baja densidad obtenidas al final del proceso, presentan variación en algunas de sus propiedades mecánicas. Teniendo en cuenta esta situación, y en búsqueda de ofrecer un producto de mayor calidad, que responda a las necesidades de un mercado dinámico, se plantea como estrategia un control estadístico de dichas variaciones, obteniendo mejoras en el proceso.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la empresa Plásticos de Empaque C.A. sufre pérdidas de producto terminado consecuencia de la variación de sus propiedades mecánicas.

De acuerdo a esta situación se plantea el establecimiento de las variables de calidad en la obtención de películas coextruídas, con el objeto de ofrecer al mercado un producto competitivo y de alta calidad.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

---

### **1.2.1 Situación actual**

Hoy en día la empresa Plásticos de Empaque C.A. productora de películas coextruídas de polietileno, presenta variaciones significativas en algunas de las propiedades mecánicas del producto en su proceso final, estas variaciones son de envergadura en cuanto al impacto final al cliente.

### **1.2.2 Situación deseada**

Se cuenta con un estudio correlacional en la calidad de las variables del proceso de fabricación, basado en un análisis de las propiedades mecánicas y operacionales involucradas en el proceso de construcción del polímero.

En cuanto al alcance, se determinaron las variables más relevantes que afectaron el proceso a nivel operacional y de laboratorio para lograr establecer un control adecuado de las mismas, de acuerdo a los requerimientos y disponibilidad de la empresa.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar las variables de calidad involucradas en la obtención de películas coextruídas de polietileno lineal de baja densidad de la empresa Plásticos de Empaque C.A, con el fin de lograr el control de las variables que afectan las propiedades mecánicas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Identificar las variables que afectan las propiedades mecánicas en el proceso de coextrusión, a objeto de estudiar su comportamiento en función del tiempo.
2. Determinar las causas más influyentes que afectan las variables de calidad de las películas coextruídas a fin de conocer las condiciones actuales del proceso.
3. Evaluar el comportamiento de las variables que mas influyen sobre las propiedades mecánicas a fin de establecer el análisis correlacional asociado a las mismas.
4. Selección de la alternativa técnicamente apropiada a fin de mejorar la calidad del proceso.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

---

5. Determinar la factibilidad económica de la alternativa planteada con la finalidad de determinar su viabilidad.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Esta investigación surgió, con la necesidad de disponer de mayor información sobre las tecnologías de coextrusión y polímeros, ya que existen pocas publicaciones sobre estos tópicos. Además que la coextrusión de polímeros en América latina, durante los últimos años ha tenido un auge significativo en el número de aplicaciones y demanda de productos, por lo que con esta investigación, se abre nuevas oportunidades al conocimiento y futuras investigaciones sobre esta última tecnología de crecimiento sostenido.

Como aporte a nivel industrial, se podrían llevar a cabo cambios en el producto final del proceso que generarían confianza en los clientes, lo que originaría mayor satisfacción y aceptación del producto en el mercado, lo cual es beneficioso y vital para la empresa.

Entre las implicaciones prácticas estaba el hecho de dar resultados que permitan determinar que el producto elaborado, presente un mejor comportamiento de sus propiedades mecánicas, manteniéndose dentro del rango de calidad exigido por el cliente.

---

---

## **CAPITULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

*En esta sección se muestran los antecedentes, así como también los fundamentos teóricos que sustentan la investigación.*

#### **2.1 ANTECEDENTES**

Jaimes, Johanna y Kremesis, Alejandra, (2007): Evaluación del copolímero de hexeno como sustituto del copolímero de octeno en la película coextruída en la empresa Plásticos de Empaque C.A. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

El objetivo de esta investigación consistió en 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 seleccionar la fórmula adecuada que cumpla con dichas especificaciones se realiza un análisis de las propiedades mecánicas de las películas. Como conclusión relevante se tiene que por medio de un análisis comparativo se seleccionó la formulación más factible que generó ahorros en los gastos, aumentando así los ingresos anuales por concepto de películas plásticas para laminación.

Entre las principales similitudes se tiene que se desea obtener un producto que cumpla con la disminución de pérdidas. La diferencia de esta investigación consta en que se trata la sustitución de una materia prima.

Bertrand Joachim, Kirchner Lutz y Schill Steffen, (2006): Mejora de la eficiencia de extrusión de compuestos de TPE-V. Revista Plásticos Universales, N° 113.España.

En el presente artículo se plantean mejoras de las propiedades de extrusión añadiendo aditivos de proceso especialmente diseñados. Entre los resultados más relevantes se encuentra que las propiedades físico mecánicas muestran una influencia limitada del aditivo en las propiedades del producto final.

## MARCO REFERENCIAL

---

En cuanto a la similitud con la presente investigación es establecer mejoras sustanciales del proceso que se va a llevar a cabo. La diferencia es que los estudios en este trabajo no se realizan para ver el comportamiento de las propiedades mecánicas.

Castañeda, Jesús David y Vásquez, Alejandro, (2006): Ingeniería de innovación aplicada a empresa productora de empaques flexibles en polietileno de alta y baja densidad y de propileno, con impresión y sin impresión. Revista Redalyc, julio-diciembre, N° 027. Colombia.

Este artículo tiene como finalidad presentar los resultados obtenidos al aplicar los métodos o técnicas de innovación determinados en la investigación ``Ingeniería de innovación para Pyme Metalmecánica. El análisis se centra en dos variables que afectan significativamente el proceso y la productividad de la empresa: el desperdicio mensual y el tiempo improductivo mensual. Entre las conclusiones mas relevantes se encuentra que al realizar algunos de los planes de acción, apoyados por la alta gerencia, los resultados obtenidos se reflejaron en el producto final.

La similitud con la investigación que se va a llevar a cabo, esta en la propuesta e implementación de acciones correctivas para optimizar el proceso productivo. La diferencia esta en que el articulo se trabaja con polietileno de alta y baja densidad.

Lisperguer, J. H. y Solís, M. E., (2005): Resistencia al impacto y a la tracción de materiales compuestos plástico madera. Información tecnológica. Vol. 16, p. 21-25.

Este artículo presenta una descripción detallada sobre el efecto de harina de madera sobre las propiedades mecánicas de materiales compuestos polietileno o polipropileno madera. Estas mezclas se realizan en un equipo extrusor de laboratorio de tornillo simple, fabricando probetas de ensayo donde se miden la resistencia al impacto y la resistencia a la tracción. Como conclusión general se obtiene que las propiedades mecánicas analizadas disminuyen a medida que aumenta la composición de madera en los compuestos con respecto a la de los polímeros puros.

## MARCO REFERENCIAL

---

La similitud con el trabajo en desarrollo radica en que en ambos se evalúan las propiedades mecánicas de un compuesto polimérico. La diferencia con el trabajo actual es que en el mismo se van a evaluar en función del tiempo.

Mota, José, (2004): Mejoramiento de las características de la película coextruída stretch por blown film en la empresa Plásticos de Empaque C.A. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

El objetivo de este trabajo es de mejorar las características de la película coextruída stretch por blown film en la empresa Plásticos de Empaque C.A, mediante la identificación de las variables del proceso de coextrusión y el análisis de las posibles causas de variación de las propiedades mecánicas. Como conclusión mas relevante se encuentra que mediante evaluaciones de laboratorio se logra determinar la característica de calidad que falla cuando se evalúa la película stretch nacional.

La similitud con el trabajo en desarrollo esta en la optimización de las características de la película coextruída. La diferencia con esta nueva investigación esta en que se va a trabajar con películas coextruídas de polietileno lineal de baja densidad.

Aparicio, Jennifer, (2000): Estudio de propiedades químicas y mecánicas de resinas de poliéster insaturadas. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo general determinar y evaluar las propiedades químicas y mecánicas de resinas de poliéster insaturado tales como: viscosidad, resistencia de tracción, porcentaje de elongación, dureza, resistencia al impacto para diferentes condiciones de dichas resinas. En base a los resultados obtenidos se puede concluir que las propiedades mecánicas de un poliéster dependen directamente de su estructura química.

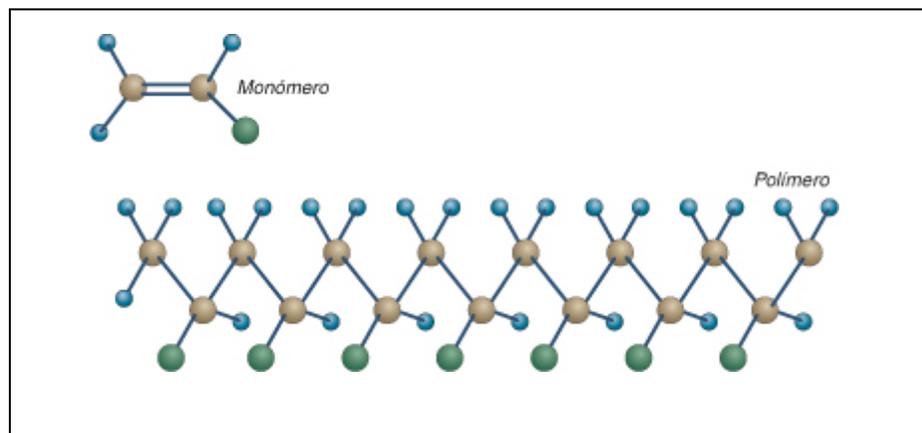
Este antecedente presenta similitud con la investigación que se va a llevar a cabo, en la evaluación de las propiedades mecánicas de un polímero. La diferencia básica es que en la

## MARCO REFERENCIAL

investigación que se llevará a cabo no se correlacionan las propiedades mecánicas con las propiedades químicas.

### 2.2 POLÍMERO

Los polímeros son compuestos que constan de moléculas muy grandes, las cuales, a su vez, están formadas por muchas subunidades que se repiten como se puede observar en la figura 2.1. Dichas subunidades moleculares de los polímeros se denominan monómeros y las reacciones mediante las cuales se unen los monómeros se denominan reacciones de polimerización. Los polímeros tienen ciertas características y difieren unos de otros por la naturaleza química y física de sus unidades repetitivas en las cadenas (Graham, 1990; Morton, 1993).



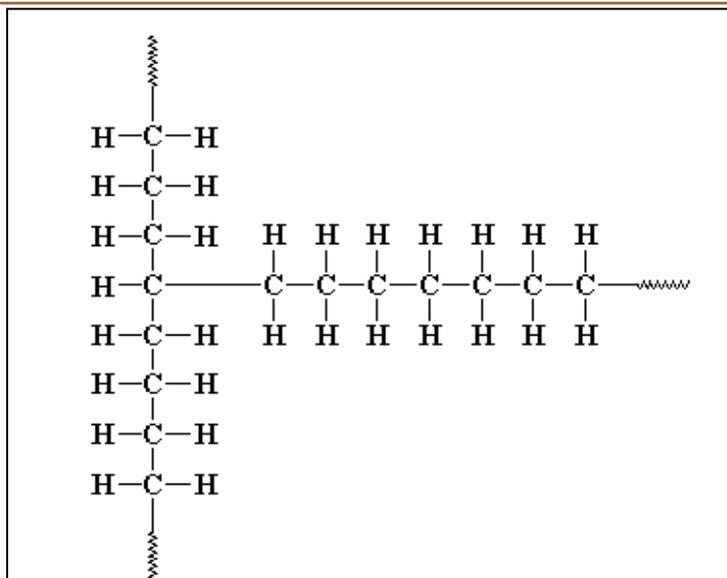
**Figura 2.1.** Estructura de un polímero

Fuente: Martínez y Prada, 2000.

### 2.3 POLIETILENO

El polietileno es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva  $(\text{CH}_2\text{-CH}_2)_n$  como se muestra en la figura 2.2. Es también el de menor costo, químicamente inerte y puede moldearse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas. Se obtiene de la polimerización del etileno (de fórmula química  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ), del que deriva su nombre (Chow, 2008).





**Figura 2.3.** Molécula de polietileno ramificado.

Fuente: Martínez y Prada, 2000.

Es un polímero termoplástico con una densidad de 0.915 a 0.925 g/cm<sup>3</sup>, peso molecular de hasta 4x10<sup>6</sup>, semicristalino (un 50% típicamente), blanquecino, blando y tenaz (incluso a temperaturas bajas) con excelentes propiedades eléctricas pero una resistencia a las temperaturas débil, buena dureza y presenta resistencia al impacto en bajas temperaturas (Morton, 1993).

### Aplicaciones

Sus aplicaciones incluyen contenedores, recubrimientos químicamente resistentes, películas (transparentes cuando son delgadas) para el embalaje. Se usa también como capa o recubrimiento para el cartón. La mitad de la producción de LDPE se usa para embalaje (Garay y Ramos, 2008).

- **Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)**

El polietileno lineal de baja densidad (linear low density polyethylene, LLDPE) se obtiene polimerizando el etileno con un alqueno (especialmente 1-buteno) a baja presión, en disolución, suspensión o fase gaseosa, en presencia de catalizadores. Se trata de un polímero lineal con ramificaciones cortas que hacen que su temperatura de fusión, su resistencia a la tracción y al agrietamiento sean superiores a las del polietileno de baja densidad. Se utiliza en el recubrimiento de cables y en la fabricación de objetos moldeados por extrusión o soplado (Morton, 1993).

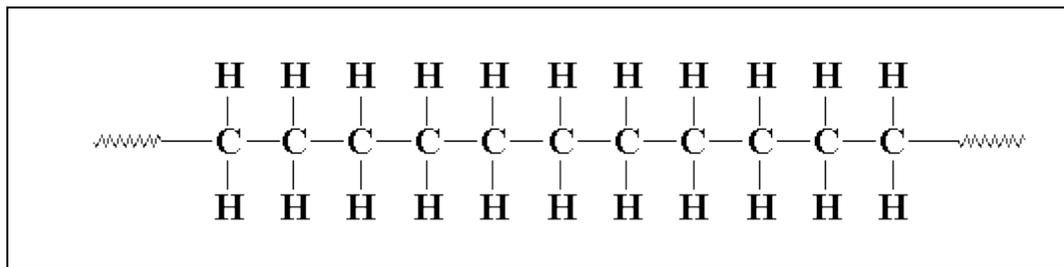
## MARCO REFERENCIAL

### Aplicaciones

Algunas de sus aplicaciones son: bolsas de supermercado, bolsas industriales de basura, bolsas para envíos pesados. Se encuentra generalmente como película pero puede ser inyectado, rotomoldeado o soplado (Garay y Ramos, 2008).

- **Polietileno de alta densidad (HDPE)**

El proceso de polimerización del polietileno de alta densidad se lleva a cabo a baja presión y con catalizadores en suspensión. Se obtiene así un polímero muy cristalino, de cadena lineal muy poco ramificada como se muestra en la figura 2.4. Su resistencia química y térmica, así como su opacidad, impermeabilidad y dureza son superiores a las del polietileno de baja densidad (Morton, 1993).



**Figura 2.4.** Molécula de polietileno lineal.

Fuente: Martínez y Prada, 2000.

La cristalinidad de una resina de HDPE determinada puede variar dentro de una amplia gama debido a la tasa de enfriamiento de la masa fundida. Las tasas de enfriamiento más lentas favorecen el crecimiento cristalino. El intervalo de cristalinidad del HDPE normalmente abarca de un 50 a un 80%. La densidad normalmente citada en las especificaciones para el HDPE está determinada por una lámina moldeada por compresión que ha sido enfriada a una tasa de 15°C por minuto. La mayoría de los procesos comerciales de fabricación enfrían la masa fundida a tasas mucho más rápidas (Morton, 1993).

## **MARCO REFERENCIAL**

### **Aplicaciones**

Entre sus aplicaciones se tiene: envases para detergentes, lejía, aceites automotor, champú y lácteos; bolsas para supermercados; cajones para pescados, gaseosas y cervezas; envases para pintura, helados y aceites; tambores; tuberías para gas, telefonía, agua potable, minería, láminas de drenaje y uso sanitario; macetas; bolsas tejidas; guías de cadena y piezas mecánicas. También se emplea para recubrir lagunas, canales, fosas de neutralización, contra tanques, tanques de agua, plantas de tratamiento de aguas, lagos artificiales y canalones de lámina (Garay y Ramos, 2008).

## **2.4 PROCESOS DE OBTENCIÓN DE LAS PELÍCULAS PLÁSTICAS**

Los principales procesos de fabricación se presentan en las siguientes sub-secciones:

### **2.4.1 Extrusión**

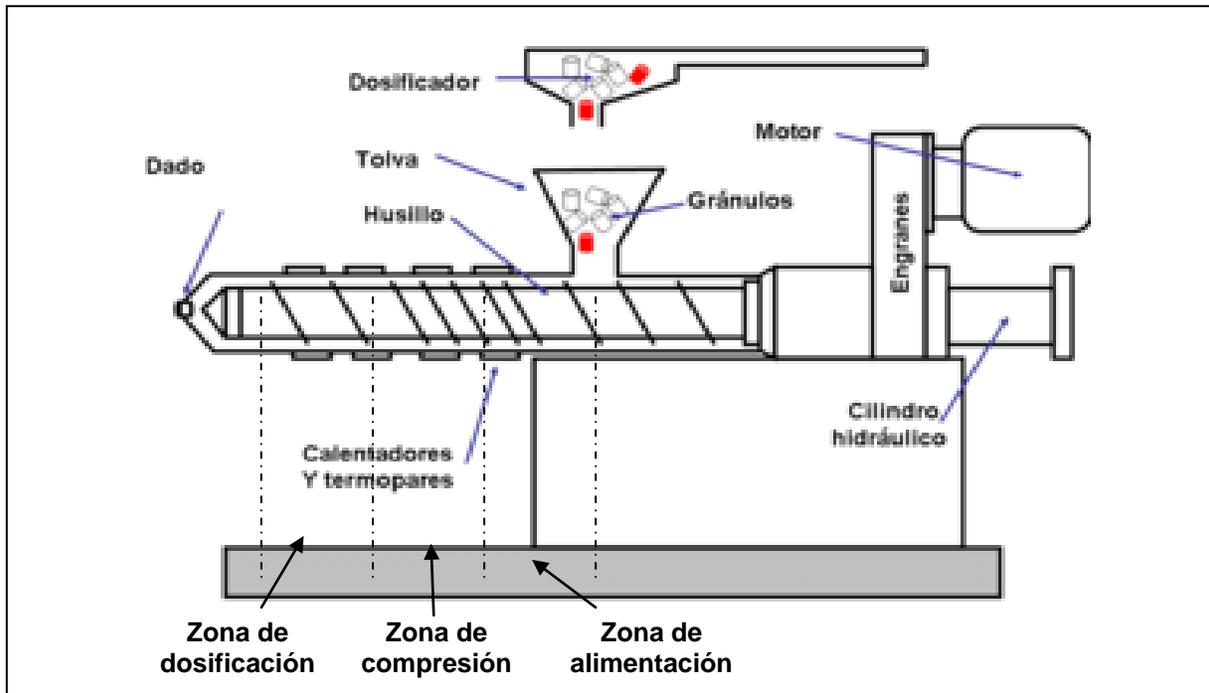
Es la acción de forzar (por medio de presión) a pasar a través de un “dado” o “boquilla” un plástico o material fundido (Rincón, 2006).

La extrusión es un proceso que se desarrolla en una máquina extrusora compuesta por un cabezal, un cilindro, un tornillo sin fin (husillo), y una boquilla. Los gránulos plásticos son fluidizados, homogeneizados y formados vía un equipo de extrusión, obteniendo al final el producto acabado pudiendo ser este de diferentes formas. En la extrusora el material se dosifica en forma continua desde la tolva, la cual esta pre-ajustada para evitar la absorción de humedad, pasa al cilindro calentado externamente que mediante un tornillo sin fin hace avanzar el material fundido, homogeneizándolo hasta salir por una boquilla colocada en un extremo. La boquilla tiene una abertura diseñada en función de la forma que se quiera obtener, ya sea barra, tubo, perfiles, entre otros. Cuando la boquilla es plana el proceso se denomina de laminado. Esta lámina aun caliente pasa a los rodillos de laminación donde el proceso de alisado y espesor determinado le da un acabado perfecto. Según el diseño de la boquilla obtendremos diferentes espesores o dimensiones de lámina llegando incluso a tener la ocasión de formar fibras (Rincón, 2006).

## MARCO REFERENCIAL

- **Partes de un extrusor**

El extrusor de un tornillo sin fin simple que se encuentra en la figura 2.5 por lo general consta de cuatro partes fundamentales que se definen a continuación:



**Figura 2.5.** Diseño genérico de un extrusor.

Fuente: Techniques Matieres Plastiques, 2001.

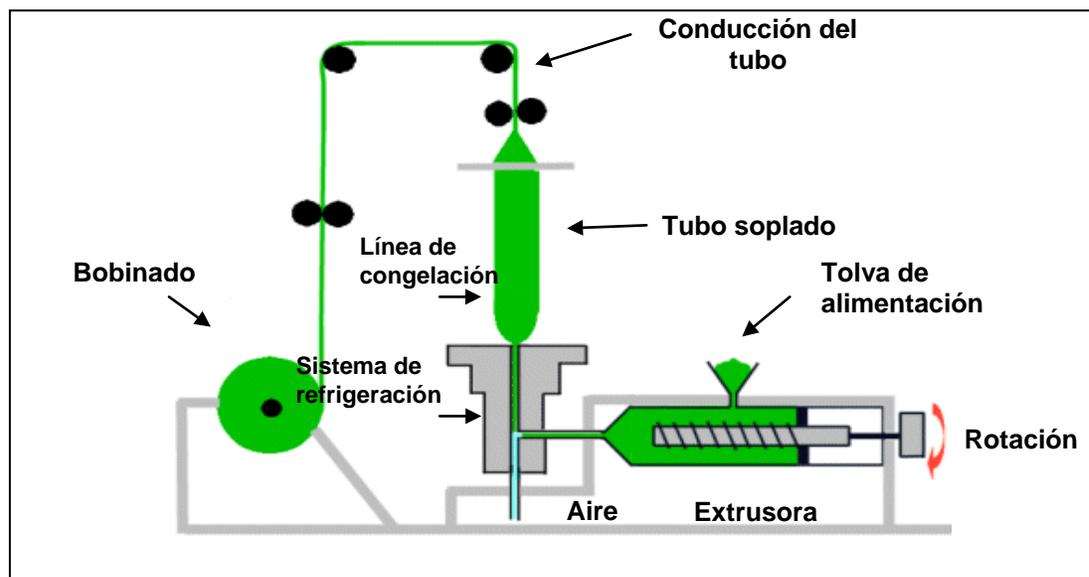
- Zona de alimentación:** Es donde se precalienta y transporta el polímero a las siguientes partes del equipo, esta zona es tal que hay una alimentación correcta hacia delante, ni deficiente, ni excesiva (Delgado, 1999; Morton, 1993).
- Zona de compresión:** Tiene una profundidad de canal decreciente, aquí se expulsa el aire atrapado entre los gránulos originales, se mejora la transferencia de calor desde las paredes del barril calentado conforme el material se vuelve menos espeso. Además se da un cambio de densidad que ocurre durante la fusión (Delgado, 1999; Morton, 1993).
- Zona de dosificación:** En esta zona la profundidad del tornillo (husillo) es constante. Su función es la de homogenizar el material fundido y con ello suministrar a la región del dado material de calidad homogénea a temperatura y presión constante (Delgado, 1999; Morton, 1993).

## MARCO REFERENCIAL

- d) **Zona del dado:** Esta zona cumple la función de evitar el paso de material extraño (polímero no fundido, polvos, cuerpos extraños) y crear un frente de presión cuando se opone una resistencia al bombeo de la zona anterior (Delgado, 1999; Morton, 1993).

El polímero fundido proveniente de la zona del dado (en forma tubular) se hace pasar continuamente a través de un cabezal de soplado, el cual es enfriado mediante la inyección de aire a presión que se reparte uniformemente por medio de un anillo distribuidor dando origen a la formación de la burbuja además de orientarla verticalmente (Delgado, 1999).

En la figura 2.6 se aprecia que la burbuja así formada es tirada por unos rodillos en la parte superior de una estructura previo aplastamiento mediante unas placas o cortinas en ángulo (plegadores), por medio de rodillos guionadores se baja este material ya plano a un sistema donde se embobina (Delgado, 1999).

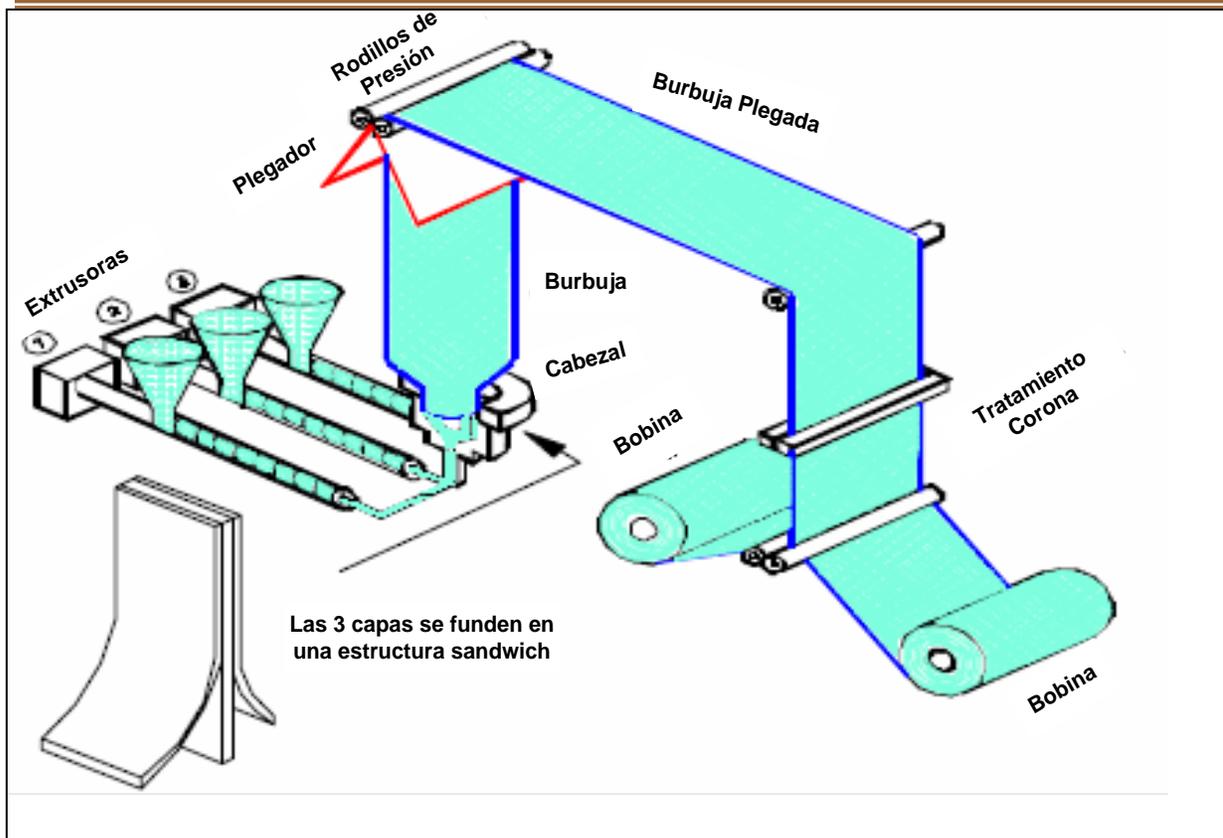


**Figura 2.6.** Diagrama de un proceso de extrusión.

Fuente: Techniques Matieres Plastiques, 2001.

### 2.4.2 Coextrusión

La coextrusión es la extrusión simultánea de más de un tipo de polímero para obtener un producto laminado. En la figura 2.7 se observa que se requiere un extrusor separado para cada polímero (Rincón, 2007).



**Figura 2.7.** Proceso de coextrusión.

Fuente: Martínez, 2008.

Es una tecnología que incorpora varias capas de polímeros con propiedades diversas en un solo film o lámina, permitiendo de esta manera alcanzar las propiedades barreras necesarias para cada tipo de producto, es decir, productos adaptados a las necesidades (Martínez, 2008).

La extrusión multicapa o coextrusión permite la combinación de polímeros que poseen diferentes propiedades para asegurar un empaque más económico y funcional. A su vez, se optimiza el consumo de resina cuando se extruye como capas internas del coextruido material reciclado o materiales de menor costo (Rincón, 2007).

Las películas multicapas obtenidas en el proceso de coextrusión se componen básicamente de capas internas, externas, intermedias y en ocasiones de adhesivos. La capa externa normalmente es una resina dura, con elevado punto de fusión, lo que le da resistencia. Las capas internas e intermedias se utilizan para incrementar las propiedades de barrera. La capa de adhesivo que se utilice va en función de las resinas que se quieran unir (Márquez, 2006).

## MARCO REFERENCIAL

---

Entre algunas ventajas se tiene que con el uso de los procesos de coextrusión los procesadores consiguen mejorar propiedades como la resistencia a la punción del empaque, su sellado térmico o simplemente su apariencia cuando la capa externa es de color. Además de que cada chapa de laminado imparte una propiedad característica deseada como la rigidez, impermeabilidad o resistencia al medio ambiente al cual este expuesto, lo que sería imposible de lograr con un solo material (Rincón, 2007).

- **Principales problemas en coextrusión de láminas**

- a) 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 mayor viscosidad tiende a fluir con menor rapidez que el de menor 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 (Rincón, 2007).
- b) 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. Una lámina extruida 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 (Rincón, 2007).

- **Coloración en la coextrusión**

En la coextrusión, se pueden utilizar capas de pigmentos opacos en el medio y de translúcidos en los extremos, o también puede ser todo opaco o completamente translúcido. Es común utilizar en láminas una capa interna de material reciclado y en los extremos del material se controla el color final, esto ayuda a reducir costos manteniendo una apariencia adecuada.

## MARCO REFERENCIAL

---

---

- **Tratamiento corona**

Para facilitar la adherencia de tinta o recubrimientos en la superficie de la película es necesaria la aplicación de algún tipo de tratamiento superficial. Este consiste en un tratamiento corona que aumenta la energía superficial y por ende la tensión superficial de la película plástica (Rincón, 2006).

Una de las teorías que explica este fenómeno es la oxidación de la superficie, la cual acota que una descarga eléctrica de alta frecuencia produce un aumento considerable de la temperatura de la superficie, permitiendo que ocurran algunas reacciones químicas que promueven la oxidación, principalmente debido a la formación de ozono y de calor producido por la descarga eléctrica. Este tratamiento proporciona aumentos drásticos en el carácter polar y adhesivo de la película aumentando la tensión superficial y creando así condiciones más propicias para que la tinta o el adhesivo se fije (Polipropileno de Venezuela, 1990).

El equipo de tratamiento de corona consiste básicamente de una fuente de alta frecuencia, un transformador de alto voltaje y una estación de tratamiento. La estación de tratamiento está formada por un cilindro de metal aterrado, cubierto por una capa de material aislante que funciona como un electrodo y otro electrodo paralelo a éste (separados entre 1 y 3 mm). Cuando el objeto está listo para ser tratado, se hace pasar entre ambos electrodos y se aplica al mismo tiempo una gran caída de voltaje entre éstos, lo cual produce la ionización del aire circundante y la formación del efecto corona. Los radicales libres formados en el aire ionizado interactúan con la superficie del objeto, propiciando su oxidación (Polipropileno de Venezuela, 1990).

El grado de tratamiento es aproximadamente proporcional al voltaje aplicado hasta un cierto límite, por encima del cual empieza a disminuir. La intensidad también se ve afectada por la distancia entre el electrodo y la superficie (Polipropileno de Venezuela, 1990).

### 2.4.3 Laminación

En laminado de películas, una película elaborada se adhiere a un sustrato en movimiento mediante la aplicación de calor y presión. Los métodos de laminado de películas incluyen

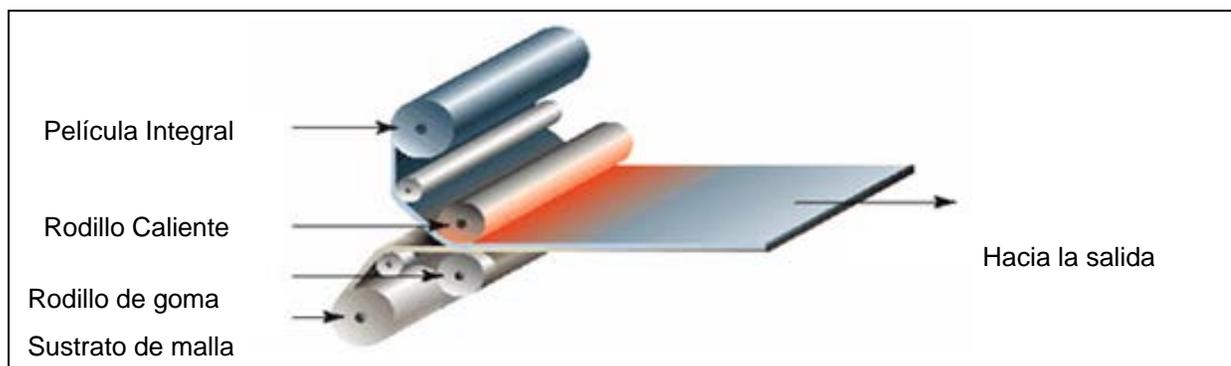
## MARCO REFERENCIAL

laminado en caliente/cinta, por llama, laminado en calandria y extrusión de lámina; y cada tipo ofrece una combinación diferente de calor y presión. La película laminada puede agregar una superficie funcional a un sustrato, o ser utilizado entre dos sustratos para unirlos.

Los sustratos que pueden ser revestidos con poliolefinas incluyen papel, cartón, polipropileno con orientación biaxial, nylon con orientación biaxial, poliéster y otras películas plásticas, telas, capas de fibra de vidrio, chapas metálicas y espumas flexibles.

- **Laminado en Caliente/Cinta**

El laminado en caliente y en cinta utiliza calor y presión como método para unir las películas adhesivas a un sustrato elegido. La película adhesiva y el sustrato ingresan a los cilindros calientes donde los materiales son calentados y presionados uno contra otro como se indica en la figura 2.8. El calor activa la película adhesiva y lo une al material de sustrato mediante presión (The Dow Chemical Company, 1995).

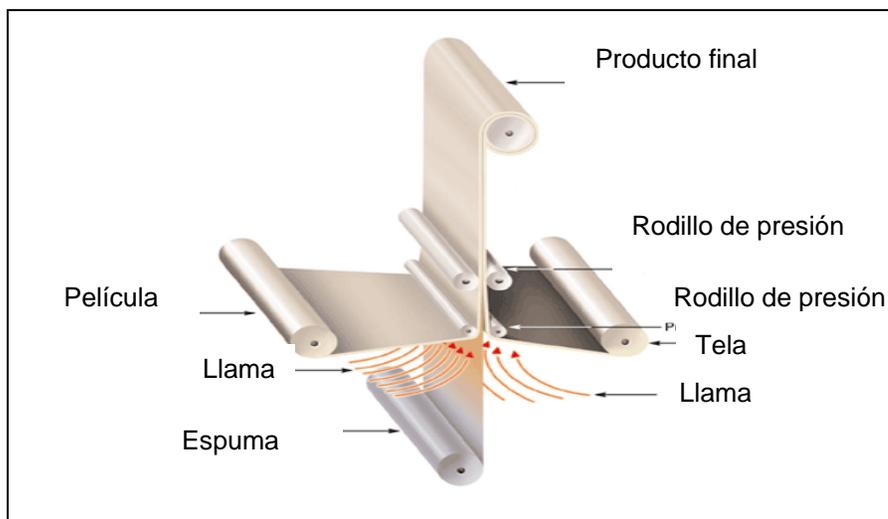


**Figura 2.8.** Laminado en Caliente/Cinta.

Fuente: The Dow Chemical Company, 1995.

- **Laminado por Llama**

Este proceso se utiliza para unir película o tela con espumas de poliuretano blando. En la figura 2.9 se observa el pasaje de la espuma blanda sobre una llama abierta, que crea una fina capa de polímero fundido. La película o tela se presiona rápidamente contra la espuma mientras todavía está fundida. La resistencia de la unión depende de la película, tela y espuma seleccionada así como las condiciones de procesamiento, algunas son tipo de gas, altura y distribución de llama, quemado de la espuma, y presión de unión (The Dow Chemical Company, 1995).



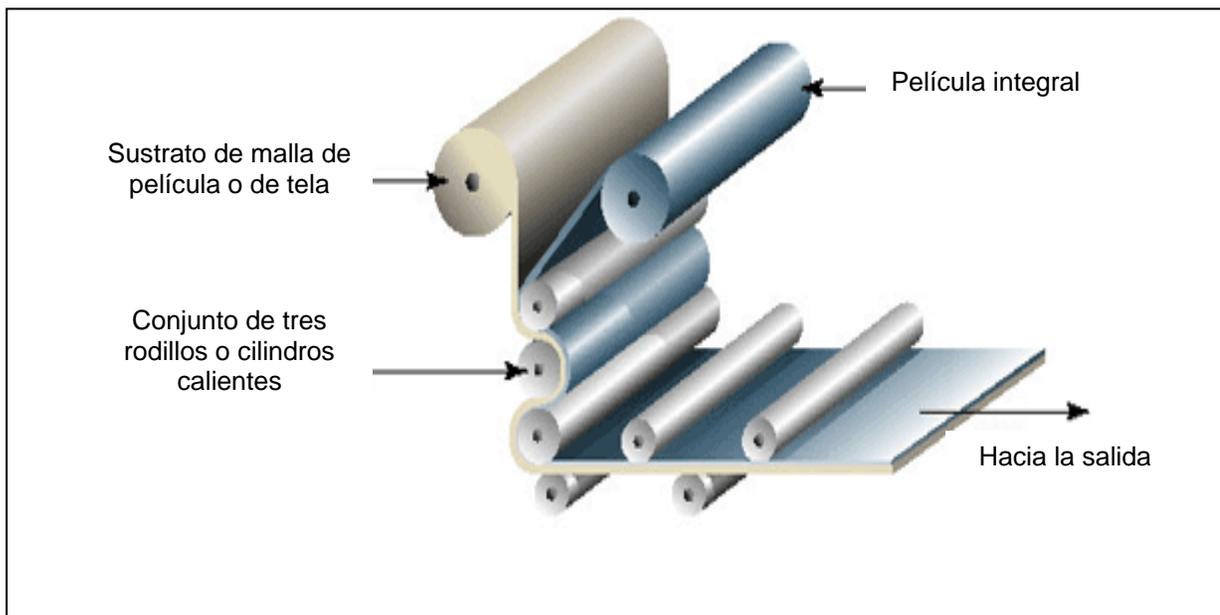
**Figura 2.9.** Laminado por Llama.

Fuente: The Dow Chemical Company, 1995.

El laminado por llama es un proceso continuo que, según el equipo, puede adherir tela o película a uno o ambos lados de la espuma en una sola pasada (The Dow Chemical Company, 1995).

- **Laminado en Calandria**

El laminado en calandria de las películas adhesivas permite un laminado en línea continuo y asegura una distribución uniforme del adhesivo. El laminado en calandria, similar al laminado en caliente, utiliza un conjunto de tres rodillos calientes para calentar y activar las películas adhesivas. La película adhesiva y el sustrato, que se muestran a continuación en la figura 2.10, ingresan a un conjunto de rodillos calientes donde la película es calentada, activada y aplicada sobre el sustrato. La selección del material es crítica para asegurar una unión resistente y duradera entre la película y el sustrato (The Dow Chemical Company, 1995).

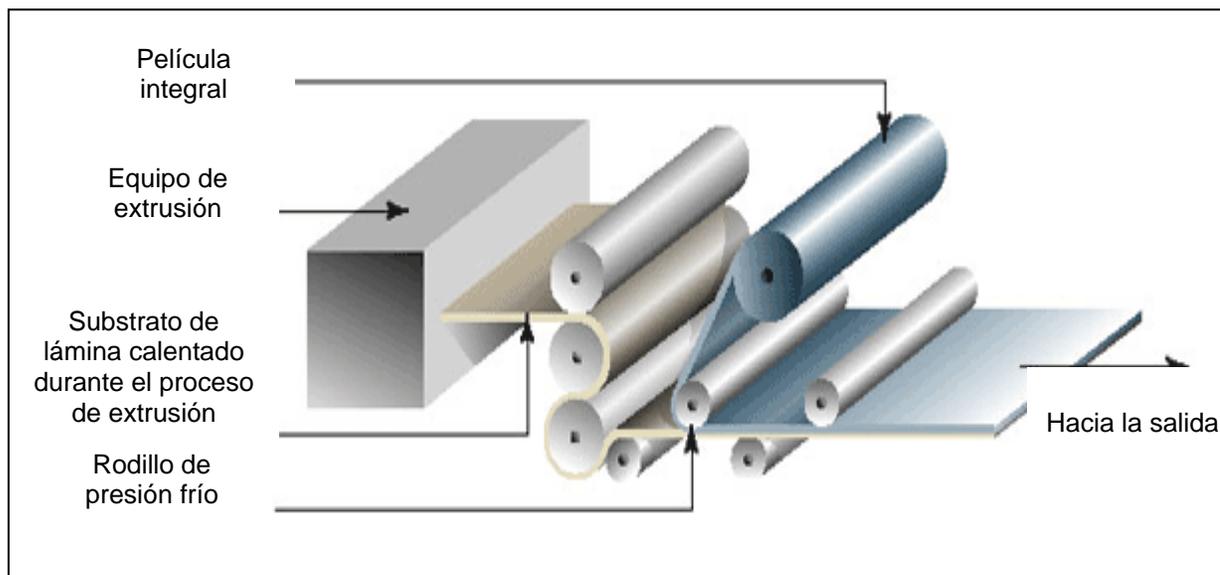


**Figura 2.10.** Laminado en Calandria.

Fuente: The Dow Chemical Company, 1995.

- **Extrusión de Lámina**

Los polímeros termoplásticos con frecuencia son extruidos en una lámina para su posterior formado/procesamiento. Las películas adhesivas permiten el laminado en línea y distribución uniforme del adhesivo en sus procesos de extrusión. En la figura 2.11 se puede apreciar que la lámina de polímero es extruida y luego se pone en contacto con la película adhesiva. El calor residual de la lámina extruida activa el adhesivo. La resistencia de la unión depende de la selección de materiales y las condiciones de procesamiento (The Dow Chemical Company, 1995).



**Figura 2.11.** Extrusión de Lámina.

Fuente: The Dow Chemical Company, 1995.

## 2.5 ADITIVOS UTILIZADOS EN LAS PELÍCULAS PLÁSTICAS

Los aditivos son sustancias que se agregan al plástico y le imparten propiedades que el plástico por si mismo no tiene o las tiene en valores que no son convenientes para una aplicación determinada. Estas propiedades son incrementadas o disminuidas a criterio del transformador. A continuación se mencionan algunos de los aditivos más comunes utilizados en la fabricación de películas plásticas:

### 2.5.1 Antibloqueo

Son materiales que evitan que las películas se peguen y se haga difícil o a veces imposible su separación. Las bolsas pueden no abrirse o los rollos de película no desembobinarse. Ejemplo: La acroamida que es una amida primaria (Olivo, 2008).

### 2.5.2 Deslizantes

Son sustancias que disminuyen el coeficiente de fricción de las películas, generalmente son aceites o ceras lubricantes. Hacen que las películas puedan desplazarse por los equipos de empaque o impresión sin atorarse o romperse debido a la fricción. Ejemplo: Las erucamidas (Olivo, 2008).

## **MARCO REFERENCIAL**

---

---

### **2.5.3 Antiestáticos**

Son aditivos que evitan que las películas se carguen con electricidad estática, disipando esta o evitando que se forme. Son muy útiles para evitar choques eléctricos que afecten a circuitos electrónicos que son empacados con películas plásticas, también se utilizan para disminuir las descargas hacia los operadores o los equipos de transformación. Ejemplo: Entira Antistat SD 100 (Olivo, 2008).

### **2.5.4 Protectores UV**

Son sustancias que absorben y disipan la luz UV proveniente del sol evitando que se rompan los enlaces del plástico provocando el envejecimiento y disminución de propiedades. Ejemplo: El etileno propileno fluorinado (Olivo, 2008).

### **2.5.5 Antioxidantes**

Son sustancias que tienen como objetivo evitar que el plástico se degrade por efecto de la alta temperatura en presencia de aire a la que se somete en el proceso de extrusión y transformado. Estos aditivos evitan que las cadenas de plástico se rompan y pierdan propiedades. Son muy utilizados en procesos de reciclado y en conjunto con protectores UV con los que hacen sinergia para proteger al plástico. Ejemplo: Butil Hidroxi Tolueno (Olivo, 2008).

### **2.5.6 Absorbedores de oxígeno**

Son sustancias que tienen por objeto atrapar el oxígeno que se encuentre dentro del empaque, particularmente el que puede difundir superficialmente la película. Son utilizados cuando de empaque de alimentos se trata, ya que es importante mantener la frescura y aumentar la vida de anaquel de los productos alimenticios (Olivo, 2008).

### **2.5.7 Antiniebla**

Son modificadores de tensión superficial de las películas y tienen por objeto evitar la condensación del vapor de agua y que esto genere gotas de agua o empañamiento en la película. Este aditivo es utilizado en la fabricación de películas para invernadero en donde es importante la

## **MARCO REFERENCIAL**

---

transparencia de las cubiertas del invernadero. Ejemplo: Etoxilatos no iónicos o esterres de ácidos grasos tales como estearato de glicerilo (Olivo, 2008).

### **2.5.8 Pigmentos**

Son sustancias que imparten color a los materiales plásticos y su uso abarca una gran cantidad de mercados desde pigmentos opacos hasta pigmentos traslúcidos o tintas abarcando todas las tonalidades del espectro de color, en algunos casos se obtienen efectos especiales (Olivo, 2008).

### **2.5.9 Clarificantes**

Son aditivos nucleantes que hacen que la película se quede con una conformación amorfa en el acomodo de las moléculas de plástico y esto imparte una transparencia superior a la película. Ejemplo: bentonitas (Olivo, 2008).

### **2.5.10 Antimicrobianos**

Son sustancias que impiden el desarrollo de microorganismos en las películas de plástico que pueden estar en contacto con los medios propicios para el crecimiento de bacterias, hongos y algas. Ejemplo: Etanol, ácidos orgánicos, plata, enzimas (glucosa oxidasa) (Olivo, 2008).

## **2.6 PROPIEDADES MECÁNICAS**

Muchos materiales cuando están en servicio se encuentran sujetos a fuerzas o cargas. En tales condiciones es necesario conocer las características del material para diseñar el instrumento donde va a usarse de tal forma que los esfuerzos a los que vaya a estar sometido no sean excesivos y el material no se fracture. El comportamiento mecánico de un material es el reflejo de la relación entre su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada. Entre algunas propiedades mecánicas se tienen:

### **2.6.1 Coeficiente de fricción (COF)**

Es la relación de la fuerza de fricción y la fuerza, casi siempre de gravitación, que actúa perpendicularmente a las dos superficies en contacto. Este coeficiente es una medida de la

## **MARCO REFERENCIAL**

---

relativa dificultad con que la superficie de un material se desliza sobre una superficie adyacente, del mismo o de otro material. Su unidad es adimensional (COVENIN 463,1994).

Usualmente se distinguen dos valores:

- **Coefficiente de fricción estático**

Es aquel que esta relacionado a la fuerza medida para iniciar el movimiento relativo de ambas superficies.

- **Coefficiente de fricción dinámico**

Es aquel que esta relacionado con la fuerza aplicada para mantener el movimiento.

### **2.6.2 Resistencia al impacto**

Comportamiento de un material bajo un golpe mediante condiciones controladas. Esta resistencia se determina a través del ensayo de impacto que consta en someter las probetas plásticas a varios golpes de intensidad creciente, como en el ensayo de impacto con caída de bola y el ensayo de impacto con golpe repetido. La resistencia al impacto y la dureza con rebote de proyectil se determinan en ensayos de impacto no destructivos (COVENIN 384, 1998).

### **2.6.3 Resistencia al rasgado**

Medida de la capacidad de láminas o películas para soportar el rasgado. En el caso del papel, es la fuerza necesaria para desgarrar una sola capa de papel una vez iniciado el desgarramiento. Hay tres métodos estándar disponibles para determinar la resistencia al desgarramiento de las películas plásticas: ASTM D-1004, 1994 detalla un método para determinar la resistencia al desgarramiento con índices de carga bajos; un ensayo en ASTM D-1922, 2003 mide la fuerza necesaria para propagar un corte precortado a través de una probeta de lámina; y ASTM D-1038, 1983 proporciona un método para determinar la resistencia a la propagación del desgarramiento recomendado sólo para el ensayo de aceptación de especificaciones. El método utilizado en este caso es el de la ASTM D-1922, 2003 que es el mismo COVENIN 994, 1998 (Determinación de la resistencia al rasgado) ubicada en la norma A.2 del Apéndice A.

## **MARCO REFERENCIAL**

### **2.6.4 Elongación**

Estiramiento de un material y se expresa en medida porcentual con respecto a la medida original (COVENIN 1019, 1999).

Medida de la ductilidad de un material determinado en un ensayo de tracción (método para determinar el comportamiento de materiales bajo cargas de estiramiento axial, los datos del ensayo se usan para determinar el límite elástico, el alargamiento, el módulo elástico, el límite proporcional, la reducción del área, la resistencia a la tracción, el punto de fluencia, el esfuerzo de fluencia y otras propiedades de tracción). Es el incremento de la longitud en la distancia calibrada (medida después de la ruptura) dividido por la longitud original de la distancia calibrada. Una elongación mayor indica una mayor ductilidad (COVENIN 1019, 1999).

## **2.7 CALIDAD**

La Calidad es el cumplimiento de los requisitos y necesidades expresadas por el cliente tanto del producto y servicios requeridos, que garantice la gestión interna y externa de la organización (ISO 9001, 2000).

### **2.7.1 El control de calidad**

El control de la calidad comprende las técnicas y actividades operativas, que tienen por objeto tanto el seguimiento de un proceso como la eliminación de las causas del desempeño no satisfactorio en todas las fases del ciclo de la calidad, con el fin de obtener mejores resultados económicos (ISO 9001, 2000).

### **2.7.2 Variables de calidad**

Son todas las características que intervienen en la calidad de un producto o servicio.

- **Tratado de la película**

El método más utilizado para medir el nivel de tratamiento de una película es a través de la utilización física de líquidos de diferente tensión superficial aplicados sobre la cara a medir. La humectabilidad, tensión de humectación o tensión superficial es la capacidad que posee una

## MARCO REFERENCIAL

---

superficie de promover la expansión y la adherencia de un líquido, siendo la unidad utilizada la dina por centímetro (dina/cm) (Polipropileno de Venezuela, 1990).

- **Bobinado**

Están al final del proceso de extrusión y producen las bobinas que luego se utilizarán en procesos de conversión (impresión, laminación, entre otros) o de empaque. En el bobinado se debe garantizar una tensión uniforme y constante a pesar del incremento del diámetro. El bobinado depende directamente de la tensión y esta es controlada con la velocidad de halado del proceso, la cual es una variable controlada por el operador (Polipropileno del Caribe, 2008).

- **Espesor**

El espesor, llamado también calibre, se define como la distancia perpendicular que existe entre las dos caras de la película, bajo condiciones específicas. Su valor se expresa en mm, micras y puntos, que son milésimas de pulgada. Uno de los equipos utilizados para medir esta variable es el micrómetro (Unión de industriales litógrafos de México A.C., 2008).

- **Velocidad de halado**

Es la velocidad con la que la película es pasada y halada por el conjunto de rodillos colapsantes (que transforman la burbuja redonda del proceso en un tubo aplanado) y transportadores. Es una variable fijada en el proceso de manera computarizada y es controlada por el operador.

- **Tiempo de almacenaje**

Es el tiempo que se encuentra el material retenido en el almacén bajo condiciones ambientales normales. Se realizó la medición de esta variable por días de almacenado.

- **Cantidad de polietileno con aditivo deslizante**

Es la dosificación de acuerdo con el porcentaje establecido en la estructura. La concentración de esta variable viene fijada directamente del proveedor.

## **MARCO REFERENCIAL**

---

---

- **Temperatura de almacenamiento**

Es la temperatura a la cual se encuentra almacenado el producto terminado. Esta variable es medida mediante un termómetro fijado en el área de estudio.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

*En este capítulo, se presenta el tipo de investigación en que se desarrolla el proyecto, así como la metodología a seguir para lograr la ejecución de los objetivos planteados.*

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Según nivel de profundidad, la investigación es de tipo evaluativa, ya que analiza el producto obtenido en el proceso, permitiendo identificar las posibles variables que influyen en el mismo y de ésta forma plantear las posibles mejoras que proporcionen un producto más estable en el tiempo en cuanto a sus propiedades mecánicas.

En cuanto a la estrategia o diseño de la investigación, es de campo (directa), gracias a que se efectúa en el lugar y tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio, basándose en la recolección de datos de la realidad.

#### **3.2 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

A continuación se detallan cada una de las actividades realizadas durante el desarrollo de la investigación, que permiten el alcance de los objetivos planteados.

##### **3.2.1 Identificación de las variables que afectan las propiedades mecánicas en el proceso de coextrusión.**

Se realizó una investigación de campo junto con el análisis de las siguientes normas: determinación de las propiedades tensiles (COVENIN 1019, 1999), resistencia al impacto por caída libre de dardo (COVENIN 384, 1998), determinación del coeficiente de fricción (COVENIN 463, 1994) y determinación de la resistencia al rasgado (COVENIN 994, 1998); identificándose las variables que afectan las propiedades mecánicas en el proceso las cuales son: tratado de la película, bobinado, espesor, velocidad de halado, tiempo de almacenaje, temperatura de almacenamiento y cantidad de polietileno con aditivo deslizante. (Márquez, 2006; Zayas, 2008; Rincón, 2006; Rincón, 2007; Chow, 2008).

## MARCO METODOLÓGICO

### 3.2.2 Determinación de las causas más influyentes que afectan las variables de calidad de las películas coextruídas.

Para la identificación de los factores que afectan las propiedades mecánicas de las películas, se desarrollo un diagrama de causa-efecto donde se agrupan las variables de calidad en las siguientes categorías básicas o variables de proceso:

- **Mano de obra:** Incluye como variables, desempeño y capacitación del personal involucrado en el proceso. Este factor se encuentra desarrollado en la sección 4.2.
- **Maquinaria:** se consideran las variables relacionadas a la coextrusora empleada para la obtención de la película. Estas variables se analizaron en la sección 4.2.
- **Método:** se toman en cuenta las técnicas empleadas para la elaboración de películas coextruídas de polietileno lineal de baja densidad. En la sección 4.2 se explican estas técnicas.
- **Medición:** se incluyen las pruebas utilizadas para realizar las mediciones y análisis de calidad correspondientes al producto final. Una breve explicación de este factor se observa en la sección 4.2.
- **Materia prima:** esta categoría incluye el polietileno con aditivo deslizante utilizado, desarrollado en la sección 4.2.
- **Medio ambiente:** en este factor se incluyen las condiciones ambientales a las cuales está sometido el producto final dentro del almacén, mencionado en la sección 4.2.

Se analizó el diagrama causa-efecto de las películas coextruídas de polietileno lineal de baja densidad y tomando en consideración los trabajos realizados previamente por el personal del laboratorio de calidad, se determinaron las causas que afectan de manera más directa la calidad del producto terminado, por ende son las que requieren un plan de acción que evite la reincidencia de dicho problema (Jaimes y Kremesis, 2007).

## MARCO METODOLÓGICO

### 3.2.3 Evaluación del comportamiento de las variables que más influyen sobre las propiedades mecánicas.

Para ello se emplearon las Normas venezolanas para plásticos: determinación de las propiedades tensiles (COVENIN 1019, 1999), resistencia al impacto por caída libre de dardo (COVENIN 384, 1998), determinación del coeficiente de fricción (COVENIN 463, 1994) y determinación de la resistencia al rasgado (COVENIN 994, 1998), además de ensayos preliminares que ayudaron a la familiarización con los equipos.

Las propiedades a evaluar se seleccionaron según los requerimientos del cliente, el uso de dichas películas y los equipos disponibles en el laboratorio. Las propiedades mecánicas seleccionadas, sus principios y métodos de evaluación fueron:

- **Coeficiente de Fricción:** es empleado para determinar las propiedades de deslizamiento de películas plásticas en superficies película a película; las características de las muestras a emplear en este ensayo al igual que el método desarrollado, equipos e instrumentos es el referido por la COVENIN 463, 1994 específicamente el método B (deslizador móvil con plano estacionario) ubicada en la norma A.4 del Apéndice A, en el cual se fija una probeta con cinta adhesiva para garantizar la inmovilidad de dicha probeta respecto a la base, luego se coloca el deslizador sobre el plano y se arranca el mecanismo de movimiento. No habrá un movimiento inmediato entre el deslizador y el plano móvil hasta que la fuerza aplicada sobre el deslizador sea igual o mayor que la fuerza de fricción estática que actúa en la superficie de contacto.
- **Elongación:** se emplea para determinar el comportamiento de materiales bajo cargas de estiramiento axial, el método de ensayo empleado fue el que rige la COVENIN 1019, 1999 (láminas finas) que se encuentra en la norma A.3 del Apéndice A, en el cual se fijan las probetas en las mordazas del equipo para luego seleccionar la velocidad de ensayo y activar el mecanismo de separación de las mordazas, se grafica la curva esfuerzo-deformación hasta la ruptura de la probeta.

## MARCO METODOLÓGICO

---

- **Resistencia al impacto:** se basa en la determinación del peso que produce la fractura de películas plásticas bajo la acción de impacto del dardo en caída libre; la realización de este ensayo se encontró enmarcado en la COVENIN 384, 1998 ubicada en la norma A.1 del Apéndice A. Este método se basa en la determinación del peso que produce la fractura de películas plásticas bajo la acción el impacto de un dardo en caída libre, en condiciones específicas.
- **Resistencia al rasgado:** el método de ensayo empleado fue el referido por la COVENIN 994,1998 descrita en la norma A.2 del Apéndice A, el cual consiste en 10 probetas cortadas de la película de plástico en la dirección de la extrusión y 10 en dirección perpendicular a la extrusión a las cuales se les realiza una hendidura que es propagada por el péndulo.

Para el análisis correlacional entre las variables de entrada más influyentes y las variables de salida se realizaron gráficas de matriz mediante el uso del software estadístico Minitab 15, de las propiedades mecánicas de cada película evaluada en función de cada una de las variables influyentes determinadas, obteniéndose el comportamiento de las mismas (Software estadístico Minitab 15, 2008).

Las gráficas de matriz se utilizan para evaluar las relaciones entre muchos pares de variables al mismo tiempo, creando un arreglo de gráficas de dispersión. La gráfica de matriz empleada fue la tipo draftsman o diagrama de bastidor, esta matriz acepta variables de eje Y como Espesor, Día, Temperatura y eje X las propiedades mecánicas, luego se crea una gráfica para cada combinación XY posible, obteniéndose la relación entre los pares de variables analizados (Software estadístico Minitab 15, 2008).

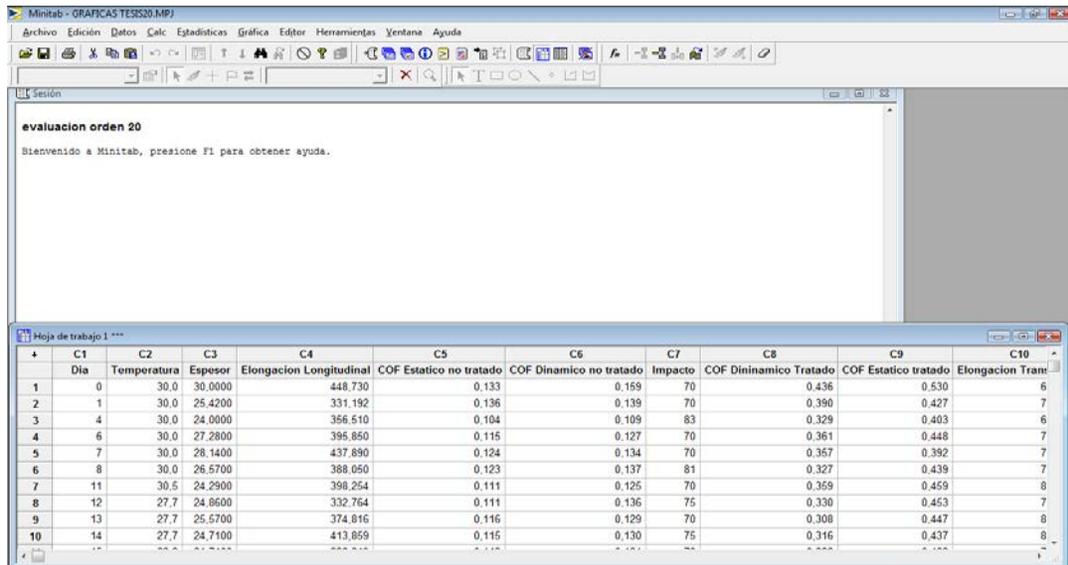
### 1. Aplicación de gráficas de matriz o diagrama de bastidor.

Mediante el software estadístico Minitab 15 se logra obtener el comportamiento de las propiedades mecánicas de las películas evaluadas en función de las variables determinadas en el punto anterior.

Para la aplicación del software se desarrollaron los siguientes pasos:

- **Paso 1:** Generación de la hoja de trabajo

Al iniciar Minitab la ventana principal contenía tres tipos de sub-ventanas: la ventana de sesión, la de hoja de trabajo y la de Project manager. Se construyó la hoja de trabajo que se observa en la figura 3.1; esta contiene cada uno de los datos de propiedades recolectados durante la etapa experimental respectivos a las órdenes evaluadas.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	Día	Temperatura	Espesor	Elongacion Longitudinal	COF Estatico no tratado	COF Dinamico no tratado	Impacto	COF Dinamico Tratado	COF Estatico tratado	Elongacion Trans
1	0	30.0	30.0000	448.730	0.133	0.159	70	0.436	0.530	6
2	1	30.0	25.4200	331.192	0.136	0.139	70	0.390	0.427	7
3	4	30.0	24.0000	356.510	0.104	0.109	83	0.329	0.403	6
4	6	30.0	27.2800	395.850	0.115	0.127	70	0.361	0.448	7
5	7	30.0	28.1400	437.890	0.124	0.134	70	0.357	0.392	7
6	8	30.0	26.5700	388.050	0.123	0.137	81	0.327	0.439	7
7	11	30.5	24.2900	398.254	0.111	0.125	70	0.359	0.459	8
8	12	27.7	24.8600	332.764	0.111	0.136	75	0.330	0.453	7
9	13	27.7	25.5700	374.816	0.116	0.129	70	0.308	0.447	8
10	14	27.7	24.7100	413.859	0.115	0.130	75	0.316	0.437	8

Figura 3. 1. Generación de la hoja de trabajo.

- **Paso 2.** Selección de las graficas de matriz: Se realizaron siguiendo el camino

**Gráfica** → **Gráficas matriz**

Posteriormente se despliega la ventana donde se selecciona matriz con suavizador y se presiona aceptar. A continuación se muestra en la figura 3.2.

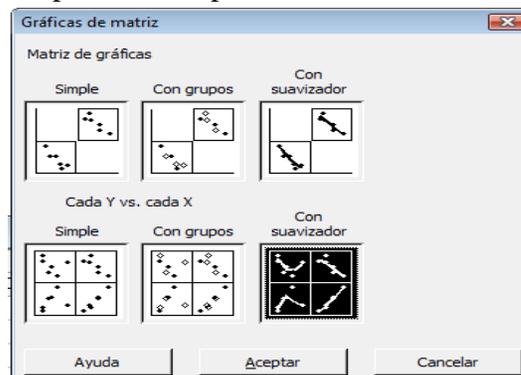


Figura 3.2. Selección de las gráficas matriz

- **Paso 3.** Introducción de variables : se seleccionan las variables x, y a evaluar y presiona aceptar cómo se muestra en la figura 3.3

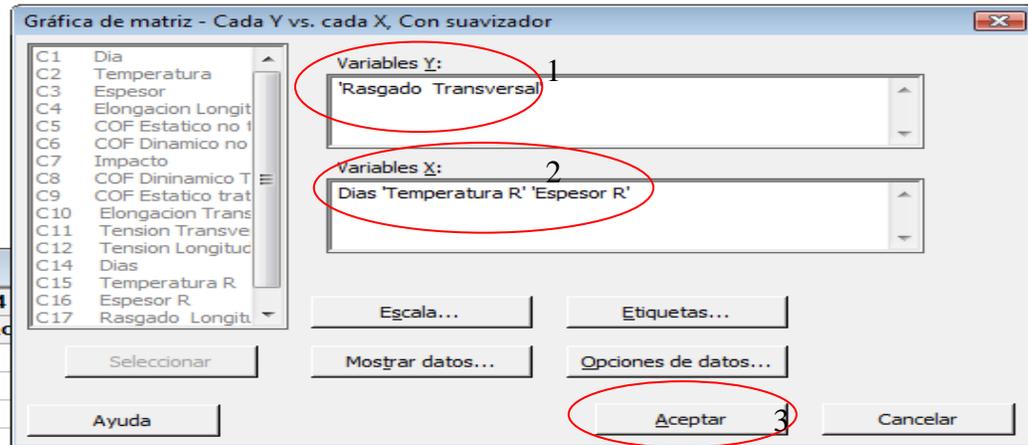


Figura 3.3. Introducción de variables

El software arroja la gráfica de matriz que se observa en la figura 3.4

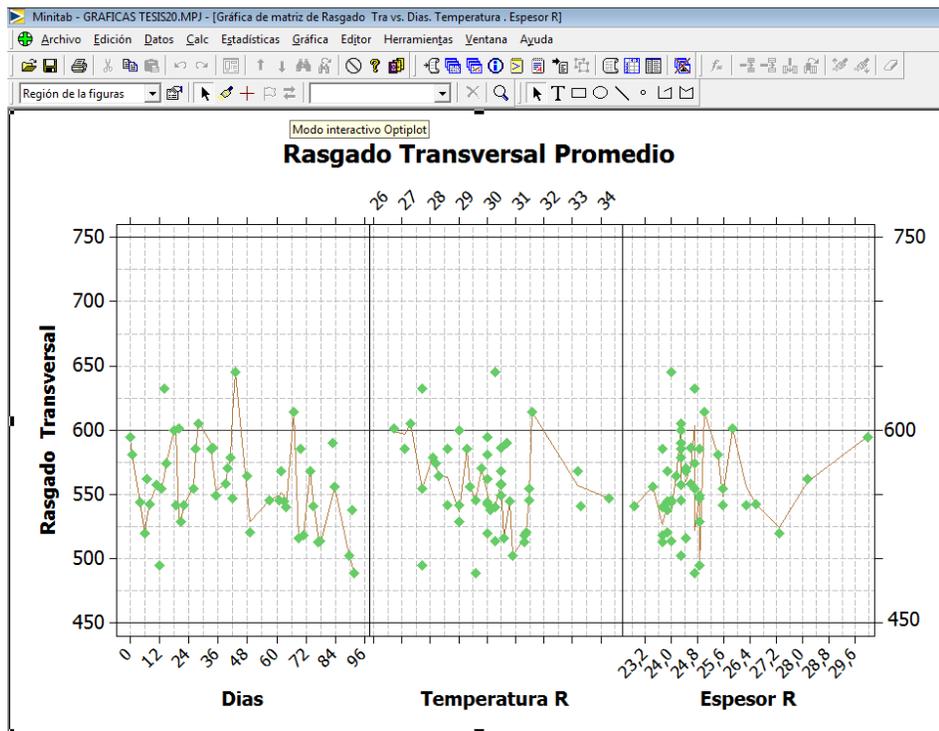


Figura 3.4. Gráfica matriz Rasgado transversal promedio en función de días, temperatura R (temperatura del rasgado) y espesor R (espesor del rasgado).

## MARCO METODOLÓGICO

---

### 3.2.4 Selección de la alternativa técnicamente apropiada.

Después de determinar las principales causas que afectan las variables de calidad estudiadas, se generaron las posibles alternativas de solución con el propósito de crear un control en dichas variables. Esto se logró realizando una tormenta de ideas a través del análisis exhaustivo de los resultados obtenidos en la evaluación de las propiedades mecánicas de las películas, a fin de estudiar de qué manera se puede minimizar el descontrol de las variables de calidad.

Las alternativas generadas fueron:

- Bobinadora
- Rodillos colapsantes
- Medición de las propiedades mecánicas
- Manejo de la coextrusora
- Manejo del producto terminado
- Control de temperatura
- Tiempo de vida útil

Empleando criterios técnicos, aplicados a las alternativas generadas anteriormente, se hizo posible conocer si la implementación de las mismas son técnicamente factibles.

## 2. Aplicación de criterios técnicos

Se evaluó técnicamente la factibilidad de cada propuesta planteada, mediante la aplicación de un software de sistemas de soporte a la decisión SSD-AAPP v. 3.0, el cual resolvió la matriz de selección, para así establecer la relación existente entre ellos (Software de sistema de soporte a la decisión, 2008).

El software de sistemas de soporte a la decisión SSD-AAPP, tiene como propósito la escogencia de la propuesta considerada como mejor alternativa una vez realizada la comparación con respecto a las otras. Las alternativas seleccionadas fueron las que mejor se adaptaron a las limitaciones y requerimientos de la empresa. Los criterios que se consideraron para la evaluación de las alternativas son los siguientes:

## MARCO METODOLÓGICO

---

---

- a. **Disponibilidad de tecnología:** Se estudió la disponibilidad de la tecnología, instrumentos y equipos a instalar en el proceso, debido a que es posible que para ciertas propuestas no se cuente con la tecnología adecuada para su puesta en marcha, por este motivo la evaluación de este criterio técnico permitió verificar si no se cuenta con los resultados tecnológicos.
- b. **Operabilidad:** En este criterio se analizaron las mejoras tanto en la operabilidad del proceso como en la evaluación del producto terminado.
- c. **Condiciones de almacenamiento:** se estudio las condiciones a las cuales se encuentra sometido el producto terminado en el almacén, gracias a que afectan el comportamiento de las propiedades mecánicas del mismo.
- d. **Vida útil del producto:** se consideró como la duración estimada que el producto puede tener cumpliendo correctamente con las especificaciones exigidas por el cliente.

### 3. Aplicación de una software de sistemas de soporte a la decisión SSD-AAP

A través de un software de sistemas de soporte a la decisión SSD-AAPP, se logró la resolución de la matriz de selección de la alternativa más conveniente y factible técnicamente.

Para la aplicación del software se desarrollaron los siguientes pasos:

- **Paso 1.** Creación de la matriz de decisión: se utilizo el siguiente camino

**Archivo** → **Nuevo**

Posteriormente se despliega la ventana donde se introduce el nombre y el titulo del problema como se aprecia en la figura 3.5.

Figura 3.5. Creación de un nuevo problema

- Paso 2.** Definición de los criterios de evaluación: se posiciona en el Árbol de Criterios y se activa la comprobación de Suma de Pesos. Se procede a introducir los criterios en la columna de descripción del criterio asignándole a cada uno un valor según su grado de importancia como se indica en la figura 3.6.

ÁRBOL DE CRITERIOS					
Código	Criterio	Peso Abs	Peso /Nivel	Escala Medida	Sentido
1	Operabilidad	40,00	-	1	1
2	Disponibilidad de tecnología	30,00	-	1	1
3	Vida útil del producto	15,00	-	1	1
4	Condiciones de almacenamiento	15,00	-	1	1
*					

Comprobar Suma de Pesos    Suma de pesos del Nodo: 0    Peso: 100

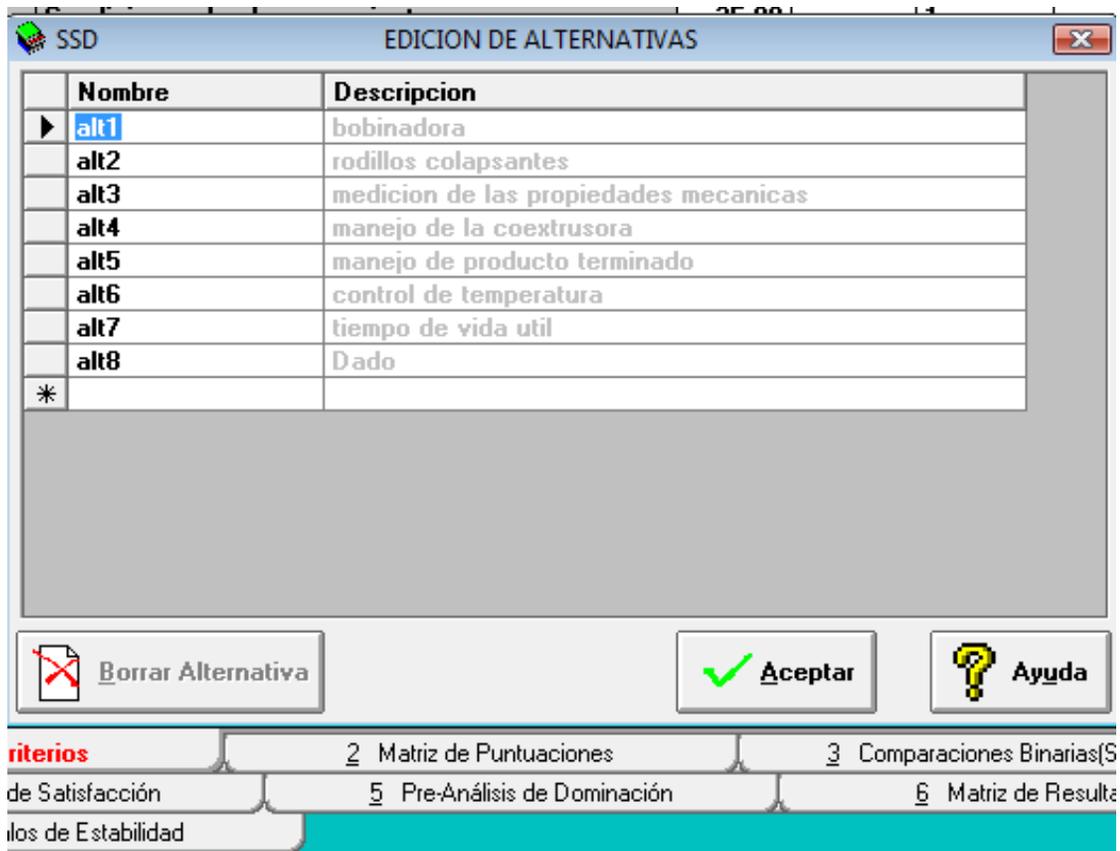
1 **Árbol de criterios**    2 Matriz de Puntuaciones    3 Comparaciones Binarias(Saaty)  
 4 Pre-Análisis de Satisfacción    5 Pre-Análisis de Dominación    6 Matriz de Resultados  
 7 Intervalos de Estabilidad

Figura 3.6. Creación del árbol de criterio

## MARCO METODOLÓGICO

- **Paso 3.** Definición de las alternativas a jerarquizar: Para la definición de las alternativas a seleccionar en la matriz se sigue el siguiente camino

**Edición** → **Alternativa** → **Mantenimiento Alternativas.** Como se muestra en la figura 3.7.



**Figura 3.7.** Edición de alternativas

- **Paso 4.** Definición del peso de cada uno de los criterios según cada alternativa: Posicionándose en la primera celda de la matriz de puntuaciones donde se desea introducir el correspondiente valor al criterio 1 - alternativa 1. Se calificó entre 0 - 100 permitiendo identificar la importancia que tiene el criterio de esa alternativa, donde una ponderación cercana a cien representa un buen comportamiento de la alternativa con respecto al criterio y una cercana a cero lo contrario, de la misma manera se realizó para las celdas siguientes como se aprecia en la figura 3.8.

MATRIZ DE PUNTUACIONES						
Código	Criterio	<input checked="" type="checkbox"/> Peso Final (N)	alt1	alt2	alt3	alt4
1	Operabilidad	0,40000	50	90	60	65
2	Disponibilidad de tecnologia	0,30000	70	75	10	15
3	Vida util del producto	0,15000	15	15	10	15
4	Condiciones de almacenamiento	0,15000	10	10	15	10

1 Árbol de criterios
2 Matriz de Puntuaciones
3 Comparaciones Binarias(Saaty)

4 Pre-Análisis de Satisfacción
5 Pre-Análisis de Dominación
6 Matriz de Resultados

7 Intervalos de Estabilidad

Figura 3.8. Matriz de puntuaciones

- Paso 5.** Aplicación de la matriz de selección: Basándose en los datos anteriormente introducidos al programa se obtuvo una matriz de resultados donde, por diferentes métodos y modelos matemáticos se arrojó la mejor alternativa tanto en tablas como gráficamente como se puede observar en las Figuras 3.9 y 3.10

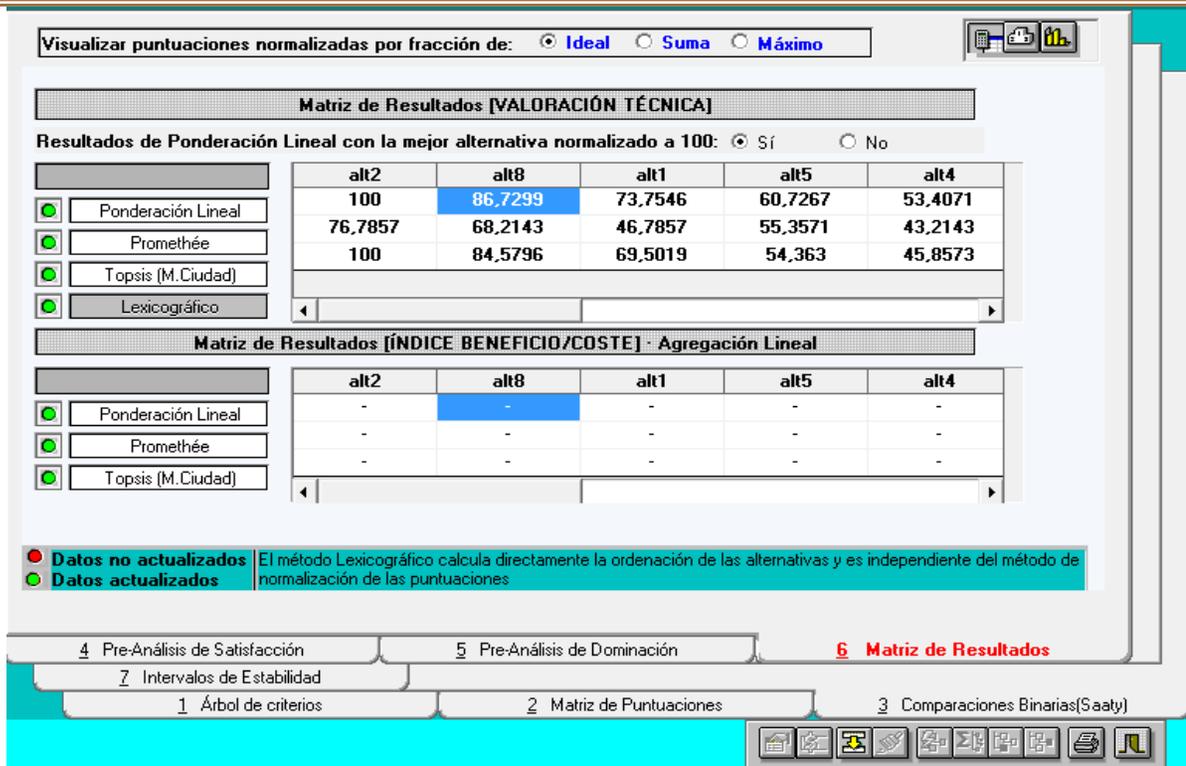


Figura 3.9. Matriz de resultados

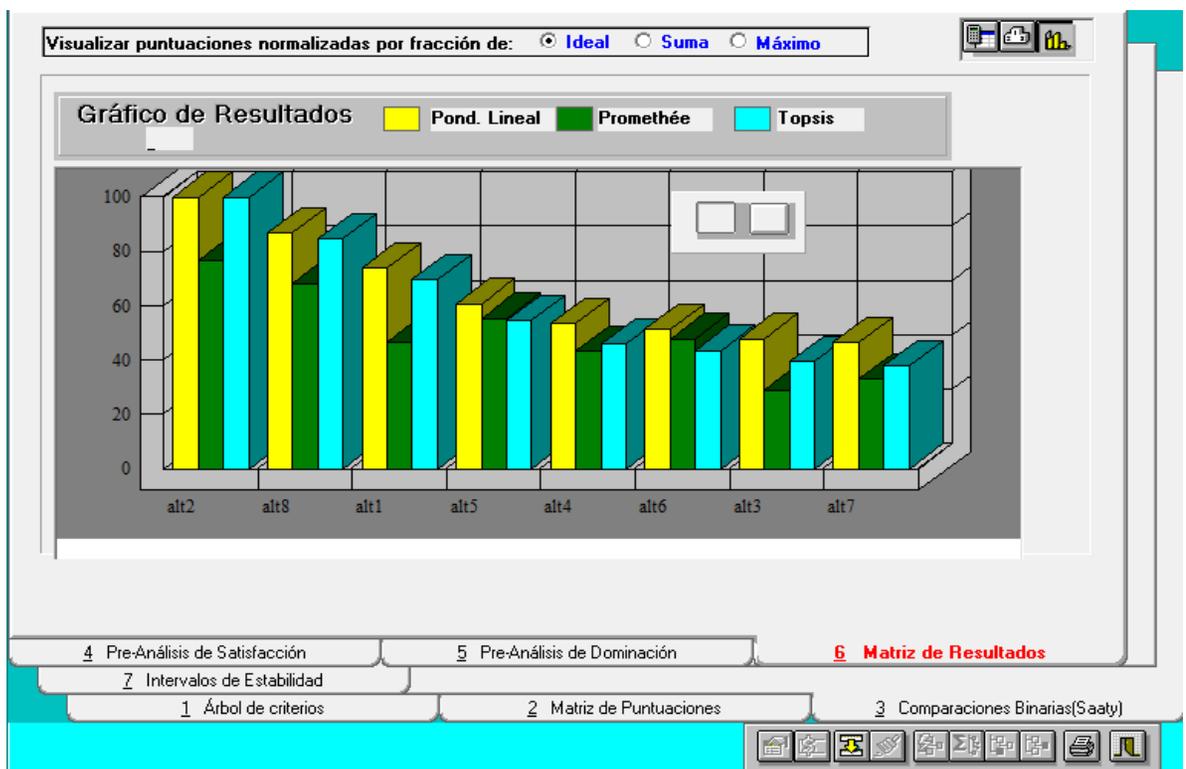


Figura 3.10. Grafico de la matriz de resultados

## **MARCO METODOLÓGICO**

---

---

### **3.2.5 Determinación de la factibilidad económica de la alternativa planteada.**

Para el desarrollo de este objetivo se realizó una relación costo-beneficio a través de la inversión del proyecto y los costos asociados a los beneficios económicos. Esto se pudo lograr investigando el costo operacional del producto terminado, cantidad pedida por el cliente y precio de venta determinándose así el porcentaje de devolución del producto, con estos valores se estimó la pérdida o desperdicio que se ocasionaba (Ettedgui y Giugni, 2007).

Luego se determinó la factibilidad de las alternativas planteadas, realizando una inversión para el desarrollo de dichas alternativas, debido a que con ellas gran parte del desperdicio generado por las devoluciones se transforma en ingreso, gracias a que se disminuyen las pérdidas.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

*En esta sección se muestran los diferentes resultados obtenidos y el análisis en base a las referencias y antecedentes, cumpliendo así cada uno de los objetivos planteados en esta investigación.*

#### **4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL PROCESO DE COEXTRUSIÓN.**

En la figura 4.1, se exponen las diferentes variables identificadas como las que afectan a la variación de las propiedades mecánicas de la película coextruída en una serie de factores. Entre las variables más destacadas se tienen: tratado de la película; espesor; cantidad de polietileno con aditivo deslizante; temperatura, tiempo y humedad del almacén; velocidad de halado y bobinado como se puede observar en la figura 4.2. Esta selección de variables fue debido a que se encontró que con ellas se logra ver directamente, a través de los ensayos de calidad el comportamiento de las propiedades mecánicas (COVENIN 463, 1994; COVENIN 384, 1998; COVENIN 994, 1998; COVENIN 1019, 1999).

## ***RESULTADOS Y DISCUSIÓN***

---

---

## ***RESULTADOS Y DISCUSIÓN***

---

---

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS MÁS INFLUYENTES QUE AFECTAN LAS VARIABLES DE CALIDAD DE LAS PELÍCULAS COEXTRUÍDAS.**

Las variables más influyentes que fueron evaluadas en la etapa experimental, se obtuvieron al determinar las causas más importantes de las seis siguientes que intervienen en la producción y almacenamiento de las películas coextruídas de polietileno lineal de baja densidad: materiales, medición, medio ambiente, maquinaria, método y mano de obra.

Al evaluar la mano de obra, las variables involucradas en él fueron capacitación y desempeño laboral. Este factor fue descartado 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; las condiciones de trabajo son las idóneas para un buen desempeño, lo que garantiza la calidad del producto terminado.

La segunda causa analizada consistió en el método de producción, en el cual existen dos técnicas de elaboración de películas coextruídas por cast film, donde se obtiene una lámina de polietileno coextruída en dado plano, fabricada con calibración electrónica y tratamiento corona y por blown film donde se produce una película cuando se fuerza la resina dentro de un tubo, la cual es expandida por medio de aire a presión. Al comparar estas técnicas, se toma en consideración, los requerimientos del producto, las limitaciones por costo, el tamaño esperado de los pedidos y como se adecuan las capacidades y requerimientos de la empresa a las exigencias de cada proceso. Se determinó que, aunque la técnica de cast film es altamente eficiente, genera un producto final con propiedades ópticas superiores, distribución uniforme de espesores, entre otros; la técnica de blown film es la que genera mejores propiedades mecánicas, debido al nivel de orientación en la dirección transversal a la que se somete dicha película como se puede observar en la tabla 4.1 (Polipropileno del Caribe Propilco S.A., 2008; Rincón, 2006).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 4.1. Comparación entre las técnicas de cast y blown film

PROPIEDAD	PELICULA SOPLADA	PELICULA CAST
Propiedades mecánicas	Buenas. Orientación en dirección maquina (DM) y dirección transversal (DT).	No tan buenas; se parte fácilmente en DT.
Cristalización	Alta. Enfriamiento lento promueve cristalización. Película más densa y rígida.	Orientación mono axial (DM), estrechamiento. Baja; estructura amorfa. Enfriamiento rápido evita cristalización. Película menos densa y más dócil.
Propiedades ópticas	Inferior. Menor brillo y claridad; mayor opacidad.	Superior. Mayor brillo y claridad; poca opacidad.
Termoformabilidad	Aceptable. Película tiene alguna orientación DM y DT. Mayor cristalización.	Buena. Película tiene orientación sólo en DM. Menor cristalización.
Uniformidad de espesor	No tan buena: $\pm 7 - 10\%$ .	Muy buena: $\pm 2.5\%$ o mejor con control automático de espesores.
Planitud	Buena con control automático de espesores: $\pm 3.5 - 5\%$ .	Muy buena.
Curling (enrollamiento)	Aceptable.	Más fácil de controlar. curling en estructuras desbalanceadas.
Resinas	Difícil de controlar curling en estructuras desbalanceadas. Enfriamiento lento.	Enfriamiento rápido. Índice de fluidez más alto y menor resistencia de la masa fundida.
Procesamiento	Índice de fluidez más bajo y mayor resistencia de la masa fundida.	Temperaturas más altas (245°C)
Rendimiento en producción de Película Barrera	300 - 350 kg/hr con un cabezal de 500mm para estructuras con PA.	400 - 450 kg/hr con un cabezal de 2m, dependiendo del espesor y relación de capas.
Versatilidad del proceso	Buena, los anchos pueden variar bastante.	Limitada, anchos pueden variar dentro de rango limitado.
Versatilidad de la estructura	Reología de capas puede variar hasta cierto punto.	Reología de capas debe ser muy cercana.
Versatilidad en cambio de capas	Deben cambiarse resinas de los extrusores.	No es necesario cambiar resinas en las extrusoras.
Refile y desperdicio	Normalmente no se requiere refile. Bajo desperdicio.	Se requiere refile. Bordes no son parejos y contienen alto porcentaje de una sola resina.

La empresa en su proceso de coextrusión emplea la técnica por blown film y este factor es descartado debido a que mediante esta técnica se garantiza un buen comportamiento de las propiedades mecánicas de las películas.

## ***RESULTADOS Y DISCUSIÓN***

---

---

Al analizar como tercera causa el medio ambiente, se encontró la variable almacén la cual involucra temperatura, tiempo y humedad. Esta causa no fue descartada debido a que contiene variables que afectan directamente el comportamiento de las películas coextruídas, siendo estas las que se pueden controlar para lograr la especificación pedida por el cliente. Aparte se logra ver la importancia de esta causa debido a que el producto terminado al ser sometido a las condiciones de almacenamiento presenta variaciones en sus propiedades mecánicas, las cuales no se observaban en los análisis realizados previamente. Estas variaciones se obtuvieron mediante una evaluación continua de las propiedades mecánicas, a través de los ensayos de calidad.

Al considerar la maquinaria como otra causa, se encontró que las variables involucradas en ella tales como bobinado, relación de soplado y estiramiento no fueron relevantes debido a que son parte del proceso de obtención del producto y no intervienen en el comportamiento de las propiedades mecánicas después de ser almacenado. Estas variables fueron descartadas, debido a que su control solo lo tiene el operador durante la fabricación de la película coextruída y no después de estar terminada.

En el caso de la materia prima, se encuentra involucrado el polietileno con aditivo deslizante empleado para la elaboración de las películas coextruídas en estudio, el cual fue descartado dado que las concentraciones de dicho aditivo están establecidas por el proveedor y no son modificables.

En cuanto a la medición, las variables que lo conforman son los ensayos de calidad y el espesor, esta causa no fue descartada debido a que es una herramienta empleada para determinar de manera cuantitativa el comportamiento de las propiedades mecánicas. Aparte, es un método de control para determinar si el producto se encuentra dentro de las especificaciones requeridas.

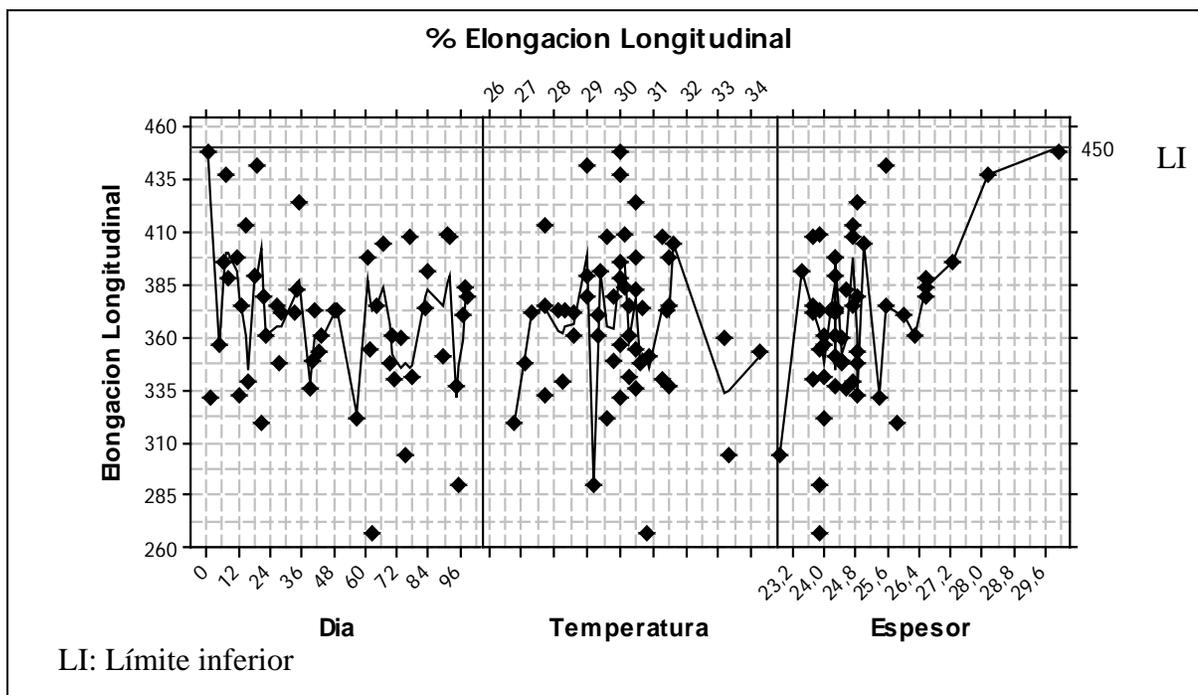
Después de haber analizado cada uno de los factores pertenecientes al diagrama Ishikawa, se determinó que las causas más influyentes fueron medición y ambiente. En cuanto a medición se descartaron las determinadas por los ensayos de calidad ya que los equipos con los que se hacen dichos ensayos tienen un rango de error muy pequeño. En medio ambiente las variables consideradas fueron el tiempo y temperatura que son la clave para mantener el producto

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

terminado en un rango aceptable por el cliente. La humedad fue descartada debido a que tiene una relación estrecha con la temperatura, ya que a una menor temperatura aumenta la humedad relativa, y no se considero necesario implementar de los valores obtenidos por esta variable (Dorighello, 2002).

### 4.3 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES QUE MÁS INFLUYEN SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

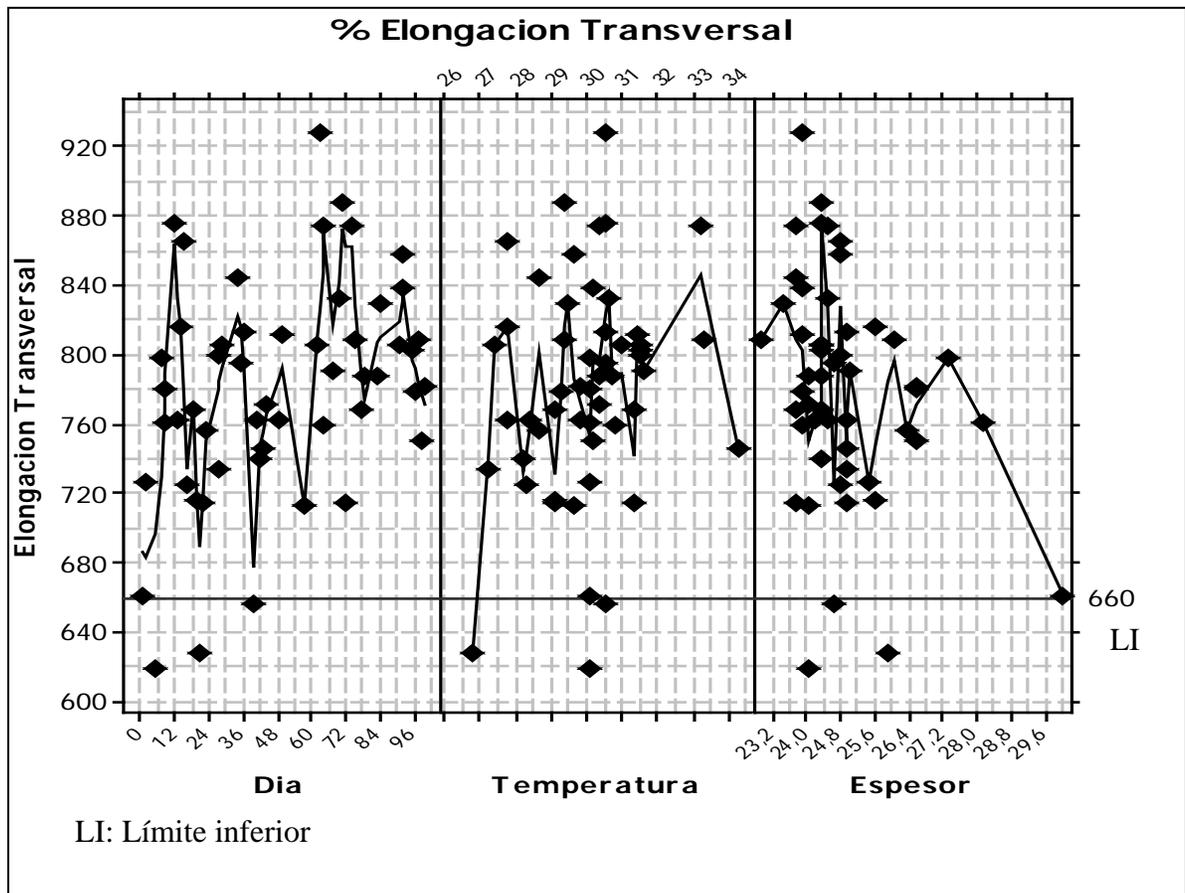
Al analizar los gráficos obtenidos para el lote de fabricación 1, se observa que para el seguimiento realizado al porcentaje de elongación longitudinal a través del tiempo, los valores obtenidos se encuentran en el rango (266,500 - 448,730) % como se muestra en la figura 4.3, donde el mayor valor se encontró inicialmente y los valores subsiguientes fueron menores a este. Los cuales no cumplen con el parámetro de calidad de la empresa que es  $> 450\%$  según la hoja de especificación mostrada en la tabla C.1 del Apéndice C, esto se debe a que dicha propiedad depende del espesor. La película presenta espesores menores en puntos diferentes, esto en conjunto con la degradación del polímero en condiciones de almacén, promueve al rompimiento de la película por los puntos más débiles.



**Figura 4.3.** Porcentaje de elongación longitudinal en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la figura 4.4 se obtuvo que la mayoría de los valores del porcentaje de elongación transversal, se encuentran dentro de la especificación requerida la cual es  $> 660\%$  según la hoja de especificación incluida en la tabla C.1 del Apéndice C. Las propiedades mecánicas en el sentido transversal fueron mayores que en el sentido longitudinal, gracias a que la longitud de halado de la burbuja fue mayor que la longitud de soplado, esto orienta a la película en sentido longitudinal, logrando una organización de la red molecular que disminuye la resistencia mecánica en este sentido (Rincón, 2007).

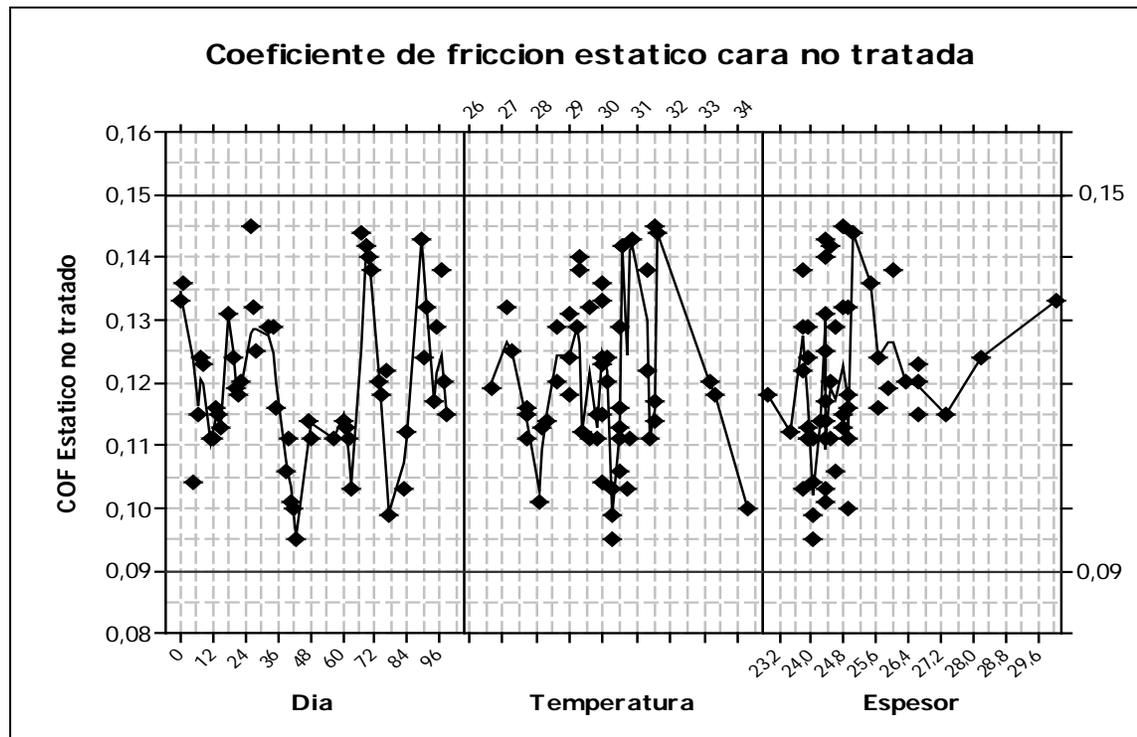


**Figura 4.4.** Porcentaje de elongación transversal en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.

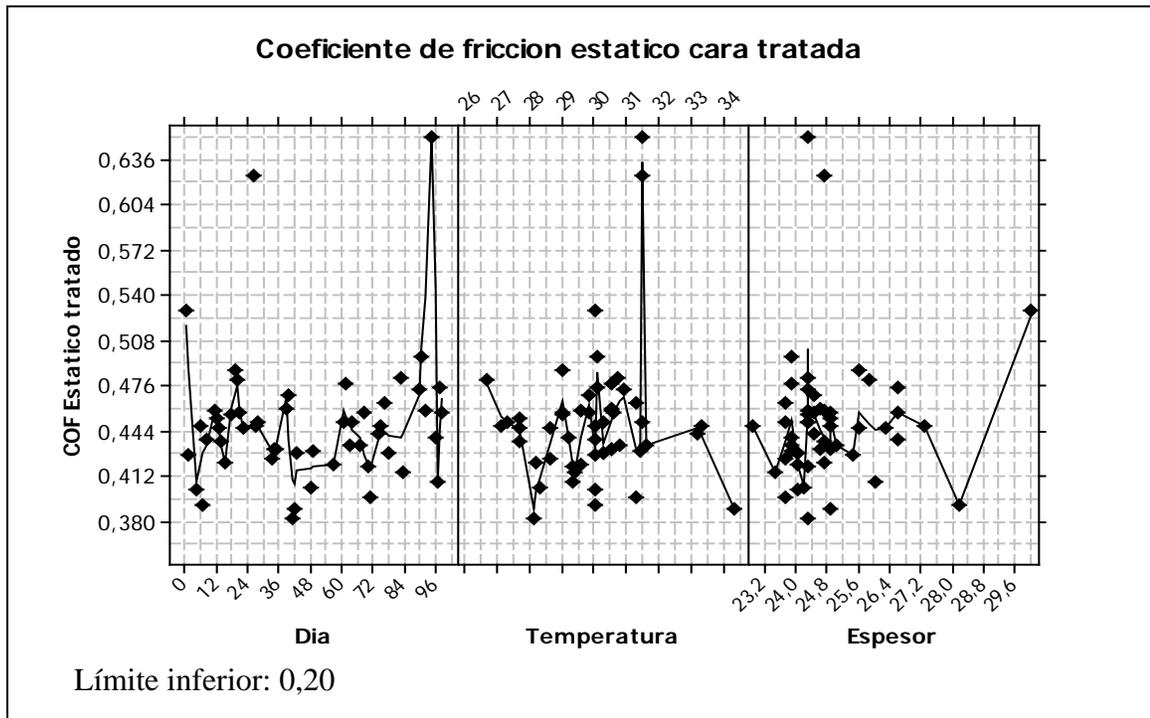
Para la figura 4.5 se puede observar que los valores obtenidos para el coeficiente de fricción estático cara no tratada, se encuentran dentro del parámetro de calidad (0,09-0,21) adim señalado en la hoja de especificación situada en la tabla C.1 del Apéndice C. Los valores elevados del coeficiente que presenta el gráfico, se deben a que la temperatura de almacenamiento en esos días

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

de evaluación se encontraba por encima de los 30°C favoreciendo la migración de aditivos a la superficie, para estas temperaturas en el gráfico de coeficiente de fricción estático cara tratada representado en la figura 4.6, se tienen valores de coeficiente más bajos que los registrados a temperaturas menores a 30°C. A pesar de las fluctuaciones que presenta dicho gráfico se cumple con el parámetro de calidad que es valores mayores a 0,20 adim.



**Figura 4.5** Coeficiente de fricción estático cara no tratada en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.



**Figura 4.6.** Coeficiente de fricción estático cara tratada en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.

En las figuras 4.7 y 4.8 se tiene que los valores obtenidos para el coeficiente de fricción dinámico, cara no tratada y tratada se encuentran dentro del parámetro de calidad (0,09-0,21) adim y mayor a 0,2 adim respectivamente, según la hoja de especificación ubicada en la tabla C.1 del Apéndice C. En ambas figuras no se observan picos pronunciados ya que los valores presentan proximidad entre ellos.

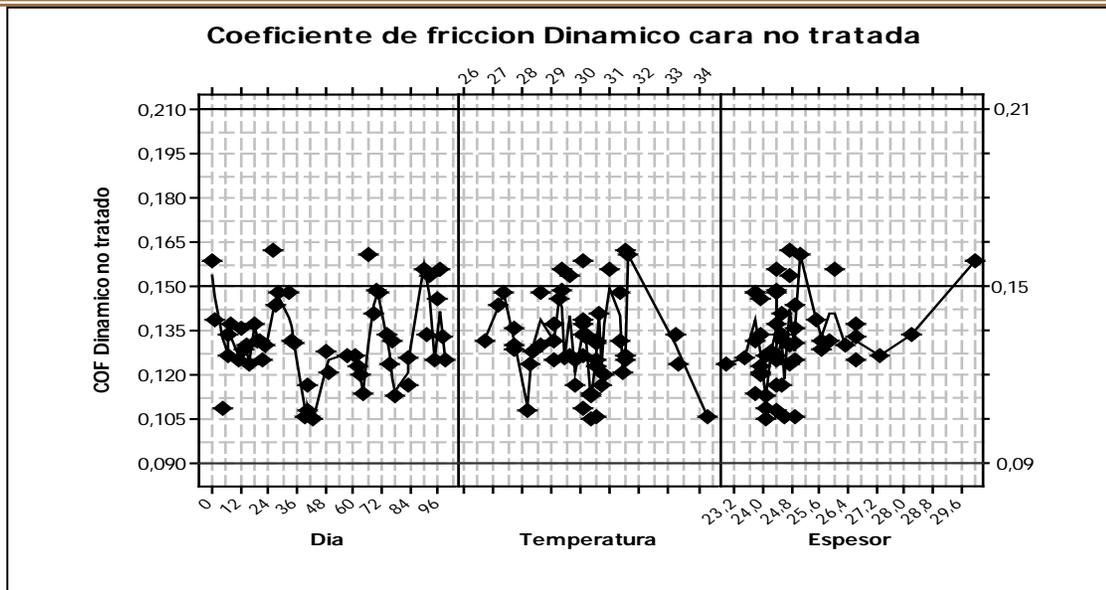


Figura 4.7. Coeficiente de fricción dinámico cara no tratada en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.

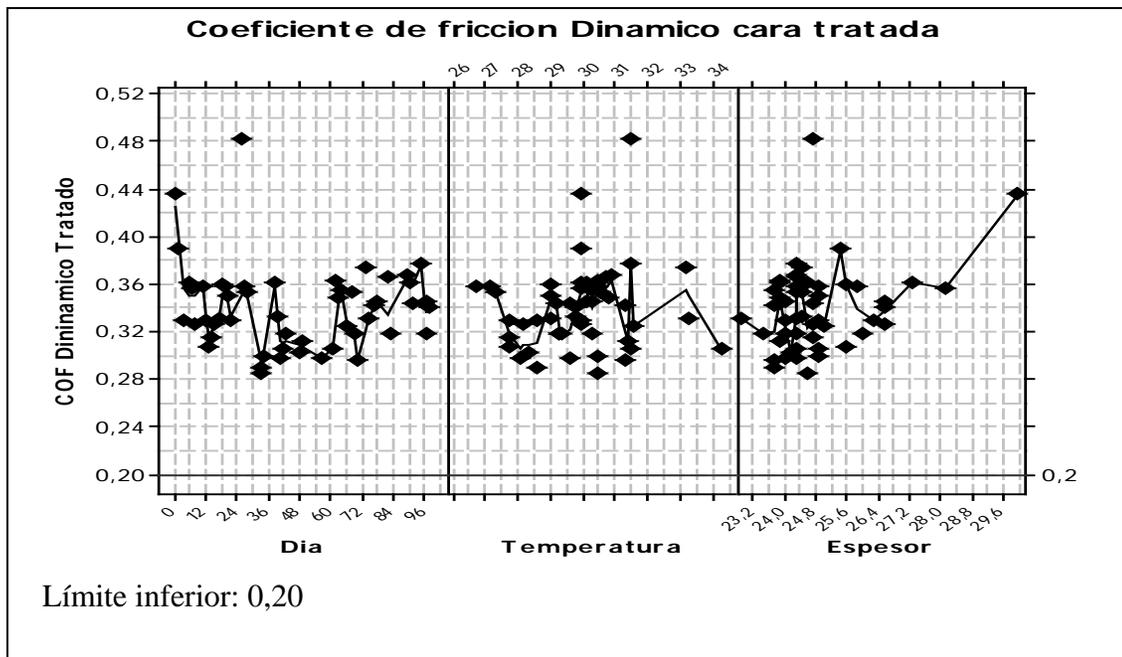
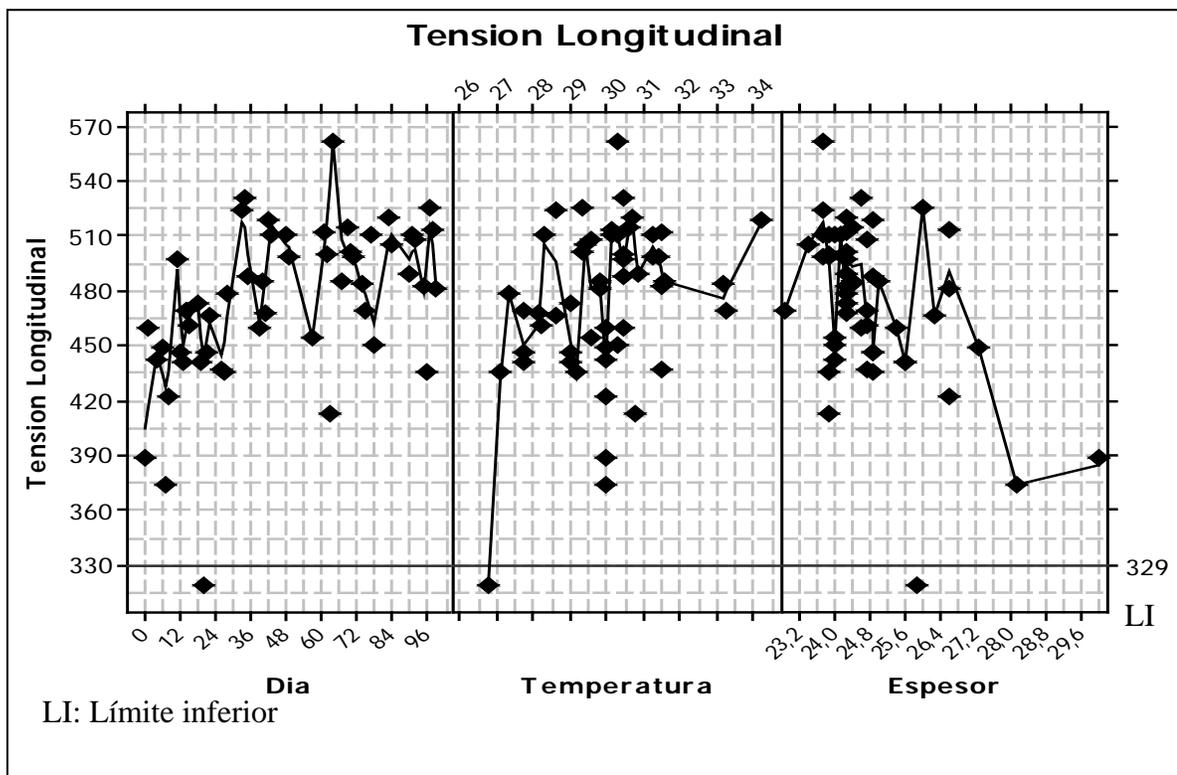


Figura 4.8. Coeficiente de fricción dinámico cara tratada en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.

Para los valores de la resistencia a la tensión longitudinal solo uno de los puntos no cumple con el parámetro de calidad según la figura 4.9, dicho parámetro fué  $> 329 \text{ kg/cm}^2$ ; mientras que en la transversal los valores se encontraron en el rango  $(167,974- 296,158) \text{ kg/cm}^2$  como se observa en

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

la figura 4.10 donde no todos satisfacen el parámetro de calidad que es  $> 212 \text{ kg/cm}^2$ , los parámetros de calidad están reflejados en la hoja de especificación localizada en la tabla C.1 del Apéndice C. El comportamiento esperado de la resistencia a la tensión es que a mayores espesores mayor es la propiedad, esto no se cumplió en su totalidad debido a que el espesor fue medido en un solo punto de la probeta, pero a lo largo de ella se tienen espesores puntales diferentes y al momento de evaluar la propiedad mecánica la probeta pudo iniciar fractura en un punto de espesor menor al reportado.



**Figura 4.9.** Tensión longitudinal en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.

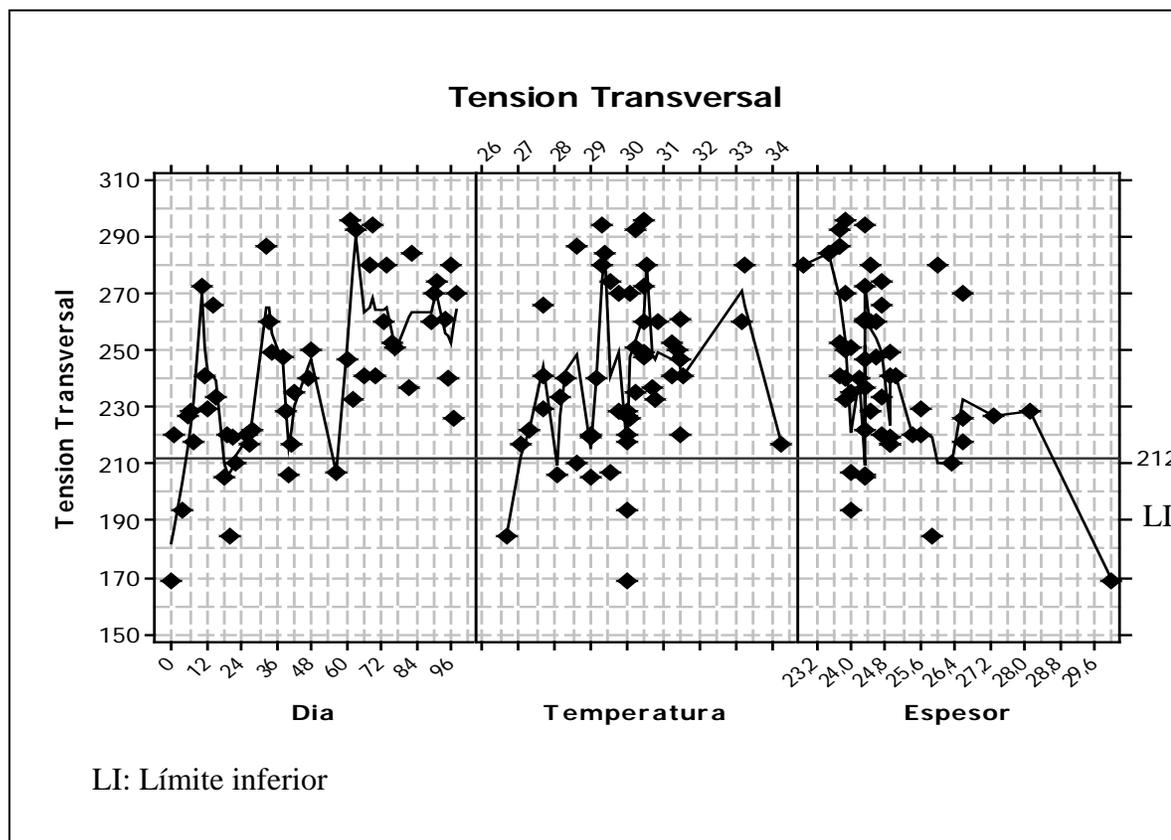
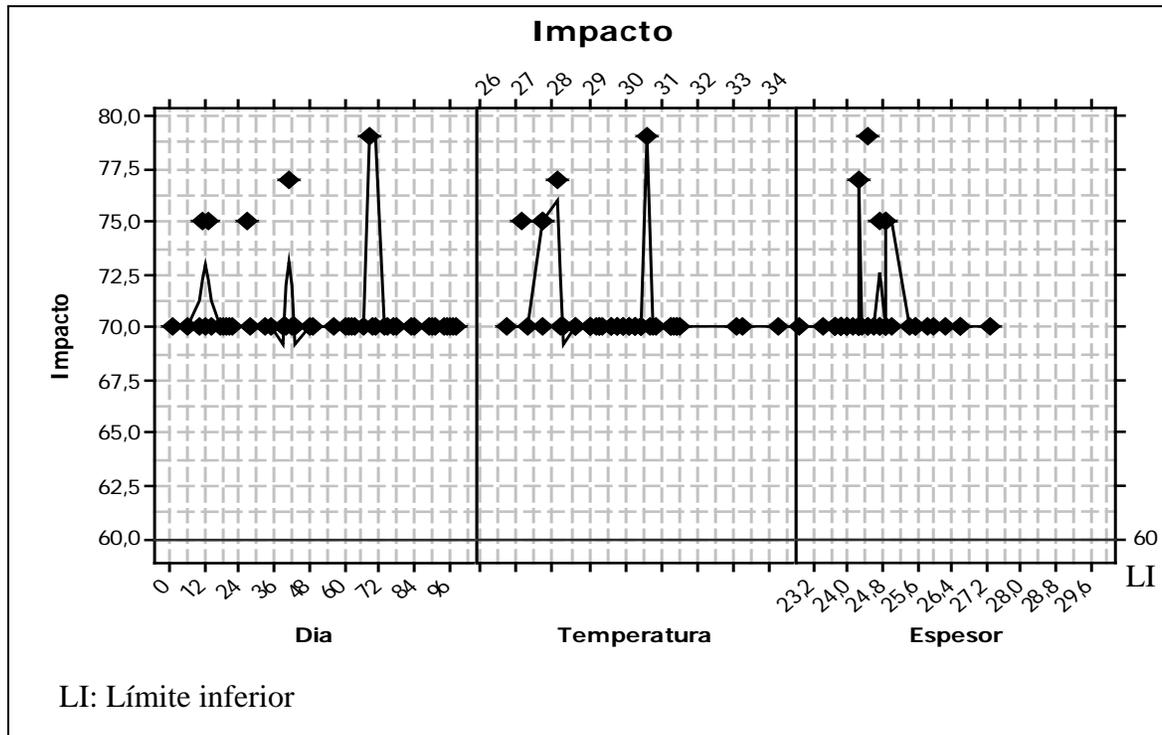


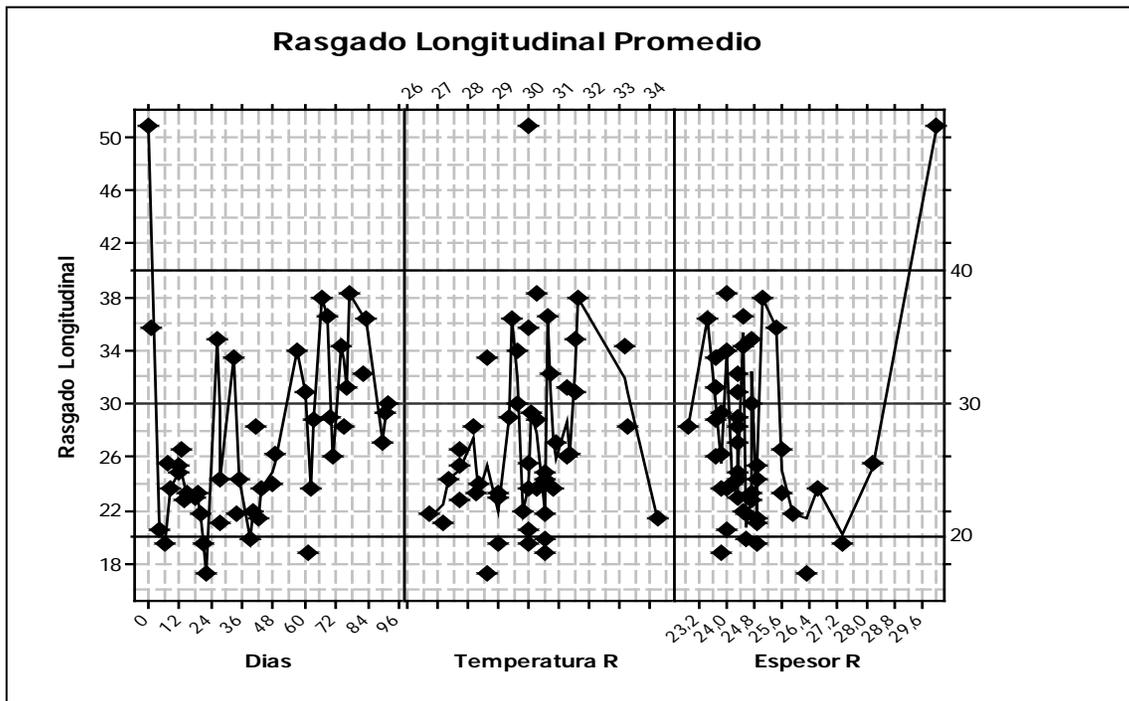
Figura 4.10. Tensión transversal en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.

Con respecto a la propiedad de resistencia al impacto mostrada en la figura 4.11 la mayoría de los valores se encuentran en 70gf, cumpliendo con la especificación del material que es valores mayores a 60 gf, según la hoja de especificación señalada en la tabla C.1 del Apéndice C. Los picos pronunciados en el gráfico se deben a fluctuaciones del espesor y errores asociados al procedimiento analítico (COVENIN 384, 1998).

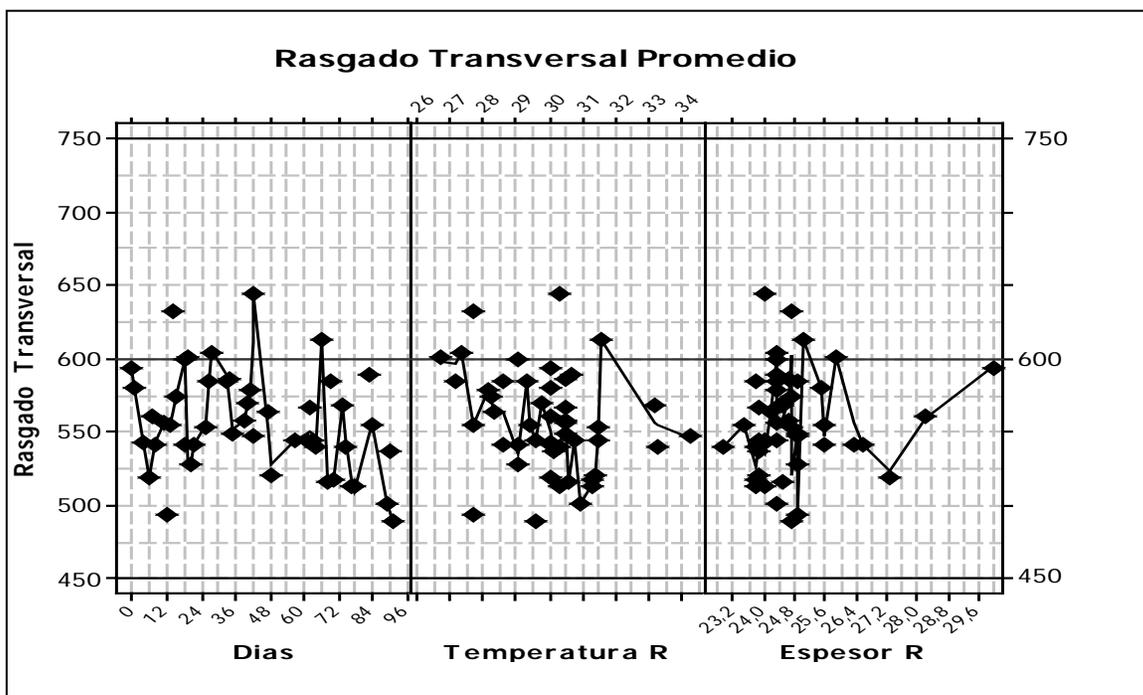


**Figura 4.11.** Impacto al dardo en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.

En la figura 4.12, se tiene el gráfico para la resistencia al rasgado longitudinal donde ciertos puntos se escapan del rango de calidad que es (20-40) gf; para la orientación transversal observada en la figura 4.13, todos los valores están dentro del rango de calidad que es (450-750) gf, además de que se encuentran próximos entre sí y cercanos al valor promedio del parámetro que es 600gf. Los rangos de calidad se indican en la hoja de especificación que se muestra en la tabla C.1 del Apéndice C. La resistencia al rasgado es una propiedad que depende directamente del espesor de la probeta en donde es medida y a mayores espesores mayor es dicha resistencia. En la experiencia práctica se cumplió en su mayoría la tendencia de aumento a mayor espesor, los valores que se encontraron fuera de la tendencia fue debido a la variación de los espesores puntales en la probeta como se explicó anteriormente para la propiedad de resistencia a la tensión.



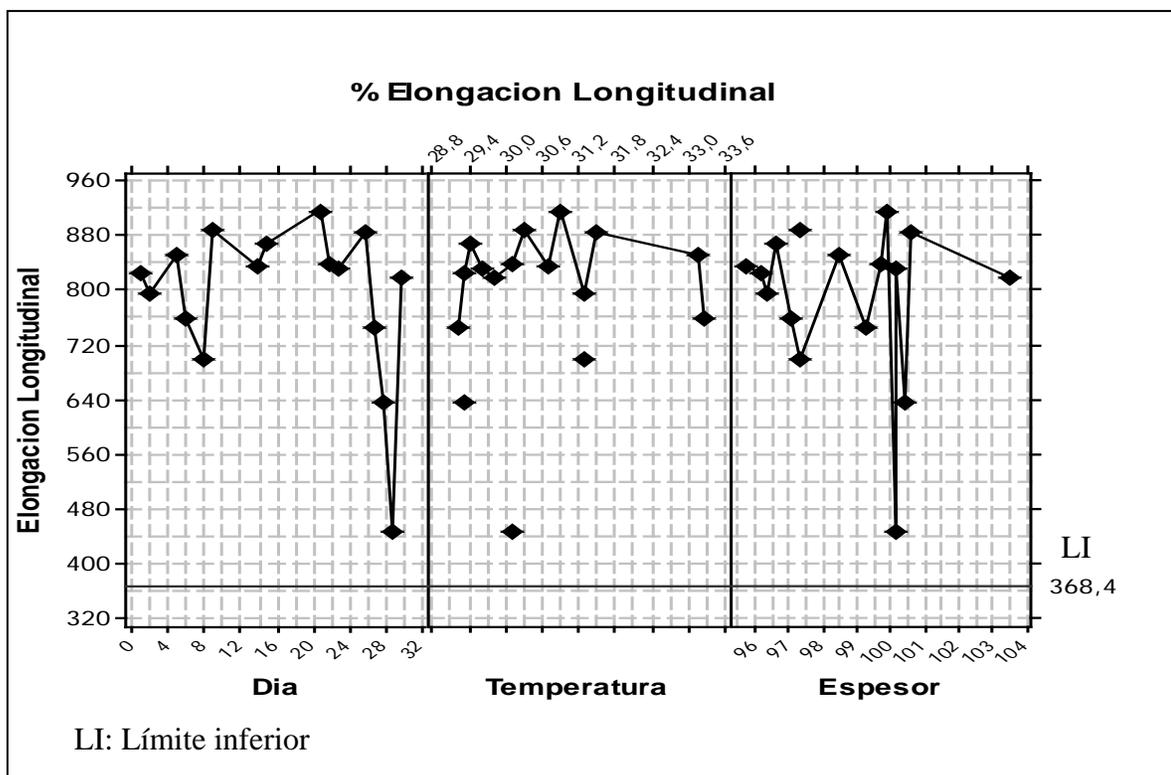
**Figura 4.12.** Rasgado longitudinal promedio en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.



**Figura 4.13.** Rasgado transversal promedio en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el lote de fabricación 2, en el porcentaje de elongación longitudinal mostrado en la figura 4.14 los puntos de la curva de tendencia se encuentran próximos entre si y son mayores a 368,4 % cumpliendo con el parámetro de calidad según la hoja de especificación mostrada en la tabla C.2 del Apéndice C, los puntos abarcan un rango comprendido entre (698,573 - 916,068) %. En cuanto al porcentaje de de elongación transversal mostrado en la figura 4.15, los valores reportados en su mayoría, se encuentran fuera de la especificación de calidad la cual es valores mayores a 995,8%. A pesar que los valores de espesor presentaron poca variación entre si, se observaron fluctuaciones en los valores reportados de porcentaje de elongación, esto se debió a que por estar el calibre de la película alrededor de 100 micras, el método empleado para determinar dicha propiedad varia con respecto a el utilizado en películas de calibres menores a 100 micras, como se muestra en el Apéndice B, debido a que la medida de la probeta es 0,6cm y puede contener error por parte del experimentador, ya que no se obtiene de un patrón sino que es medida con ayuda de una regla (COVENIN 1019, 1999).



**Figura 4.14.** Porcentaje de elongación longitudinal en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.

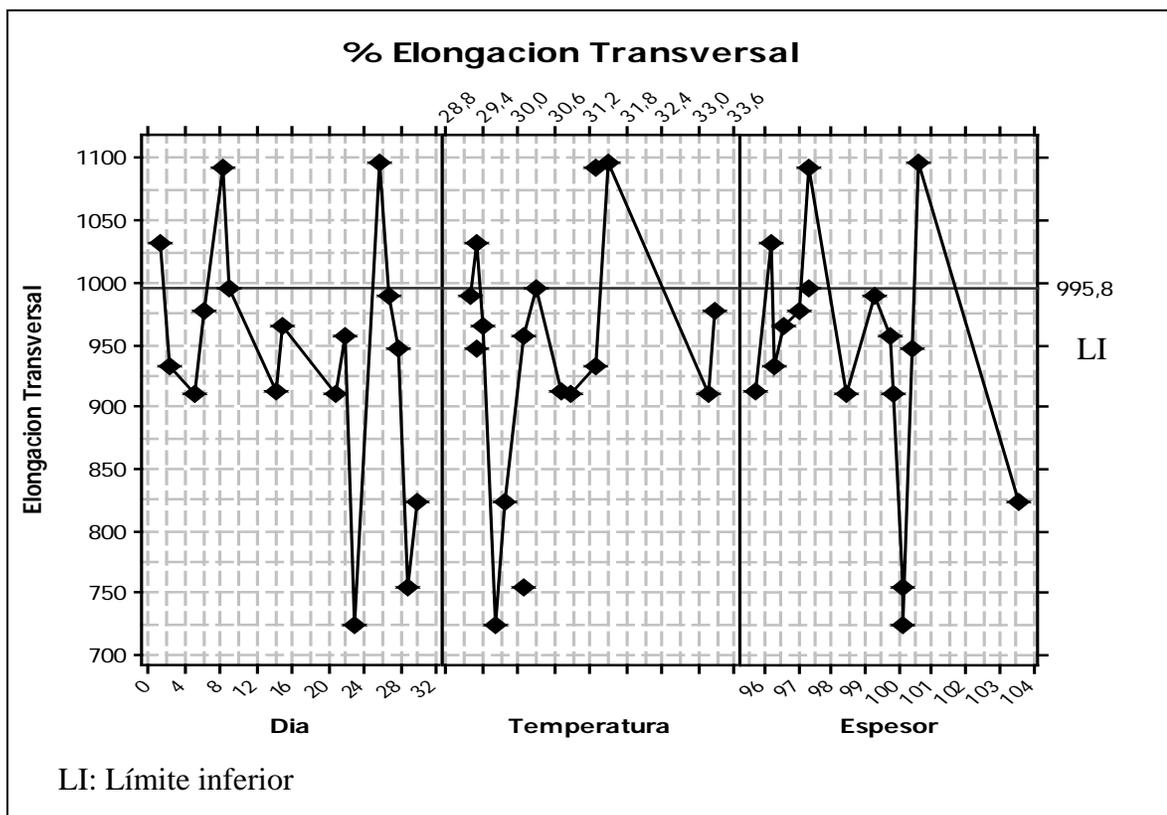


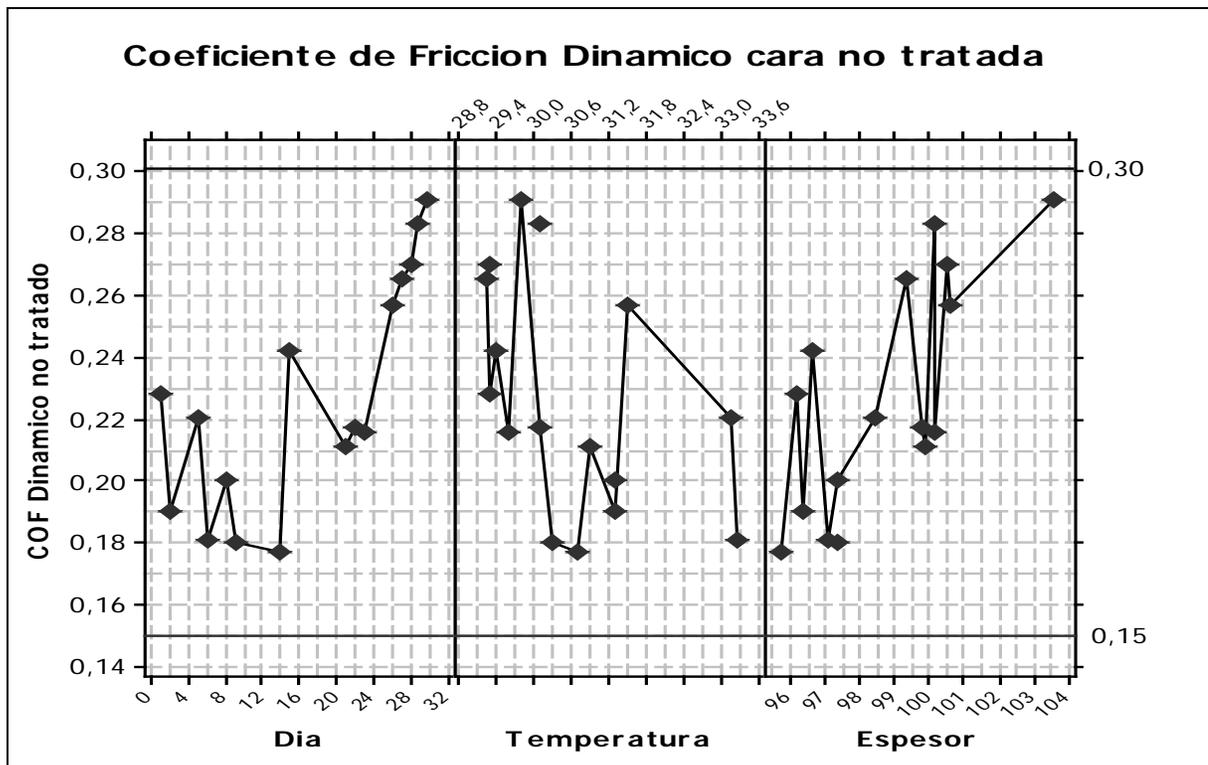
Figura 4.15. Porcentaje de elongación transversal en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.

Los valores obtenidos para el coeficiente de fricción estático cara no tratada y tratada se muestran en las figuras 4.16 y 4.17 respectivamente. Para la cara no tratada se obtuvieron algunos valores fuera del rango del parámetro de calidad el cual es (0,2-0,35)adim como se muestra en la hoja de especificación ubicada en la tabla C.2 del Apéndice C, la tendencia de este coeficiente de fricción es el aumento a través del tiempo, esto posiblemente se deba a la migración del aditivo deslizante de la cara tratada a la no tratada. En la cara tratada los valores se mantuvieron con poca variación entre ellos cumpliendo la especificación de calidad que es valores mayores a 0,40 adim. El espesor del lote de fabricación 2 se encuentra en el orden de las 100 micras, el cual es mucho mayor al del lote de fabricación 1, debido a esto la migración del aditivo de la cara tratada a la no tratada es leve, por lo que aumenta la relación área-volumen de la película como se observa en la figura 4.17.

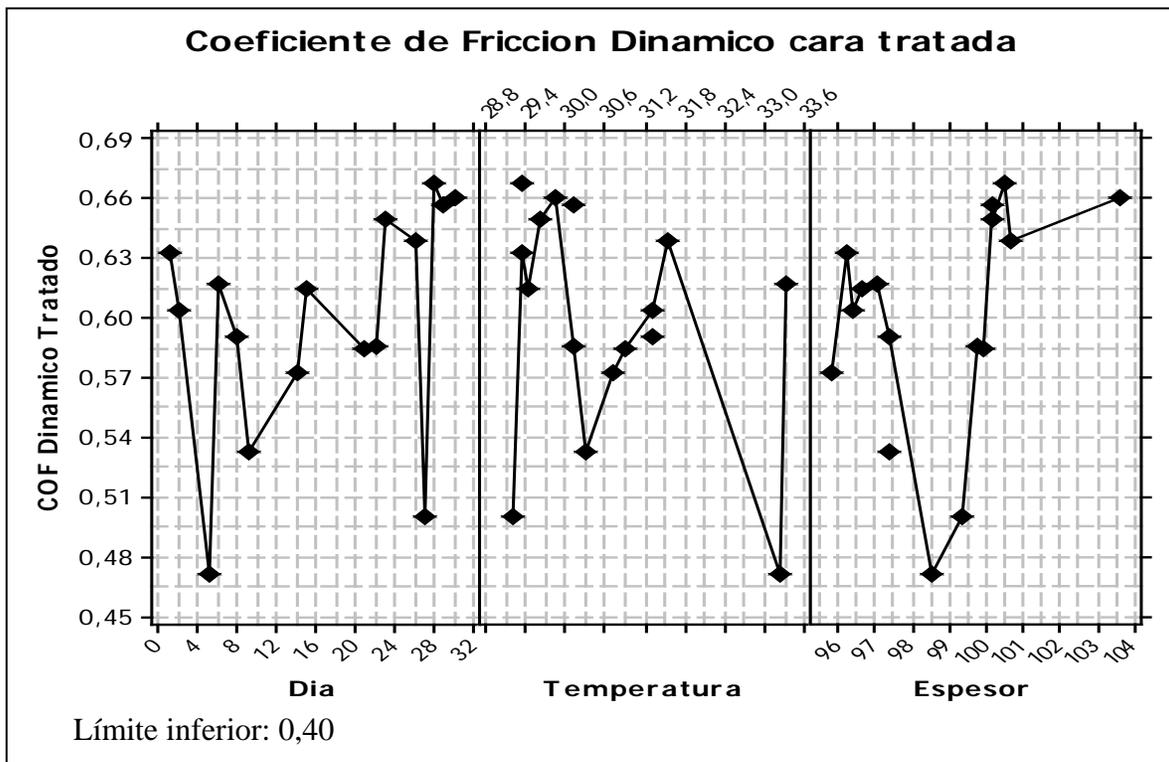


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto al coeficiente de fricción dinámico cara no tratada y tratada, se puede observar en las figuras 4.18 y 4.19 respectivamente que los valores se encuentran dentro del rango de calidad exigido por la empresa, el cual se muestra en la hoja de especificación ubicada en la tabla C.2 del Apéndice C. La tendencia de este coeficiente es de aumentar a través del tiempo, esto se le puede atribuir a la migración del aditivo deslizante de la cara tratada a la no tratada como se explico anteriormente.



**Figura 4.18.** Coeficiente de fricción dinámico cara no tratada en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.



**Figura 4.19.** Coeficiente de fricción dinámico cara tratada en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor de la de fabricación 2.

Para la resistencia a la tensión longitudinal y transversal, no todos los valores cumplen con los parámetros de calidad, indicados en la hoja de especificación incluida en la tabla C.2 del Apéndice C que son  $>235,4 \text{ kg/cm}^2$  y  $>350,4 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, como se observa en las figuras 4.20 y 4.21. Esto se debió a variaciones puntuales de espesores a lo largo de la probeta de ensayo, como se explico anteriormente para el lote de fabricación 1.

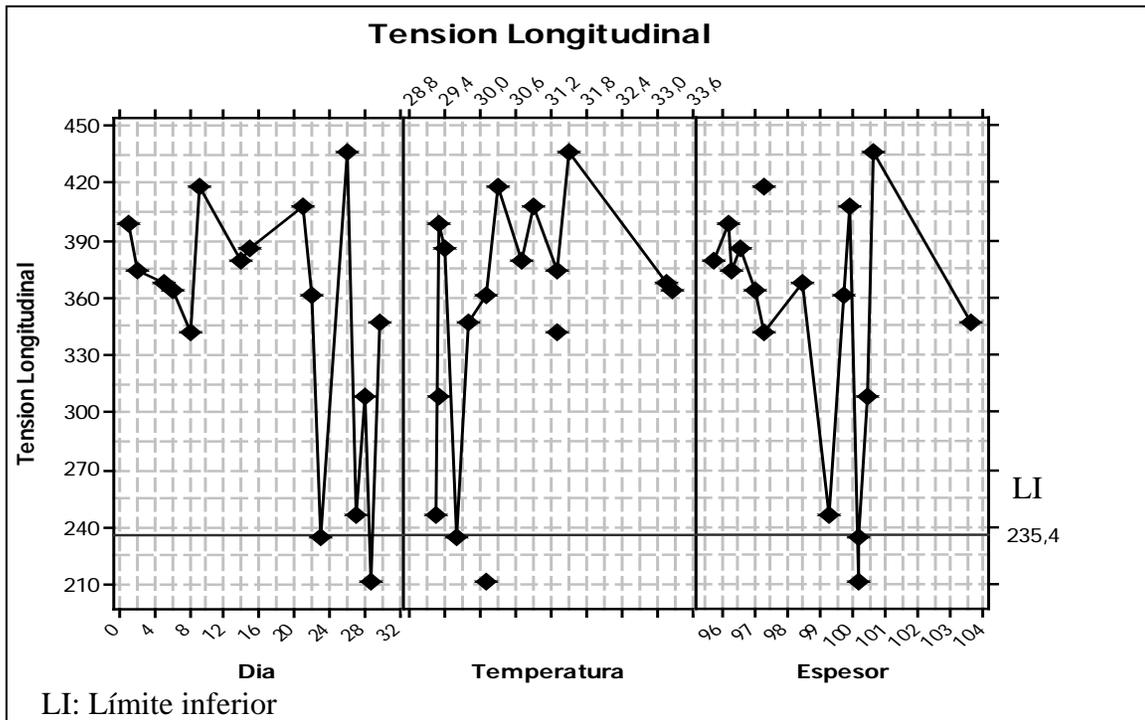


Figura 4.20. Tensión longitudinal en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.

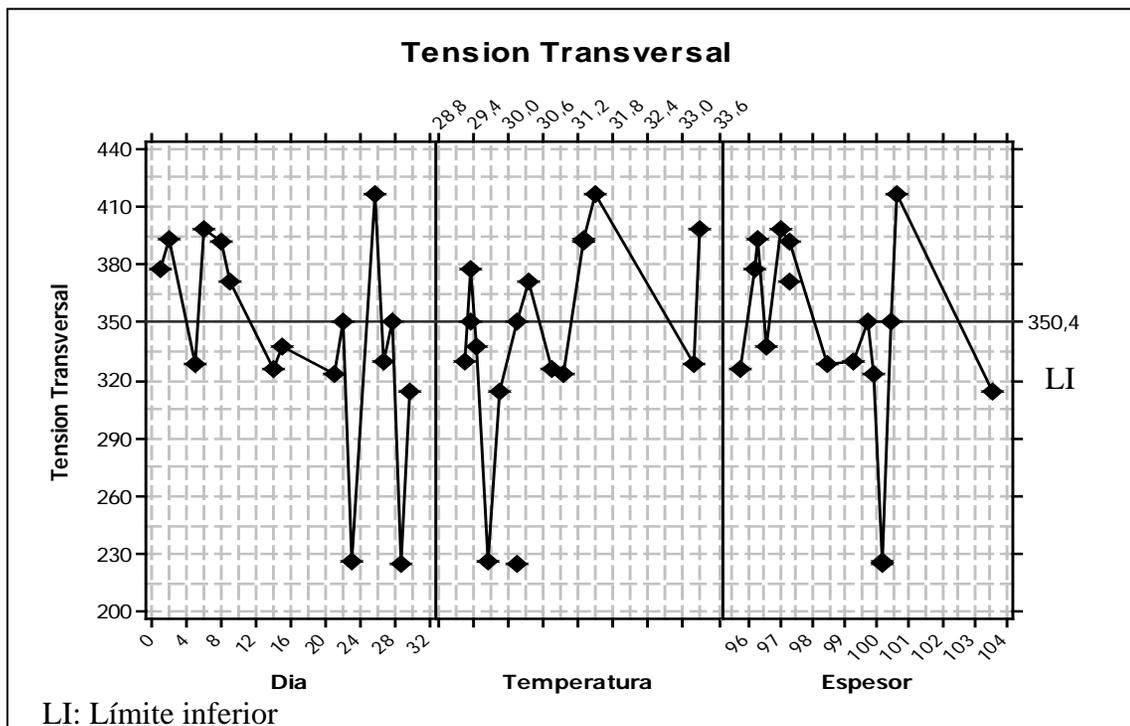
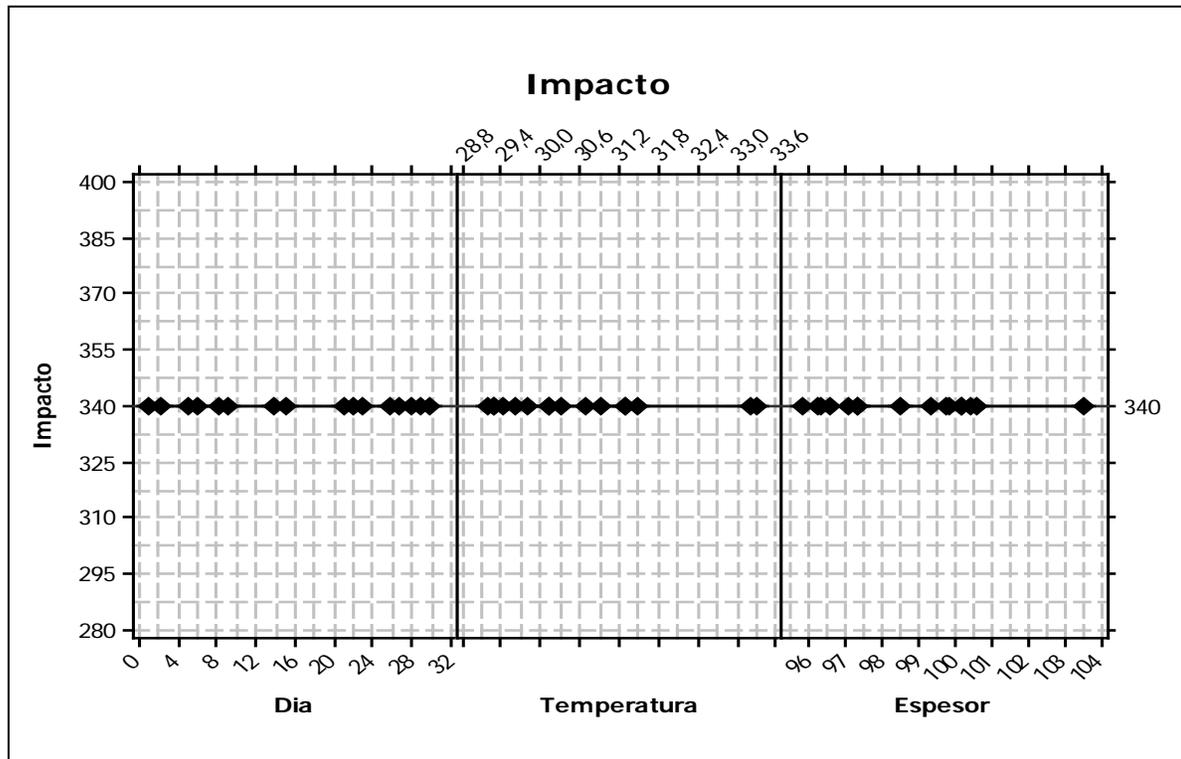


Figura 4.21. Tensión transversal en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.

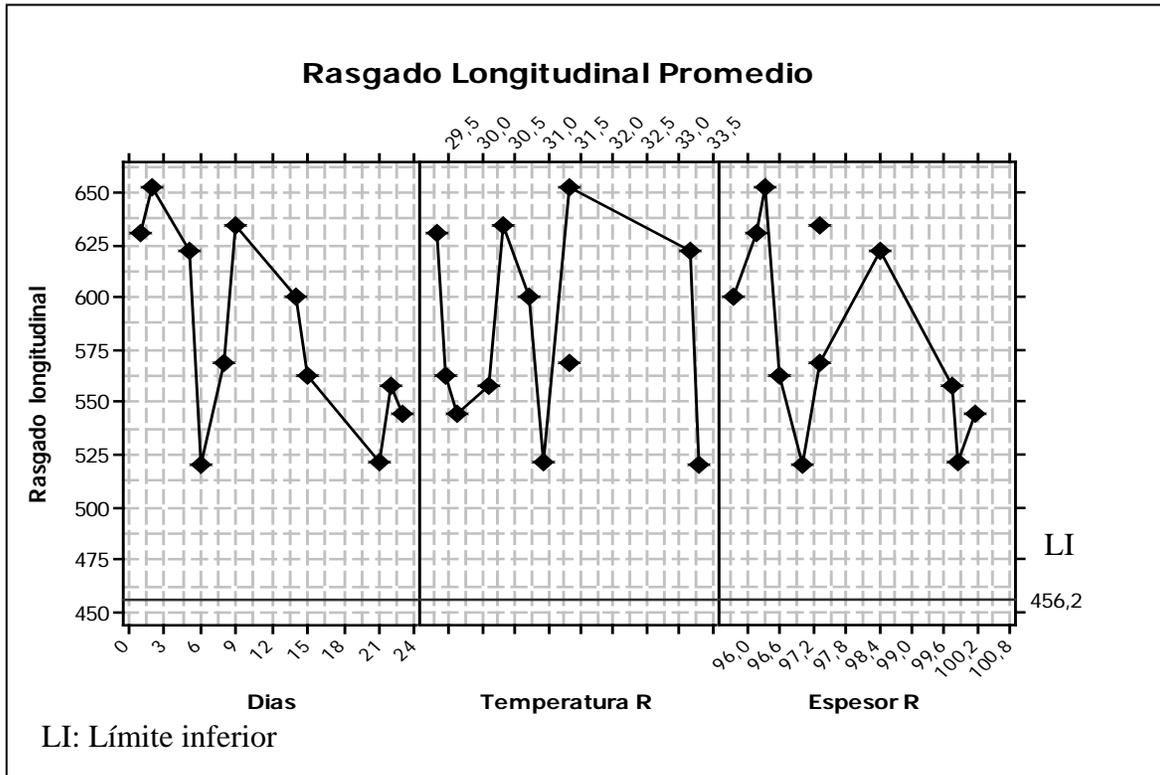
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 4.22 los valores reportados al medir la propiedad de resistencia al impacto se mantienen constantes en 340 gf, cumpliendo en su totalidad con el parámetro de calidad mostrado en la hoja de especificación ubicada en la tabla C.2 del Apéndice C, esto se debió a que la variación de espesores puntuales no es mayor al 25% de 98,650 mic. que es el espesor promedio de las muestras ensayadas (COVENIN 384, 1998).



**Figura 4.22.** Impacto al dardo en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.

Para la figura 4.23 se tiene el gráfico para la resistencia al rasgado longitudinal, donde todos los puntos cumplen el parámetro de calidad que es  $> 456,2$  gf según la hoja de especificación señalada en la tabla C.2 del Apéndice C; la tendencia esperada era aumento de la propiedad con respecto al espesor, esto no se cumplió en su totalidad debido a la variación de los espesores puntuales en la probeta como se explicó anteriormente para el lote de fabricación 1.



**Figura 4.23.** Rasgado longitudinal promedio en función del día, temperatura de almacenamiento y espesor del lote de fabricación 2.

En la propiedad de rasgado transversal no se obtuvieron datos, ya que en el método empleado para la medición de la propiedad al máximo peso que es 1800g no se rasgaba la película, demostrando una muy buena resistencia al rasgado en este sentido.

Para el lote de fabricación 2 se observó un mejor comportamiento en las propiedades mecánicas comparado con el lote de fabricación 1, debido a que en lote de fabricación 2 se acepta un mayor rango de error en el espesor como se indica en las hojas de especificación mostradas en las tablas C.1 y C.2 del Apéndice C, por ende, dichas variaciones son menos significativas que para el lote de fabricación 1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.4 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA TÉCNICAMENTE APROPIADA.

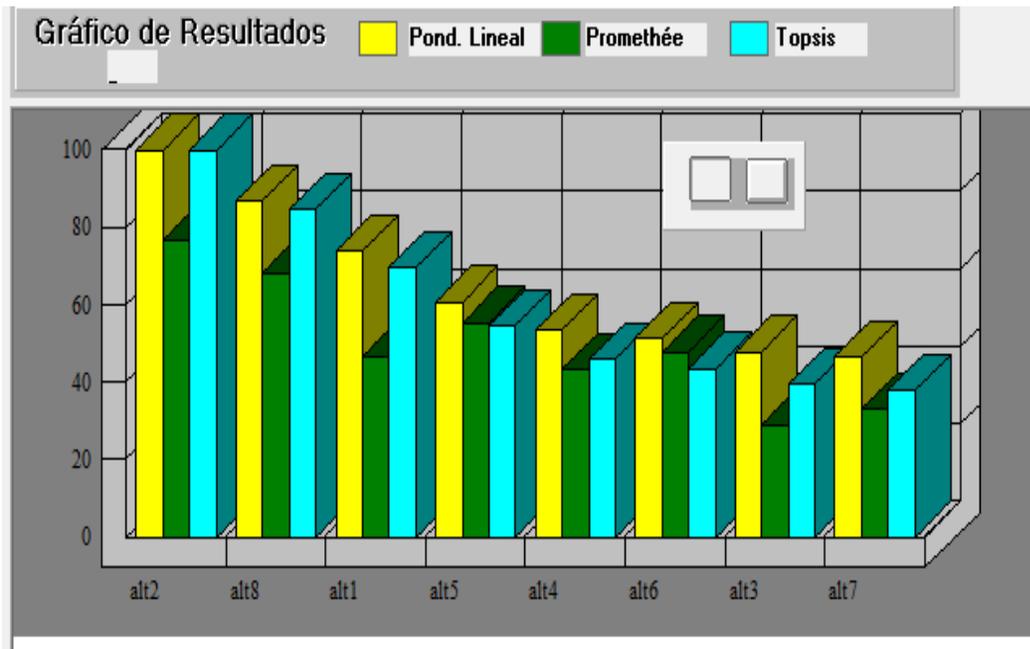
La valoración asignada a los criterios empleados para la selección de las alternativas se muestran en la tabla 4.2, de igual manera en la tabla 4.3 y figura 4.24 se puede observar que de las ocho alternativas planteadas la 2 y la 8, que se refieren a los rodillos colapsantes y dado respectivamente, fueron las que obtuvieron una mayor ponderación según el diseño seguido que fue el de maximización, el cual establece que a mayor ponderación mejor alternativa. Esto fue debido a que con un mejor manejo o cambio de rodillos colapsantes y dado se logra un mayor control de espesor, garantizando que se cumplan los parámetros de calidad exigidos por el cliente. Ponderación lineal, Promethée y Topsis son tres metodos de evaluacion multicriterio que se usaron en en el proceso de decisión para la selección de una alternativa.

**Tabla 4.2. Valoración de los criterios empleados para la selección de alternativas**

Criterio	Peso final (%)
Condiciones de almacenamiento	15
Vida útil del producto	15
Disponibilidad de tecnologías	30
Operabilidad	40

**Tabla 4.3. Matriz de resultados para la selección de alternativas empleando el método de normalización por fracción ideal**

Nº Alternativa	Ponderación Lineal	Promethée	Topsis
1	73,7546	46,7857	69,5019
2	100	76,7857	100
3	47,8041	28,2986	39,3465
4	53,4071	43,2143	45,8573
5	60,7267	55,3571	54,363
6	51,3849	47,8571	43,5075
7	46,6456	32,8570	38,0002
8	86,7299	68,2143	84,5796



**Figura 4.24.** Normalización por fracción ideal

#### 4.5 DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA ALTERNATIVA PLANTEADA.

Para el desarrollo de este objetivo, se contó con ciertos datos suministrados por el personal encargado de producción y control de calidad como se muestra en la tabla 4.4 que se observa a continuación:

**Tabla 4.4. Información de costos, pedidos y rango de devolución mensual del producto**

<b>Costo de producto terminado por mes (BsF.)</b>	5,8
<b>Precio de venta del producto terminado (BsF.)</b>	9,5
<b>Pedido mensual de mercancía (Kg.)</b>	5000 - 8000
<b>Rango de devolución del producto (bobinas)</b>	2 - 5

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Costos Operacionales**

El valor de estos costos viene dado por la suma de los costos por materia prima y los de fabricación, donde el último mencionado representa los egresos por los servicios como el agua, la electricidad, la mano de obra, mantenimiento de los equipos, etc. De acuerdo al Departamento de producción estos gastos se estimaron en 5,8 BsF. /Kg.

### **Precio de venta al público**

El valor del precio de venta del producto terminado, es el costo de adquisición que corresponde a la mercancía vendida y que da lugar a la obtención de un ingreso. Este precio esta fijado por la empresa y según información obtenida por el personal de producción se estima que esta en 9,5 BsF. / Kg.

### **Bobinas producidas por pedido**

Para la estimación del número de bobinas obtenidas por pedido, la empresa suministró la información de un rango aproximado de kilogramos pedidos y bobinas devueltas por el cliente mensualmente. Estos rangos resultaron estar para el pedido entre (5000-8000) Kg. y para las devoluciones por material fuera de especificación entre (2-5) bobinas, donde el peso de cada bobina se encuentra aproximadamente en 120 Kg.

Con la información recopilada y cálculos asociados que se indican en el Apéndice B, se logro obtener la cantidad de bobinas pedidas y el porcentaje de pérdida del producto por mes, estos valores se encuentran señalados en la siguiente tabla:

**Tabla 4.5. Cantidad de bobinas pedidas y porcentaje de pérdida del producto mensual**

<b>Bobinas pedidas por mes (bobinas)</b>	42 - 67
<b>Porcentaje de pérdida (%)</b>	4,761 – 7,462

Con la aplicación de las alternativas planteadas y una relación costo – beneficio se logra resolver la problemática de las pérdidas de producto, lo que hace que dichas alternativas sean económicamente factibles.

**Tabla 4.6. Valores de inversión, beneficios y costos para la implementación de las alternativas**

<b>Inversión (BsF.)</b>	70000
<b>Costo para la empresa (BsF./año)</b>	30658,320
<b>Beneficio para la empresa (BsF./año)</b>	27360 - 68400

**Tabla 4.7. Relación beneficio - costo**

<b>R<sub>B-C</sub> (Adim)</b>	0.8924 – 2.2310
-------------------------------	-----------------

---

---

**DEDICATORIA**

Quiero dedicarle este trabajo primeramente a Dios quien me ha dado la vida, fortaleza, fe, perseverancia necesaria para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presenten, por colocarme en el mejor camino, iluminando cada paso de mi vida por darme la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

A mis padres, pero sobre todo a mi Mama por ser fuente de vida, serás siempre mi inspiración para alcanzar mis metas, por enseñarme que todo se aprende y que todo esfuerzo es al final recompensa. Que más valor tiene el cómo te levantaste, que la caída. Tu esfuerzo, se convirtió en tu triunfo y el mío, **TE ADORO**.

A mis hermanos Lee, Dani, Yean por entenderme en todo momento y apoyarme aun en la distancia.

A mi tía Águeda por ser mi segunda madre, por siempre tener los brazos abiertos dispuesta a brindarme su apoyo y consejo.

También a ti por enseñarme una frase que llevo y llevare siempre **las estrellas no se caen del cielo**. Hoy alcanzo una de mis estrellas seguiré luchando por alcanzar el resto.

**Andrea Arriens**

---

---

**DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a un grupo de personas muy especiales en mi vida:

Primeramente a Dios, porque de él obtuve la fe y fortaleza necesaria para iniciar y concluir mi carrera.

A mis padres, por sus consejos, su cariño, amor y confianza. Ustedes estuvieron en todo momento conmigo, gracias por el apoyo brindado los quiero muchísimo.

A mi hermana Zayleth, por darme ánimos cuando fallaba y por hacerme reír cuando no había motivos, que hubiera hecho sin ti hermanita.

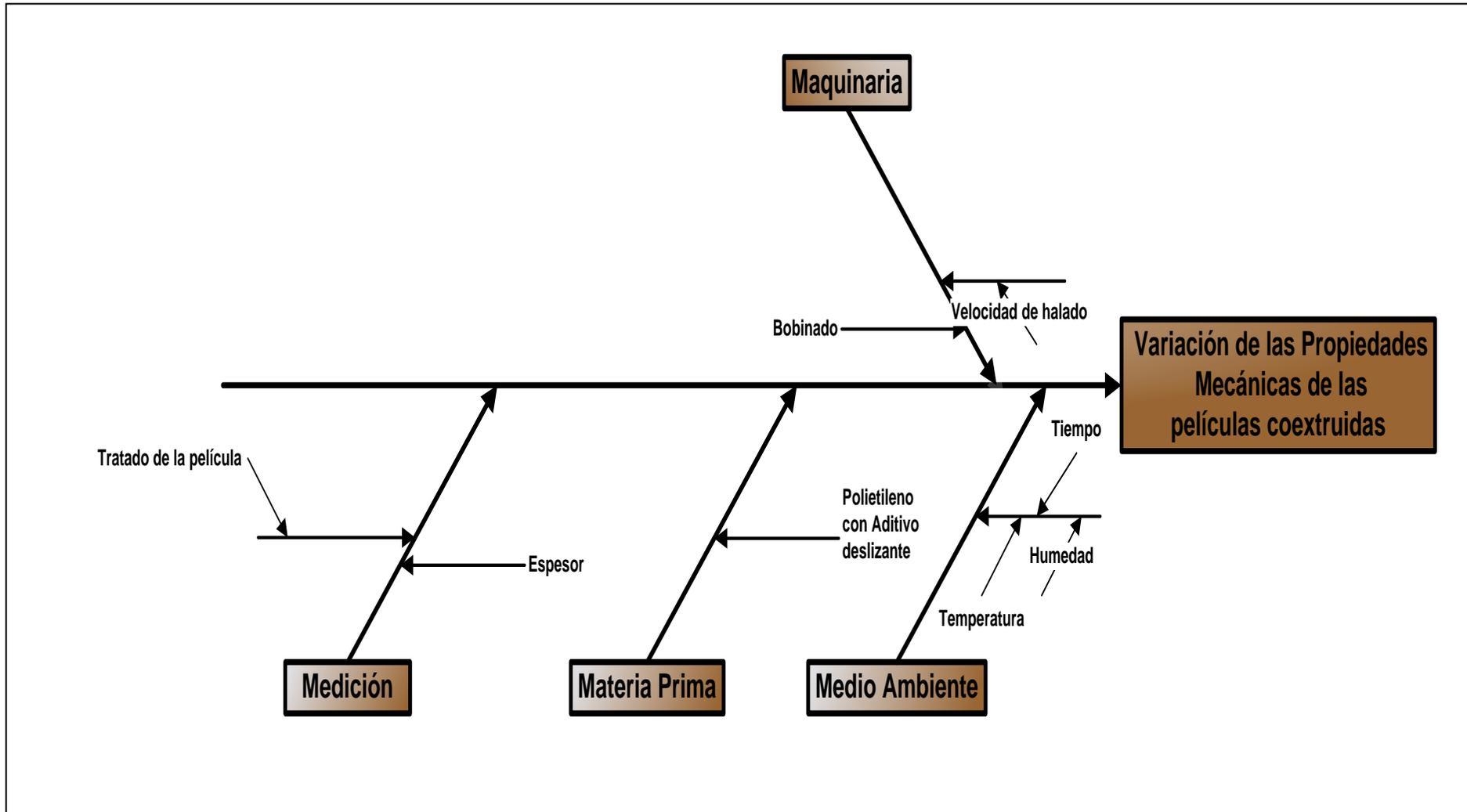
A mi amiga Blanca, por interesarse en mis estudios y estados de ánimo a lo largo de estos años.

A mis amigos Chomi, Andrea, Mai, Clai, Yessi, María, La China, Jenny, Belinda, Rebeca, Yrene, Fran, Nachito, Humberto, Luís y Víctor por compartir incontables momentos y hacer de los días de la universidad mis mejores vivencias. Les agradezco por haber estado allí tanto en los momentos buenos como en los malos.

Y a todas las personas que de una u otra forma se involucraron, apoyaron y sobretodo confiaron en mi.

**Nayleth Loaiza**

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



**Figura 4.2.** Diagrama causa – efecto depurado del proceso de coextrusión de las películas de polietileno lineal de baja densidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

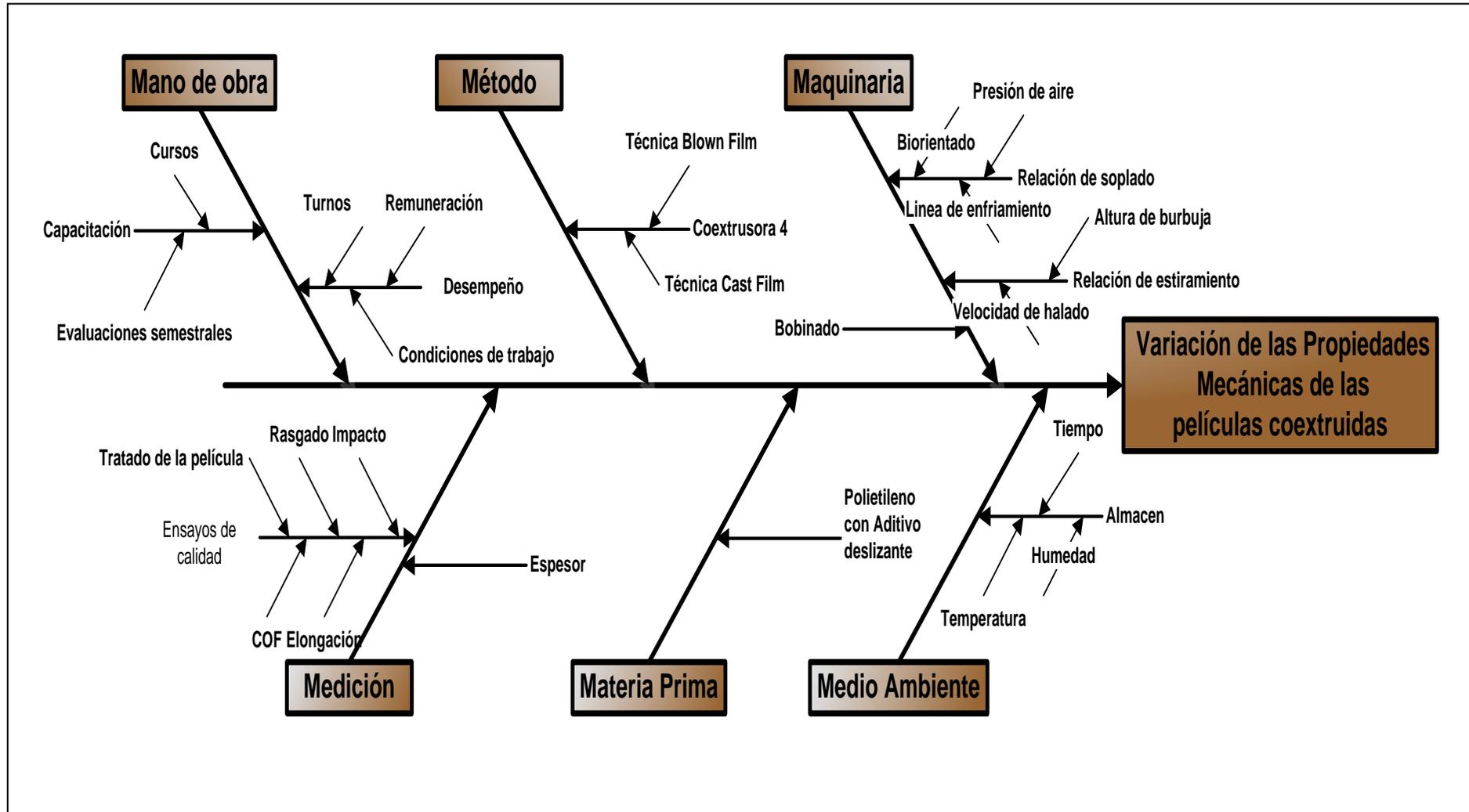


Figura 4.1. Diagrama causa – efecto del proceso de coextrusión de las películas de polietileno lineal de baja densidad.

**REFERENCIAS**

1. Aparicio, Jennifer, (2000): Estudio de propiedades químicas y mecánicas de resinas de poliéster insaturadas. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
2. Bertrand Joachim, Kirchner Lutz y Schill Steffen, (2006): Mejora de la eficiencia de extrusión de compuestos de TPE-V. Revista Plásticos Universales, N° de aparición 113.España.
3. Castañeda, Jesús David y Vásquez, Alejandro, (2006): Ingeniería de innovación aplicada a empresa productora de empaques flexibles en polietileno de alta y baja densidad y de propileno, con impresión y sin impresión. Revista Redalyc, julio-diciembre, N° 027. Colombia.
4. Chow, Susana, (2008): Polímeros derivados del petróleo. Disponible en: [www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec\\_16.html](http://www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_16.html). Consultado en: febrero, 2008.
5. Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN N° 384, (1998): Películas Plásticas. Determinación de la resistencia al impacto por caída libre del dardo. Venezuela.
6. Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN N° 463, (1994): Películas Plásticas. Determinación del coeficiente de fricción. Venezuela.
7. Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN N° 994, (1998): Películas Plásticas. Determinación de la resistencia al rasgado. Venezuela.
8. Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN N° 1019, (1999): Películas y láminas plásticas delgadas. Determinación de las propiedades tensiles. Venezuela.
9. Delgado, Nemesio, (1999): La fabricación de películas de polietileno. Disponible en: [www.tecnomaq.com.mx/polietileno.html](http://www.tecnomaq.com.mx/polietileno.html). Consultado en: marzo, 2008.
10. Dorighello, Denis, (2002): Estudio del comportamiento de la humedad relativa del aire en centros urbanos. Disponible en : [www.age.ieg.csi.es/boletin/33/3309.pdf](http://www.age.ieg.csi.es/boletin/33/3309.pdf). Consultado en : junio, 2008.
11. Ettetdgui, Corina y Giugni, Luz, (2007): Evaluación de proyectos de inversión. Quinta reimpresión. Editorial Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela, p.320

## REFERENCIAS

12. Garay, Camilo y Ramos, Felipe, (2008): Materiales eléctricos ``polietileno``. Disponible en: [www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/e157c/1/material\\_docente/objeto/180025-](http://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/e157c/1/material_docente/objeto/180025-). Consultado en: junio, 2008.
13. Graham, T. W. (1990): Fundamentos de química orgánica. Tercera Edición. Editorial Limusa. México, D.F., México, p.341.
14. Jaimes, Johanna y Kremesis, Alejandra, (2007): Evaluación del copolímero de hexeno como sustituto del copolímero de octeno en la película coextruída en la empresa Plásticos de Empaque C.A. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
15. Lisperguer, J. H. y Solís, M. E., (2005): Resistencia al impacto y a la tracción de materiales compuestos plástico - madera. Información tecnológica. Volumen 16, p. 21-25.
16. Márquez, Lorena, (2006): Películas multicapas para empresas. Disponible en: [www.ambienteplastico.com/artman/publish/article\\_486.php](http://www.ambienteplastico.com/artman/publish/article_486.php). Consultado en: febrero, 2008.
17. Martínez, Antonio, (2008): Coextrusión. Disponible en: [http://www.guiavase.com/bases/guiavase.nsf/0/7381D4D08275908BC1256F250063FA93/\\$FILE/Coextrusi%C3%B3n.%20INICIATIVAS%20%20PL%C3%81STICAS.pdf?OpenElement](http://www.guiavase.com/bases/guiavase.nsf/0/7381D4D08275908BC1256F250063FA93/$FILE/Coextrusi%C3%B3n.%20INICIATIVAS%20%20PL%C3%81STICAS.pdf?OpenElement). Consultado en: febrero, 2008.
18. Martínez, J. A. y Prada, F. I., (2000): Taller de química – materia. Síntesis de un polímero entrecruzado. Disponible en: [www.madrimasd.org/cienciaysociedad/taller/quimica/materia/polimero/default.asp](http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/taller/quimica/materia/polimero/default.asp). Consultado en: marzo, 2008.
19. Morton, D. H., (1993): Procesamiento de plásticos. Primera edición. Editorial Limusa. México, D.F., México, p.14, 15, 26, 28, 30.
20. Mota, José, (2004): Mejoramiento de las características de la película coextruída stretch por blown film en la empresa Plásticos de Empaque C.A. Tesis de Grado. Facultad de ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
21. Norma ISO 9001, (2000): Sistema de gestión de la calidad. Suiza.
22. Olivo, Jesús, (2008): Aditivos utilizados en película. Disponible en: [www.unoconvenciones.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=12&itemid=50-26k-](http://www.unoconvenciones.com/index.php?option=com_content&task=view&id=12&itemid=50-26k-). Consultado en: febrero, 2008.

## REFERENCIAS

23. Polipropileno del caribe Propilco S.A., (2008): Edición N° 63/06 impulsamos su crecimiento con tecnología y servicio ( el polipropileno en los procesos de extrusión de películas). Disponible en: <http://www.propilco.com/catalizador/Edici%C3%B3n%20No.%2063%20PP%20en%20los%20Procesos%20de%20Pel%C3%ADcula.pdf>. Consultado en : febrero, 2008.
24. Polipropileno de Venezuela Propilven S.A., (1990): Informaciones básicas sobre tratamiento corona. Disponible en: [www.propilven.com/biblio\\_articulos02.asp](http://www.propilven.com/biblio_articulos02.asp). Consultado en: marzo, 2008.
25. Rincón, Alberto, (2006): Fundamentos de la tecnología de extrusión de películas cast. Tecnología del plástico. Vol.21, p.12 – 18.
26. Rincón, Alberto, (2007): Conceptos básicos para coextrusión de películas de alta barrera. Tecnología del plástico. Vol. 22, p. 28 – 36.
27. Software de sistema de soporte a la decisión, (2008): Producto SSD – AAPP. Disponible en: [www.csi.map.es/csi/ssd.htm](http://www.csi.map.es/csi/ssd.htm). Consultado en: abril, 2008.
28. Software estadístico Minitab 15, (2008): Nueva versión del minitab 15 en español. Disponible en: [www.minitab.com/global/](http://www.minitab.com/global/). Consultado en: junio, 2008.
29. Techniques Matieres Plastiques, (2001): e.m.c.2 – chimie – Matieres Plastiques. Disponible en: [www.e.m.c.2.free.fr/matieres-plastiques-techniques.htm](http://www.e.m.c.2.free.fr/matieres-plastiques-techniques.htm). Consultado en: marzo, 2008.
30. The Dow Chemical Company, (1995): Laminado con sustratos de películas. Disponible en: [www.plastics.dow.com/plastics/la/span/fab/lfsubstrates.htm](http://www.plastics.dow.com/plastics/la/span/fab/lfsubstrates.htm). Consultado en: febrero, 2008.
31. The Dow Chemical Company, (2008): Película soplada. Disponible en: [www.plastics.dow.com/plastics/la/span/fab/film/blown.htm](http://www.plastics.dow.com/plastics/la/span/fab/film/blown.htm). Consultado en: febrero, 2008.
32. Unión de industriales litógrafos de México A.C., (2008): Espesor, densidad aparente y bulk. Disponible en: [www.uilmac.com.mx/laboratorio/espesor.html](http://www.uilmac.com.mx/laboratorio/espesor.html). Consultado en: junio, 2008.
33. Zayas, José, (2008): Guía técnica a inia de envase y embalaje > Sopladoras de film. Disponible en:

## ***REFERENCIAS***

---

---

[www.guiavase.com/bases%5Cguiavase.nsf/V02wp/505149460F6104A7C1256F250063FADD?Opendocument](http://www.guiavase.com/bases%5Cguiavase.nsf/V02wp/505149460F6104A7C1256F250063FADD?Opendocument). Consultado en: marzo, 2008.

### CONCLUSIONES

1. las variables más destacadas que afectan a las propiedades mecánicas en el proceso de coextrusión fueron: tratado de la película; espesor; cantidad de polietileno con aditivo deslizante; temperatura, tiempo y humedad del almacén; velocidad de halado y bobinado.
2. Las causas más influyentes que afectan a las variables de calidad de las películas coextruídas fueron medición y ambiente.
3. Espesor fué la variable más importante en la causa medición, temperatura y tiempo de almacén en la causa ambiente.
4. Para los lotes de fabricación evaluados, las películas coextruídas presentaron variaciones puntuales de espesor.
5. La tendencia del coeficiente de fricción en el lote de fabricación 2 es el aumento a través del tiempo.
6. El lote de fabricación 2 tiene un mejor comportamiento en las propiedades mecánicas comparado con el lote de fabricación 1.
7. Los rodillos colapsantes y dado son las alternativas seleccionadas.
8. Las alternativas seleccionadas son económicamente factibles.

### **RECOMENDACIONES**

1. Adquirir un horno que permita realizar el estudio de las películas a condiciones extremas y envejecimiento acelerado, para ampliar el estudio del comportamiento de las propiedades mecánicas.
2. Realizar un mantenimiento al equipo de control de espesor de las coextrusoras, con personal especializado alemán, lugar de origen de dichas coextrusoras.
3. Cambiar el sistema de control automático del cabezal de coextrusión por la tecnología Autoprofile, para obtener un mejor control en la apertura de los rodillos colapsantes y por ende, un espesor con menor variación a lo largo de la película coextruída.
4. Cambiar el dado existente por el Optiflow ofrecido por la tecnología Battenfeld Gloucester, para lograr una mejor uniformidad de espesor en la película.