



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

## **ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO**

**Manuel José Viana Vidal**

Asesorado por el Ing. Tulio Hernández Roldán

Guatemala, julio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO DE UNA PLANTA DE  
PRODUCCIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MANUEL JOSÉ VIANA VIDAL**

ASESORADO POR EL ING. TULIO HERNÁNDEZ ROLDÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, JULIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

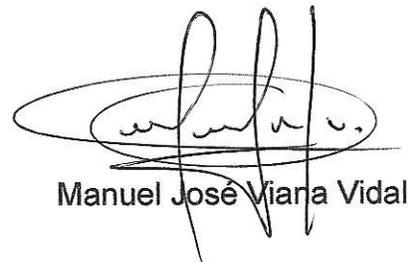
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 25 de noviembre de 2011.



Manuel José Viana Vidal

Guatemala, 24 de abril de 2012

Ingeniero Químico,  
Williams Álvarez Mejía,  
Director de Escuela de Ingeniería Química,  
Facultad de Ingeniería,  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Respetable ingeniero Álvarez:

Por este medio me permito informarle que, el estudiante universitario Manuel José Viana Vidal, él cual se identifica en la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala con el número de carné 2007-14189, ha realizado su informe final del trabajo de graduación, titulado **"Análisis de capacidad de proceso de una planta de producción de bolsas de polietileno"**, él cual ha sido aprobado y asesorado por mi persona.

Atentamente,



Ing. Qco. Tulio Hernández Roldán  
Número de Colegiado 832

---

Ing. Tulio Hernández Roldán  
Gerente de Producción Técnicos en Plásticos, S.A.  
Colegiado activo número 832



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 31 de mayo de 2012  
Ref. EI.Q.TG-IF.033.2012

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-258-2011-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por el estudiante universitario: **Manuel José Viana Vidal**

Identificado con número de carné: **2007-14189**

Previo a optar al título de INGENIERO QUÍMICO.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero: **Tulio Hernández Roldán**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Víctor Manuel Monzón  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



ESCUELA DE  
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ACREDITADO POR  
Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería  
Período 2009 - 2012



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.112.2012

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **MANUEL JOSÉ VIANA VIDAL** titulado: **“ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO”**. Pròcède à la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, Julio de 2012

Cc: Archivo  
VMMV/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO**, presentado por el estudiante universitario **Manuel José Viana Vidal**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, julio de 2012

/cc

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Dios y a la Virgen María**

Por las muchas bendiciones y por darme la fuerza, la voluntad y la fe para hacerle frente a la vida.

**Mis padres**

Fredy Viana Ruano y Ana Guisela Vidal Hernández, por ser un ejemplo de vida, por sus enseñanzas y porque todo lo que soy es gracias a ellos.

**Toda mi familia**

Por su apoyo incondicional y constantes muestras de afecto.

**Universidad de San Carlos  
de Guatemala y a la  
Facultad de Ingeniería**

Por convertirse en mi casa de estudios y mi alma máter.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN .....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. MARCO CONCEPTUAL .....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación .....	4
1.3. Determinación del problema .....	7
1.3.1. Definición del problema .....	7
1.3.2. Delimitación .....	7
2. MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. Materias primas .....	9
2.1.1. Descripción general de la materia prima.....	9
2.2. Reseña del proceso de producción .....	12
2.2.1. Descripción del proceso de producción .....	12
2.2.2. Descripción de las áreas de trabajo y equipo utilizado.....	15
2.2.3. Tipos de productos y sus características .....	22
2.3. Área de extrusión.....	25
2.3.1. Equipo y su correcto funcionamiento .....	25

2.3.2.	Parámetros operacionales del proceso y el equipo.....	28
2.4.	Área de espera del producto .....	36
2.4.1.	Descripción del área y sus consecuencias .....	36
2.5.	Área de corte, sellado y empaque .....	37
2.5.1.	Equipo y su correcto funcionamiento.....	37
2.6.	Traslado y entrega del producto terminado a la bodega .....	39
2.6.1.	Descripción del área y sus consecuencias .....	39
2.7.	Área de impresión .....	40
2.7.1.	Equipo y su correcto funcionamiento.....	40
2.8.	Área complementaria .....	42
2.8.1.	Área de reutilización de material dañado .....	42
2.8.2.	Fabricación de pajillas .....	43
2.9.	Determinación de las variables del proceso .....	44
2.10.	Fenómenos de transporte en el proceso de producción .....	46
2.10.1.	Transferencia de calor .....	46
2.10.2.	Transferencia de masa .....	48
2.11.	Estudio de capacidad del proceso .....	53
2.11.1.	Descripción del estudio de capacidad de proceso .....	53
2.11.2.	Criterios del estudio de capacidad de proceso de producción de bolsas de polietileno.....	58
2.12.	Parámetros de calidad sobre el polietileno de baja densidad .....	64
2.13.	Diseño de la burbuja en el proceso de extrusión .....	69
2.14.	Balance de masa y energía sobre el proceso de extrusión ....	79
2.15.	Determinación de la cantidad de calor necesaria para llevar a cabo la fundición y el mezclado del polietileno de baja densidad en el cañón del extrusor .....	82

2.16.	Determinación de la cantidad de calor suministrada al extrusor en la planta de producción .....	85
2.17.	Determinación de las pérdidas económicas anuales como consecuencia de las pérdidas de calor en el extrusor.....	87
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	89
3.1.	Variables.....	89
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	92
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	92
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	93
3.4.1.	Materia prima .....	93
3.4.2.	Equipo.....	93
3.5.	Técnicas cuantitativas y cualitativa .....	94
3.5.1.	Técnica cuantitativa para el desarrollo del estudio de capacidad.....	94
3.5.2.	Técnica cualitativa y cuantitativa para los Procedimientos Operacionales Estándar.....	96
3.5.3.	Técnica cualitativa y cuantitativa para el manual de contingencia respecto a los problemas, causas y soluciones asociados al equipo .....	97
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	98
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información..	100
3.7.1.	Área de extrusión.....	100
3.7.2.	Área de corte, sellado y empaque .....	101
3.8.	Análisis estadístico .....	102
3.9.	Plan de análisis de los resultados.....	103
3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables .....	103
3.9.2.	Programas a utilizar para el análisis de datos.....	104

4.	RESULTADOS .....	105
4.1.	Estudio de capacidad .....	105
4.1.1.	Área de extrusión .....	106
4.1.2.	Área de corte .....	109
4.2.	Determinación de los parámetros de calidad de la materia prima, polietileno de baja densidad .....	112
4.3.	Análisis comparativo entre el diseño de la burbuja y su comportamiento real.....	114
4.4.	Acumulación de material en el extrusor.....	115
4.5.	Cantidad de calor necesario para fundir y mezclar la resina de polietileno de baja densidad en el extrusor .....	116
4.6.	Determinación de pérdidas de calor y su valor económico ....	117
4.7.	Procedimientos Operacionales Estándar (POE´s) .....	118
4.7.1.	Área de extrusión .....	118
4.7.2.	Área de corte, sellado y empaque .....	122
4.8.	Manual de problemas, causas y posibles soluciones asociadas al equipo de producción de bolsas plásticas .....	126
4.8.1.	Excesiva temperatura de fundición.....	126
4.8.2.	Líneas en el cabezal.....	127
4.8.3.	Acumulación en el borde del cabezal.....	128
4.8.4.	Excesiva presión o amperaje en el equipo .....	129
4.8.5.	Descarga decreciente a determinadas rpm.....	131
4.8.6.	Geles, rajadura por gel, gel con color café o resina carbonizada .....	132
4.8.7.	Fractura; película severamente diagramada .....	134
4.8.8.	Piel naranja; variaciones en el índice de fundición .....	136
4.8.9.	Pobre estabilidad en la burbuja – resistencia de fundición baja .....	138

4.8.10.	Burbuja pulsante .....	140
4.8.11.	Depósitos, áreas claras en la película .....	141
4.8.12.	Pigmentación desigual.....	142
4.8.13.	Marcas de vibración.....	143
4.8.14.	Arrugas en la película .....	144
4.8.15.	Deficiencia en la uniformidad del calibre (dirección de máquina) .....	145
4.8.16.	Deficiencia en el calibre (dirección transversal)..	147
4.8.17.	Bordes no definidos en los rollos de película.....	150
4.8.18.	Bobinas cónicas, un lado de la película es más grueso que el otro .....	151
4.8.19.	Película con forma de bolsa, bajo calibre en los extremos y alto calibre en el centro de la bobina (rollo convexo) .....	152
4.8.20.	Arrugas en la película. Bajo calibre en el centro de la bobina y alto calibre en los extremos (rollo cóncavo).....	153
4.8.21.	Bloqueo de la película en los rodillos superiores .....	154
4.8.22.	Un alto coeficiente de fricción, ocasiona que la película esté muy pegajosa.....	156
4.8.23.	Bajo coeficiente de fricción, la película está muy resbaladiza.....	157
4.8.24.	Niveles de tratamiento bajos.....	158
4.8.25.	Deficiente adhesión del tinte .....	159
4.8.26.	Bloqueo durante el almacenaje .....	161
4.8.27.	Película resbaladiza, rayones en dirección de máquina .....	162

4.8.28.	Película decolorada .....	164
4.8.29.	Vida útil de las navajas es muy corta .....	165
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	167
5.1.	Interpretación de los resultados del estudio de capacidad .....	167
5.2.	Interpretación sobre la determinación de los parámetros de calidad de la materia prima, polietileno de baja densidad .....	176
5.3.	Interpretación del análisis comparativo entre el diseño de la burbuja y su comportamiento real .....	177
5.4.	Interpretación de la acumulación de material en el extrusor ..	180
5.5.	Interpretación de la cantidad de calor necesario para fundir y mezclar la resina de polietileno de baja densidad en el extrusor .....	181
5.6.	Interpretación sobre la determinación de las pérdidas de calor y su valor económico .....	182
5.7.	Interpretación de los procedimientos operacionales estándar (POE´s) para la calidad .....	183
5.8.	Interpretación del Manual de problemas, causas y posibles soluciones asociadas al equipo de producción de bolsas plásticas .....	185
	CONCLUSIONES.....	187
	RECOMENDACIONES .....	189
	BIBLIOGRAFÍA.....	191
	APÉNDICES.....	195
	ANEXO .....	225

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Formación del cilindro o burbuja .....	13
2.	Esquema del proceso de extrusión y soplado.....	14
3.	Extrusor para soplado de película de polímero .....	16
4.	Máquina cortadora y selladora térmica .....	18
5.	Impresora de seis colores .....	21
6.	Diagrama de flujo del proceso de producción .....	23
7.	Esquema del extrusor .....	26
8.	Parámetros de la burbuja .....	27
9.	Curva isoperimétrica para $X = 20$ .....	32
10.	Curva isoperimétrica para $X = 5$ .....	33
11.	Velocidad de halado sin IBC .....	35
12.	Velocidad de halado con IBC.....	35
13.	Resistencia eléctrica en cada barril del cañón del extrusor .....	46
14.	Trasferencia de masa a través de la película.....	49
15.	Ley de Henry.....	50
16.	Representación gráfica de un estudio de capacidad.....	54
17.	Productos que fabrica la planta de producción .....	60
18.	Prueba de tracción y elongación .....	65
19.	Prueba de resistencia al impacto .....	66
20.	Prueba de resistencia al rasgamiento y ruptura .....	67
21.	Prueba del coeficiente de fricción .....	68
22.	Diagrama del balance de masa y energía.....	80
23.	Trayectoria de estado del polietileno de baja densidad .....	82

24.	Diagrama de flujo para el estudio de capacidad .....	94
25.	Diagrama de flujo de los Procedimientos Operacionales Estándar (POE).....	96
26.	Diagrama de flujo para el manual de contingencia .....	97
27.	Comportamiento del extrusor 1 .....	106
28.	Comportamiento del extrusor 2.....	107
29.	Comportamiento del extrusor 3.....	108
30.	Comportamiento de la cortadora 1 .....	109
31.	Comportamiento de la cortadora 2.....	110
32.	Comportamiento de la cortadora 3 .....	111
33.	Comportamiento de la cortadora 4 .....	112
34.	Cantidad de calor en función de la temperatura .....	116
35.	Cantidad de calor en el extrusor .....	117

## TABLAS

I.	Operaciones en el proceso de producción .....	24
II.	Características de una máquina extrusora promedio.....	25
III.	Etapas de producción y las variables del proceso .....	44
IV.	Datos de los productos fabricados por la empresa según especificaciones de los clientes en los últimos tres meses .....	61
V.	Definición operacional de las variables en el área de extrusión en el proceso de fabricación de bolsas de polietileno.....	89
VI.	Definición operacional de las variables en el área de corte .....	91
VII.	Extrusor 1 .....	106
VIII.	Extrusor 2.....	107
IX.	Extrusor 3.....	108
X.	Cortadora 1 .....	109
XI.	Cortadora 2 .....	110

XII.	Cortadora 3.....	111
XIII.	Cortadora 4.....	112
XIV.	Parámetros de calidad del polietileno de baja densidad.....	113
XV.	Análisis comparativo de las variables de la burbuja .....	114
XVI.	Acumulación de material en el extrusor.....	115
XVII.	Cantidad de calor de fundición y mezcla .....	116
XVIII.	Pérdidas de calor y su costo económico .....	117



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Die Gap</b>	Abertura del cabezal
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>Z</b>	Altura de congelamiento
<b>I</b>	Ancho de la película
<b>Lay Flat</b>	Ancho tubular
<b>A</b>	Área de contacto
<b>q</b>	Cantidad de masa
<b>Cp</b>	Capacidad de proceso
<b>Cpk</b>	Capacidad de proceso cuando el valor medio del rango de especificaciones no coincide con la media.
<b>cm</b>	Centímetros
<b>Cc</b>	Circunferencial del cabezal

<b>P</b>	Coeficiente de permeabilidad
<b>S</b>	Coeficiente de solubilidad
<b>C</b>	Concentración
<b>k</b>	Conductividad térmica
<b>R</b>	Constante universal de gases
<b><math>\rho_{\text{melt}}</math></b>	Densidad de la masa fundida
<b><math>\rho_{\text{pel}}</math></b>	Densidad de la película
<b><math>\sigma</math></b>	Desviación estándar
<b><math>D_d</math></b>	Diámetro del cabezal
<b><math>\Delta P</math></b>	Diferencia de presión
<b>D</b>	Difusividad
<b><math>\text{CO}_2</math></b>	Dióxido de carbono
<b><math>E_p</math></b>	Energía de activación de la película
<b>x</b>	Espesor del cañon

<b><math>\Delta</math></b>	Es el mínimo del valor absoluto entre (LSE-X) y (LSI-X).
<b><math>e_f</math></b>	Espesor final de la película
<b>E</b>	Error estimado
<b>Q</b>	Flujo de calor
<b>F</b>	Flujo en estado no estacionario
<b>Dina</b>	Fuerza en Dinass
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>K</b>	Grados Kelvin
<b>g</b>	Gramos
<b>h</b>	Hora
<b>j</b>	Joule
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>KJ</b>	Kilo joule
<b>KW</b>	Kilowatts

<b>L</b>	Libra
<b>LIC</b>	Límite inferior de control
<b>LIE</b>	Límite inferior específico
<b>LSC</b>	Límite superior de control
<b>LSE</b>	Límite superior específico
<b>Lb</b>	Litro
<b>Ms</b>	Masa de salida
<b>X</b>	Media aritmética
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetros
<b>min</b>	Minuto
<b>M</b>	Molaridad
<b>N</b>	Newton
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrógeno gaseoso
<b>N</b>	Número de corridas

<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno gaseoso
<b>B</b>	Parámetro adimensional respecto a la relación de soplado.
<b>Tz</b>	Parámetro adimensional respecto a la tensión axial.
<b>X</b>	Parámetro de selección
<b>Pa</b>	Pascales
<b>P</b>	Peso – metro ideal o Peso de fardo ideal
<b>Pi</b>	Presión de i
<b>POE</b>	Procedimientos operacionales estándar
<b>PC</b>	Punto de control
<b>PCC</b>	Punto de control crítico
<b>%</b>	Porcentaje
<b>P</b>	Probabilidad de éxito
<b>Q</b>	Probabilidad de fracaso

<b>Q</b>	Cantidad de calor por unidad de masa
<b>plg</b>	Pulgada
<b>DDR</b>	Relación de halado
<b>BUR</b>	Relación de soplado
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>IBC</b>	Sistema de enfriamiento de la burbuja
<b>T</b>	Temperatura
<b>Tg</b>	Temperatura vítrea
<b>Fz</b>	Tensión axial
<b>T</b>	Tiempo para tomar la muestra
<b>t</b>	Tonelada
<b>X<sub>i</sub></b>	Valor de cada muestra
<b>V<sub>E</sub></b>	Velocidad específica de enfriamiento
<b>μ</b>	Viscosidad cinemática

## **GLOSARIO**

<b>Antiblock</b>	Aditivo agregado a la mezcla de resinas para evitar que la película se pegue, es decir, se bloquee.
<b>Antioxidante</b>	Aditivo agregado a la mezcla de resinas para evitar el efecto de oxidación por acción del aire en la película de polímero.
<b>Antislip</b>	Aditivo agregado a la mezcla de resinas para evitar que la película esté muy resbaladiza, aumenta el coeficiente de fricción, lo que permite abrir la bolsa.
<b>Calibre</b>	Se refiere al espesor de la bolsa o al de la película según la etapa del proceso.
<b>Camisa o barril</b>	Área del extrusor en la cual se transmite calor mediante una resistencia eléctrica.

<b>Cañón</b>	Se refiere al túnel, cilindro o carcasa que contiene el tornillo sinfín y en el cual se localizan las camisas.
<b>Conductividad termina</b>	Propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor.
<b>Copolimerización</b>	Polimerización de dos o más compuestos químicos no saturados.
<b>Desorción</b>	La eliminación de materia desde un medio adsorbente.
<b>Difusión</b>	Fenómeno del movimiento molecular en el cual una sustancia atraviesa a la otra sustancia con el propósito de igualar sus potenciales químicos.
<b>Difusividad</b>	Es la propiedad de las sustancias para difundirse a través de otras.
<b>Extrusión</b>	Consiste en la fundición de una mezcla de resinas poliméricas por medio de la acción de transferencia de calor por conductividad y por esfuerzos mecánicos.

<b>Extrusor</b>	Máquina encargada de llevar a cabo la extrusión.
<b>Flexográfico</b>	Proceso de impresión en el cual la tinta se transfiere directamente de un soporte hacia la película.
<b>Energía de activación</b>	Es la energía necesaria que debe alcanzar un sistema para llevar a cabo un cambio en su disposición molecular o atómica.
<b>Isoperimétrico</b>	Hace referencia a perímetros iguales.
<b>Máquina cortadora</b>	Máquina automatizada que se encarga de cortar la película de polímero en las dimensiones especificadas de la bolsa, también sella la bolsa.
<b>Molaridad</b>	Medida de concentración que consiste en la cantidad de moles de una sustancia en un litro de solución.
<b>Masterbach</b>	Es una resina, generalmente de polietileno que contiene pigmento o colorante.

<b>Ojo de pescado</b>	Cuando la película presenta una sección oblicua en la cual la resistencia es muy pobre y el calibre es evidentemente menor en esa área.
<b>Peletizadora</b>	Máquina que sirve para reciclar plástico.
<b>Permeabilidad</b>	Es la capacidad que tiene un material de permitirle a determinado fluido que lo atraviese sin alterar su estructura interna.
<b>Piel naranja</b>	Problema que se presenta en la extrusión, cuando la película obtenida presenta una textura corrugada, como la de la cascara de naranja.
<b>Polietileno</b>	Es un polímero con un monómero de etileno.
<b>Polietileno de alta densidad</b>	Es un tipo de polietileno que casi no posee ramificaciones, lo que aumenta su empaquetamiento y por ende su densidad.

<b>Polietileno de baja densidad</b>	Es un tipo de polietileno que posee ramificaciones, lo que disminuye su empaquetamiento y por ende su densidad.
<b>Polietileno de baja densidad lineal</b>	Es un tipo de polietileno que presenta ramificaciones cortas que varían sus propiedades físico-químicas.
<b>Polímero</b>	Son macromoléculas formadas por una molécula más pequeña que se repite, llamada monómero.
<b>Presión</b>	Es la cantidad de fuerza por unidad de área.
<b>Punto de control</b>	Es el punto en una línea de proceso en el cual es necesario obtener datos y verificar el estado de la producción.
<b>Punto crítico de control</b>	Es el punto de control en el cual existe peligro para la salud del operario o existe la posibilidad de que el proceso se salga de control.
<b>Resina fraccional</b>	Es un tipo de resina especial que se agrega a la mezcla original para obtener bolsas con una alta resistencia a la carga pesada.

<b>Resina metaloceno</b>	Es una resina que trabaja como catalizador en la mezcla de distintos tipos de polietileno, su función principal es dar mayor uniformidad en la incorporación de comonomeros.
<b>Slitter</b>	Máquina tipo navaja que se encarga de cortar bobinas.
<b>Solubilidad</b>	Es la cantidad de gramos que se pueden disolver en 100 gramos de solvente.
<b>Sorción</b>	Retención de una sustancia por otra cuando están en contacto.
<b>Tensión</b>	Es la fuerza interna aplicada que actúa por unidad de superficie o área sobre la que se aplica.
<b>Tratamiento corona</b>	Tratamiento especial en el cual se aumenta la energía superficial de la película para lograr una completa adherencia de la tinta en el proceso de impresión.

## RESUMEN

La investigación se centró en los objetivos fundamentales de realizar un estudio de capacidad del proceso, un balance de masa y energía y un análisis de transferencia de calor que permiten definir los mayores problemas de la planta de producción. Además de proponer la corrección de estos mediante el uso de un diseño teórico de la burbuja en el proceso de extrusión y la implementación tanto de los POE's como del Manual de resolución de problemas asociados al equipo de producción.

El marco conceptual abarca los antecedentes y justificación de la investigación. El marco teórico describe cada área del proceso de producción de bolsas de polietileno. El desarrollo experimental se llevó a cabo con la realización del estudio de capacidad del proceso; también se tomaron datos de los parámetros de la burbuja y se realizaron 6 normas de medición aprobadas por la ASTM para determinar la calidad sobre el polietileno de baja densidad.

Los resultados obtenidos son gráficas de control y sus respectivas tablas a partir del estudio de capacidad, datos sobre la calidad de la materia prima, un análisis comparativo entre las condiciones ideales y reales de la burbuja, la acumulación de masa en el extrusor, la cantidad necesaria de calor para fundir y mezclar la resina, la cantidad de calor que entra al extrusor, las pérdidas de calor y su implicación económica, los POE's y un manual con los problemas, causas y soluciones más generales que acontecen en los equipos de la planta.

Las conclusiones están en función de la interpretación de los resultados y las recomendaciones proponen lograr la mejora continua del proceso.



# OBJETIVOS

## General

Realizar el análisis de capacidad de proceso para la producción de bolsas de polietileno.

## Específicos

1. Desarrollar un estudio de capacidad de proceso determinando los coeficientes ( $C_p$  y  $C_{pk}$ ) del proceso de producción en la etapa de extrusión y la etapa de corte.
2. Determinar los parámetros de calidad de la materia prima utilizada en el proceso de producción.
3. Realizar un análisis comparativo de los parámetros determinados en el diseño ideal de la burbuja y el comportamiento de estos en el proceso de producción.
4. Realizar un balance de masa y energía sobre el proceso de extrusión.
5. Determinar la cantidad de calor necesario para fundir y mezclar la resina de polietileno.

6. Determinar las pérdidas de calor que sufre el extrusor y su costo económico.
7. Desarrollar y redactar los procedimientos operacionales estándar (POE's) en la etapa de extrusión y la etapa de corte.
8. Desarrollar un manual que explique los principales problemas, sus causas y soluciones asociados al equipo.

## INTRODUCCIÓN

En una empresa que se dedica a la producción de empaques plásticos, con especial énfasis en la fabricación de bolsas de polietileno es importante mantener una constante mejora en el proceso de producción. El presente se enfoca en determinar los principales problemas de producción y luego proponer mecanismos para corregir estos problemas.

Como punto de partida es importante definir la situación actual a la que se está llevando a cabo el proceso, para esto se realiza un estudio de capacidad con el objetivo de evaluar las aptitudes del proceso de producción.

Una vez definidas las condiciones de la planta es necesario determinar dónde pueden encontrarse los principales problemas, es fundamental evaluar las propiedades de la materia prima para después analizar las distintas partes del proceso en busca de los problemas antes mencionados.

Después de la evaluación de la materia prima, el estudio de todas las variables presentes en la burbuja es fundamental, debido a que esta es la principal parte del proceso de producción.

Un balance de masa y energía también es importante, para obtener la información necesaria sobre las corrientes que entran y salen del proceso permitiendo así una perspectiva más puntual sobre lo que acontece en la línea de producción. Consecuentemente con el balance de energía el análisis de transferencia de calor se vuelve inminente.

Establecido todo lo anterior, se obtienen datos puntuales sobre la producción y se está en posición de proponer alterativas que mejoren la situación actual, dos mecanismo para lograr esto es la implementación de los procedimientos operacionales estándar y sus respectivos formatos de control, también la presentación de un manual que permita resolver los principales problemas de producción que se presentan en los equipo del proceso.

# 1. MARCO CONCEPTUAL

El planteamiento y desarrollo de la investigación se encuentra cimentado en los conceptos aquí descritos, los cuales establecen el contexto en el cual se realizó la investigación:

## 1.1. Antecedentes

El control de producción es vital para el avance competitivo y el crecimiento de cualquier empresa. Sin embargo, el control de producción es un campo muy amplio y complejo, que requiere el conocimiento correcto y un modelo apropiado para la toma de decisiones en el proceso de transformación de insumos en productos.

Para lo propuesto anteriormente la ingeniería química se muestra como la ciencia adecuada para tratar este tema, el control de producción, esto en virtud de los conocimientos de las operaciones unitarias y de la naturaleza del comportamiento de los polímeros.

Existen determinados estudios que sirven como fundamento y punto de partida, aunque considerando en su mayoría sólo las aristas generales del sistema de calidad y dirigidos a ingenierías afines a la ingeniería química, por lo que no se consideran las operaciones unitarias ni propiedades fisicoquímicas de los materiales y equipos; los estudios más destacados son:

- El trabajo de graduación presentado en octubre del 2004, por el ahora ingeniero José Luis Urrutia Leal, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, titulado: Diseño de un sistema de control de calidad en la producción de bolsas plásticas.

El enfoque principal de este trabajo de graduación es el mostrar los beneficios y las necesidades de una empresa de contar con un sistema de calidad, además de presentar las principales características del concepto de calidad, mejora continua y control de calidad; el trabajo analiza los resultados de una prueba piloto utilizando el sistema de calidad que se diseñó. La principal conclusión de este trabajo radica en la importancia de los sistemas de calidad para las empresas que pretenden ser competitivas y su principal recomendación es la implementación del Departamento de Control de Calidad.

- En septiembre de 2005, Rocío Anabel Salazar Estrada, presenta el trabajo de graduación: Desarrollo de un Manual de calidad basado en las Normas ISO 9001:2000 para una empresa dedicada a la fabricación de bolsas de polietileno, para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar.

Este trabajo de graduación en su objetivo fundamental es muy similar al presentado por el Ing. José Luis Urrutia Leal, descrito anteriormente. Sin embargo, existe una diferencia importante la cual consiste en la aplicación de las Normas ISO (Organización de Estándares Internacionales) 9001:2000. El avance que presenta este trabajo es la continua recirculación de las materias y la búsqueda de la estandarización de los procesos de producción.

- El informe Optimización del uso y manejo de bolsas plásticas de polietileno de empaque y desperdicio en una fábrica de botanas de frituras de maíz presentado en el 2006 por Manuel de Jesús Vendrell Cabrera, en la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala con el objetivo de obtener el título de Ingeniero Industrial.

Este trabajo se distancia sobre los conceptos y análisis de los dos anteriores trabajos, pero, presenta una idea interesante, sobre las aplicaciones y el manejo que se requiere para las bolsas de polietileno en la industria, así como el impacto que estas causan en el ambiente.

- Paulo César Castellanos Nájera presenta el trabajo de graduación: Estandarización de procesos de producción en una fábrica de bolsas plásticas, para la reducción de costos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala para obtener el grado de licenciado en Ingeniería Industrial, en septiembre del 2009.

Este trabajo de graduación presenta mayores conceptos sobre la producción de bolsas plásticas, tocando las etapas del proceso de una manera más puntual y específica, tales como la materia prima, la extrusión y el corte. La orientación principal del trabajo consiste en los estudios de métodos y el estudio de tiempos y movimientos en el proceso de producción, esto con el objetivo de la normalización de los procedimientos en cada área de trabajo de la fábrica.

Las principales recomendaciones de este trabajo radican en el registro de todo lo que acontece en los procedimientos y en la importancia de los tiempos de producción.

## **1.2. Justificación**

La validación de la investigación se basa en dos tendencias fundamentales. Como primera tendencia los requerimientos de la empresa. La segunda tendencia son las competencias profesionales y las funciones del ingeniero químico.

Al analizar la primer tendencia es importante definir que la industria de plásticos en Guatemala representa una fuente importante de capital y el desarrollo y la evolución de estas empresas está basada en la capacidad de toma de decisiones que favorezcan la producción y el control de esta misma.

La empresa, para la cual se realizó la investigación aquí planteada, pretende potenciar la forma y el proceso de producción de bolsas de polietileno, con la finalidad de normalizar los procedimientos y evitar un producto final de baja calidad. Pero para lograr esto es necesario corregir las propias deficiencias en la planta de producción para luego implementar mecanismos de normalización y mejoramiento continuo.

Para que la investigación logre este alcance y satisfaga las necesidades planteadas por la empresa, se pretendió orientar la investigación para satisfacer ocho objetivos específicos que permitirán definir problemas puntuales que tiene la planta e implementar mecanismos que ayudarán a mitigar estos problemas.

Los objetivos específicos pretenden definir las gráficas de control y sus respectivas tablas a partir del estudio de capacidad de proceso, datos sobre la calidad de la materia prima, un análisis comparativo entre las condiciones ideales y reales de la burbuja, la acumulación de masa en el extrusor, la cantidad necesaria de calor para fundir y mezclar la resina, la cantidad de calor que entra al extrusor sus pérdidas y su implicación económica, los POE´s y un manual con los problemas, causas y soluciones más generales que acontecen en los equipos de la planta.

El análisis de la segunda tendencia demostrará por qué la ingeniería química es la ciencia adecuada para este proyecto, lo cual se evidenciará tanto en las competencias profesionales como en las funciones del ingeniero químico.

Las competencias profesionales que validan la investigación son:

- Evaluar y aplicar sistemas de operaciones unitarias físicas en donde el fenómeno controlante para aplicaciones específicas, sea la transferencia individual o simultánea de momento, calor y masa.
- Integrar diferentes operaciones y procesos, alcanzando mejoras globales.
- Ejercer tareas de análisis control y ensayo de materiales, normalización, metrología y control de calidad.
- Controlar y supervisar los procesos de fabricación para que la producción se ajuste a los requerimientos de rentabilidad económica, calidad, mantenimiento y aprovechamiento de los subproductos.

Y desde el punto de vista de las funciones del ingeniero químico:

- Estudiar, analizar y llevar a la práctica, la teoría de los fenómenos de transferencia de masa, calor y cantidad de movimiento para combinarlos con las leyes fundamentales de conservación de materia y energía y con las leyes de la termodinámica, para entender los fenómenos que tienen lugar en los equipos y plantas de procesos.
- Establecer las condiciones de operación de los equipos y sistemas de proceso para obtener la mejor calidad y productividad, protegiendo el ambiente.
- Adiestrar al personal en el uso y manejo de los materiales y en la operación de la maquinaria y equipo de proceso.
- Determinar los puntos críticos más apropiados de inspección y muestreo en el proceso y en los métodos de medición y análisis más convenientes para asegurar la calidad y la eficiencia de la producción.

Tomando como base los conceptos teóricos así como las competencias profesionales y las funciones del ingeniero químico se evidencia la validez del presente trabajo de investigación.

### **1.3. Determinación del problema**

La definición, delimitación y el planteamiento del problema son fundamentales para encausar la investigación y alcanzar los objetivos establecidos.

#### **1.3.1. Definición del problema**

¿Es posible potenciar el proceso de producción de bolsas de polietileno mediante la definición de los principales problemas de producción por medio de un estudio de capacidad de proceso, un balance de masa y energía y un análisis de transferencia de calor, para luego proponer correcciones a estos problemas utilizando el diseño teórico de la burbuja en el proceso de extrusión, la implementación de los POE's y un manual de resolución de problemas?

#### **1.3.2. Delimitación**

La determinación de una perspectiva global de la planta, basada en el estudio de capacidad de proceso, el balance de masa y energía y el análisis de transferencia de calor permiten definir los problemas fundamentales del proceso. Estos problemas serán tratados mediante el análisis de la materia prima y principalmente mediante el análisis de la desviación de los parámetros de la burbuja respecto a los parámetros teóricos definidos por un diseño apropiado. Y como mecanismo de mejoramiento la implementación de los POE's con sus respectivos formatos de control y un manual de resolución de problemas asociados al equipo de producción.



## **2. MARCO TEÓRICO**

El entendimiento de todas las áreas, sectores y fenómenos que acontecen en el proceso de producción es vital para el posterior razonamiento y ejecución de cualquier tipo de mecanismo que se implemente sobre la línea de proceso.

### **2.1. Materias primas**

Para comprender las características y las variables del producto final es necesario el conocer todo lo relativo a las materias utilizadas para la producción.

#### **2.1.1. Descripción general de la materia prima**

Para la fabricación de bolsas plásticas es necesario el uso de determinadas materias primas, las cuales poseen características particulares al igual que funciones especializadas. A continuación se describen las materias primas necesarias en mayor volumen y con mayor incidencia sobre el proceso.

- Polietileno de baja densidad: este tiene una estructura ramificada, parcialmente cristalina y es termoplástico, es fabricado bajo altas condiciones de presión y temperatura mediante un proceso de polimerización por radical libre.

La polimerización del etileno bajo estas condiciones produce un polímero ramificado que es en realidad, una mezcla de largas moléculas con ramales de diferentes longitudes y a su vez, cada ramal posee pequeñas ramificaciones a los lados.

La presencia de cadenas ramificadas en la estructura limita la formación de cristales de polietileno, introduciendo así irregularidades en la estructura, derivando en una baja cristalinidad entre 40% a 60% y consecuentemente una baja densidad entre 0,91 a 0,94 gramos por centímetro cúbico.

Algunas de las características del polietileno de baja densidad son: su excelente flexibilidad, buena resistencia al impacto, resistencia a aceites, resistencia a químicos, sellabilidad al calor y bajo costo.

- Polietileno de baja densidad lineal: es un polímero que tiene como monómero el etileno. En su composición molecular se presentan ramificaciones cortas, las cuales le brindan otro tipo de propiedades distintas a las del polietileno de baja densidad.

Este tipo de polietileno se produce por copolimerización del etileno con olefinas de cadena larga, tales como el hexeno o el buteno. Debido a este proceso de producción no se generan ramificaciones largas, a diferencia del polietileno de baja densidad.

Al producir bolsas plásticas el polietileno de baja densidad lineal brinda a la película transparencia, rigidez y densidad, además de ser más sencilla la reducción del calibre de la película.

- Polietileno de alta densidad: es un termoplástico no polar lineal, de aspecto blanquecino, su rango de densidades es entre 0,94 a 0,965 gramos por centímetro cúbico, con un punto de fusión entre 128-138 grados Celsius, es uno de los polímeros más versátiles y el segundo de mayor uso en la industria del empaque plástico.

Las cadenas moleculares son largas y rectas con muy pequeñas ramificaciones, debido al proceso catalítico de fabricación.

En la extrusión a medida que el polietileno de alta densidad se enfría por debajo de su punto de fusión, se forma en su estructura una larga fracción de regiones cristalinas ordenadas, en un porcentaje que va del 65% al 90% de cristalinidad y esto contribuye a que tenga una buena propiedad de barrera a la humedad, una alta capacidad de carga aunque se vuelve opaco.

- Resina metaloceno: es una resina que trabaja como catalizador en la mezcla de distintos tipos de polietileno, su función principal es dar mayor uniformidad en la incorporación de comonomeros. Esto produce el copolímero deseado, incorporando el monómero en proporción con la cantidad añadida. El uso de este tipo de resina deriva en mayor resistencia a la tensión y al rasgado, mayor transparencia, una superficie más brillante y una reducción del calibre.
- Resina fraccional: se denomina resina fraccional porque a diferencia de las anteriores materias primas, excluyendo la resina metaloceno, el índice de fusión es menor que uno; este tipo de materia se utiliza para la fabricación de bolsas plásticas que tengan una alta resistencia a carga pesada.

- Aditivos: para el proceso de producción de bolsas de polietileno se utilizan cuatro tipos de aditivos: el antiblock, tiene como función evitar que la película se pegue entre sí, lo que derivaría en una bolsa que no se puede abrir. El antislip, este aditivo cumple la función de aumentar el coeficiente de fricción de la bolsa con objeto de hacerla más manejable. El antioxidante, que evita la oxidación de la bolsa. Por último, el masterbatch que es una resina sintética de polietileno combinada con una alta concentración de pigmento que tienen el objetivo de darle color a la película producida.

Las principales materias utilizadas son las resinas sintéticas de polietileno de baja y de alta densidad, ya que estas generalmente cumplen con los requisitos básicos demandados por el producto final.

## **2.2. Reseña del proceso de producción**

La caracterización de las áreas de producción ayuda a comprender la aplicación y el estudio de todas las variables, tanto operacionales como de control sobre el proceso.

### **2.2.1. Descripción del proceso de producción**

La línea de producción es una serie de etapas entrelazadas. El proceso comienza cuando se realiza la mezcla de resinas sintéticas y aditivos en algunos casos, según los requerimientos de la bolsa plástica.

Cuando se tiene la mezcla esta se traslada al proceso de extrusión y soplado; la mezcla se introduce en la tolva del extrusor, la resina es succionada poco a poco conforme se mueve un tornillo sinfín o husillo, el cual, ayudado por un aumento de temperatura producido por unas resistencias, se encargan de elevar la temperatura hasta su punto de fusión.

Una vez alcanzada la temperatura de fusión por fuerzas mecánicas (tornillo sinfín) y el alza de temperatura, la resina se traslada hacia el dado, molde o cabezal del equipo, que apoyado por un anillo que sopla aire forma un cilindro (burbuja) constituido por una sola película de polímero, del calibre de la bolsa.

Figura 1. **Formación del cilindro o burbuja**



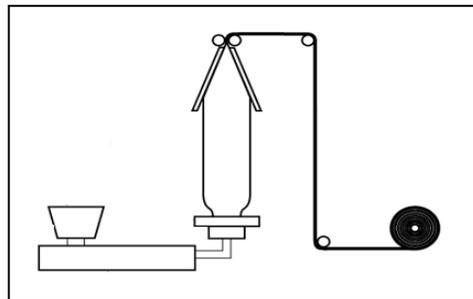
Fuente: <<http://www.farnell.ns.ca/technology/blown-film-extrusion.html>>.

[Consulta: julio de 2011].

El molde puede girar o permanecer fijo, esto con el fin de darle estabilidad y continuidad al cilindro formado, este también es responsable de darle el radio al cilindro. El anillo de soplado tiene la función de impulsar el cilindro pero principalmente de darle un espacio vertical en el que se aplica una temperatura de enfriado de la película, esto con el objeto de brindarle la correcta disposición a las moléculas del polímero sin forzar el proceso y que adquieran las propiedades deseadas.

En la parte superior del equipo están posicionados una serie de rodillos que se encargan de aplanar el cilindro y el resultante es una película plana que es embobinada, por medio de otros rodillos dispuestos en el equipo.

Figura 2. **Esquema del proceso de extrusión y soplado**



Fuente: <<http://www.plasticstech.info/processes/extrusion/blown-film-extrusion/>>.

[Consulta: julio de 2011].

Las películas embobinadas ahora son trasladadas al área de corte y sellado. En esta área se cortan las bobinas según las medidas requeridas por la bolsa plástica.

Una vez establecidas las medidas correctas de la bolsa el equipo se encarga de sellar las películas, para producir la bolsa final, el sellado puede ser de tres tipos: sellado lateral, sello de fondo y sello de gabacha.

El procedimiento descrito anteriormente es a grandes rasgos lo que ocurre en la planta de producción; existen ocasiones en que las bolsas demandan condiciones especiales, como que tengan impresas determinada propaganda, esto requiere de otros procesos complementarios, como el tratamiento tipo corona y llevar el material al área de impresión; estos procesos se describirán con mayor detalle en secciones posteriores.

## **2.2.2. Descripción de las áreas de trabajo y equipo utilizado**

La línea de producción que se dedica a las bolsas plásticas dentro de la planta se puede dividir de manera sencilla en seis áreas, para comprender con mayor facilidad el proceso y para el mejor entendimiento de la aplicación de los controles de calidad.

Las áreas son:

- Área de extrusión y soplado

En esta área se localizan los extrusores y sopladores tal como se mencionó anteriormente, la resina es depositada en la tolva del equipo, esta es succionada y llevada a su punto de fusión por medio de fuerzas mecánicas (tornillo sinfín) y el aumento de temperatura. Una vez fundida la resina se forma un cilindro por medio de la acción del molde y el anillo soplador, en lo alto del equipo un rodillo se encarga de aplanar la película y luego otra serie de rodillos embobinan la película.

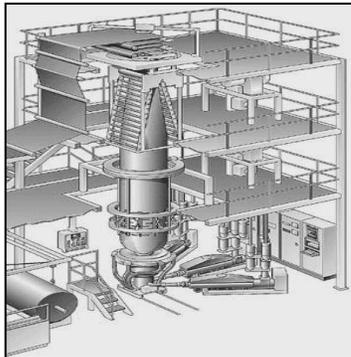
Descripción del equipo, extrusor:

El equipo es un cuadrado de aproximadamente 2,50 metros de arista, como base y una altura aproximada de 5,00 metros, se divide en dos partes, el armazón de metal y la sección extrusora.

La sección extrusora cuenta en su inicio con una tolva que recibe la mezcla de resinas y aditivos, debajo de la tolva se encuentra un cañón, que en su interior tiene una serie de resistencias y un tornillo sinfín. Al finalizar el cañón se alcanza el cabezal o dado, al mismo tiempo que alcanza el cabezal tiene también un anillo de soplado.

La armazón de metal está descrita por su misma denominación y consiste en una serie de regletas de madera o acero que trabajan como guías de la película de polímero que forma el cilindro y también se aplican propinando los dobleces correspondientes a las películas para lograr los requerimientos de las bolsas. Esta armazón está compuesta por una serie de rodillos, los cuales cumplen dos funciones, aplanar el cilindro para obtener una película de plástico y para embobinar las películas.

Figura 3. **Extrusor para soplado de película de polímero**



Fuente: <[http://www.inteleccontrols.com/2\\_plastics.html](http://www.inteleccontrols.com/2_plastics.html)>.

[Consulta: julio de 2011].

Evidentemente, no se han descrito todas las piezas fundamentales del equipo, sólo se ha mencionado lo relevante para generar una idea del funcionamiento y del aspecto físico del equipo al lector.

- Área de espera del producto

Esta área es un espacio físico dispuesto en la planta, en el cual se posicionan las bobinas que salen del extrusor y que tienen como fin alcanzar el área de corte y sellado.

El área puede sonar como irrelevante para el proceso debido a que no existe ninguna operación unitaria que transforme el producto o ya que no representa gasto de energía, pero en realidad puede representar un aspecto importante para el control de calidad, esto es debido a que es en esta área que se generan tiempos muertos que afectan el tiempo total y pueden ser índices de retraso en la producción.

También es importante considerar esta área ya que puede dar cabida al daño de la bobina, por razones de traslado, manejo o por accidentes, ya que al margen del área está el espacio utilizado para circular por la planta.

- Área de corte y sellado

La cortadora y selladora son parte del mismo equipo, como su nombre lo describe en esta área, se colocan las bobinas y se cortan a la medida de la bolsa y luego se sella de forma térmica conforme el sello requerido, ya sea lateral, de fondo o en forma de gabacha.

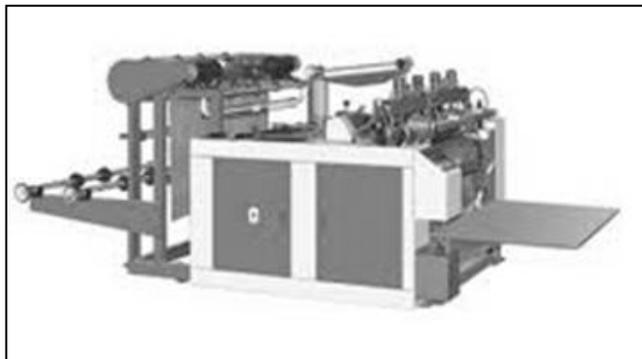
Cuando se trabajan bolsas en forma de gabacha la única variante es que cuando sale después del sellado se traslada a una troqueladora que corta la bolsa para darle forma a las agarraderas de la bolsa; algunos equipos traen incorporado este proceso de troquelado y retiran de manera automática la sección cortada a la bolsa.

### Descripción del equipo, cortadora y selladora

Es un equipo que puede ser concebido como una mesa larga de una sección transversal de 1,25 metros de ancho por 3,00 metros de largo, aproximadamente. En su inicio se presentan una serie de rodillos, en los cuales se coloca la bobina, estos rodillos se encargan de tensar la película y desenrollarla de manera correcta para no dañarla.

Los rodillos trasladan la película hacia una especie de navaja, que se deja caer cual guillotina, para cortar la película; inmediatamente después de cortar la película se deja caer, al igual que la navaja, un filamento caliente con el fin de sellar la bolsa de forma térmica.

Figura 4. **Máquina cortadora y selladora térmica**



Fuente: <<http://spanish.alibaba.com/product-gs/hard-plastic-engraving-and-cutting-machine-434553101.html>>. [Consulta: julio de 2011].

- Área de empaque

Al finalizar el proceso de sellado las bolsas pasan a una mesa en la cual se lleva a cabo el empaque de las mismas. Dicho empaque se lleva a cabo de la manera siguiente: la máquina cortadora y selladora enciende una alarma cuando se alcanza el número de bolsas programado, lo cual indica al operario que es necesario empacar ese fardo de bolsas.

En esta área sólo se utiliza una selladora, la cual sella las bolsas que contienen las bolsas producidas. Al igual que el área de espera del producto, esta área puede ser subvalorada debido a que no representa ninguna conversión del producto, pero es necesario mencionar que esta área representa una oportunidad de control del proceso, además se debe tener en consideración que se pueden presentar tiempos muertos que afecten la productividad.

- Área de traslado y entrega de producto terminado a bodega

Una vez finalizado el empaque de las bolsas plásticas estos fardos son depositados en tablas de madera frente a la mesa utilizada para empacar. Cuando se coloca todo el lote de bolsas empacadas en la tabla de madera, esta es recogida por el montacargas y transportada hacia la bodega, donde el producto terminado espera a ser cargado al camión para entregarse al cliente.

- Área de impresión

Es un área destinada sólo para productos que deseen algún tipo de publicidad o mensaje impreso en las bolsas. Las bolsas que van a llevar algún tipo de impresión son trabajadas desde el proceso de extrusión y soplado, ya que en el armazón de metal de este equipo, hay un aparato que se encarga de cargar eléctricamente la película y prepararla para la impresión, este procedimiento se denomina tratamiento corona.

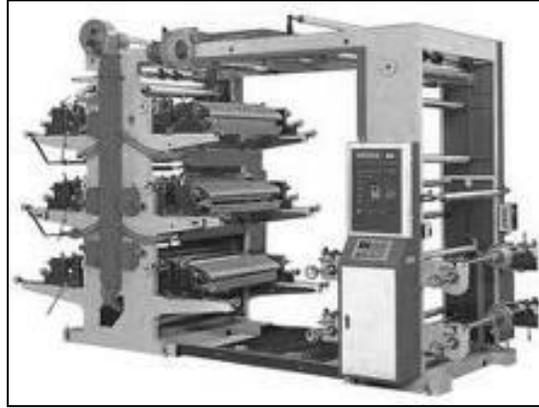
Una vez se tienen las bobinas destinadas para impresión son transportadas hacia la impresora que puede trabajar hasta seis colores; cuando se finaliza la impresión esta se lleva a la máquina de corte y sellado.

Descripción del equipo, impresora:

Es un equipo formado por una serie de rodillos, bandejas y moldes. Posee distintas dimensiones según su capacidad y manejo de colores, por ejemplo una impresora industrial que trabaja con seis colores tiene dimensiones de aproximadamente 1,50 metros de ancho y unos 4,00 metros de largo, con una altura que oscila de los 2,00 a 3,00 metros.

La mezcla de solventes y pigmentos es depositada en las bandejas debajo de algunos rodillos con moldes específicos de propaganda. Las bobinas son puestas en los rodillos de la impresora y conforme estos empiezan a trabajar, la película de los rodillos empieza a circular por toda la impresora pasando por el rodillo con el molde el cual entra en contacto con la mezcla de pigmento y solvente, dejando de esta manera la tinta impresa en la película.

Figura 5. **Impresora de seis colores**



Fuente: <<http://www.bagmake.es/3-plastic-printing-machine/3-flexographic-printing-3.html>>.

[Consulta: julio de 2011].

Es importante recordar que la película ha sido cargada eléctricamente por medio del tratamiento corona, esto es lo que impide que la tinta se corra o que se borre de la bolsa, ya que fuerzas electromagnéticas ejercidas por las partículas de los tintes y de las bolsas es lo que las mantiene unidas, dada la formación de enlaces iónicos entre estas partículas.

### **2.2.3. Tipos de productos y sus características**

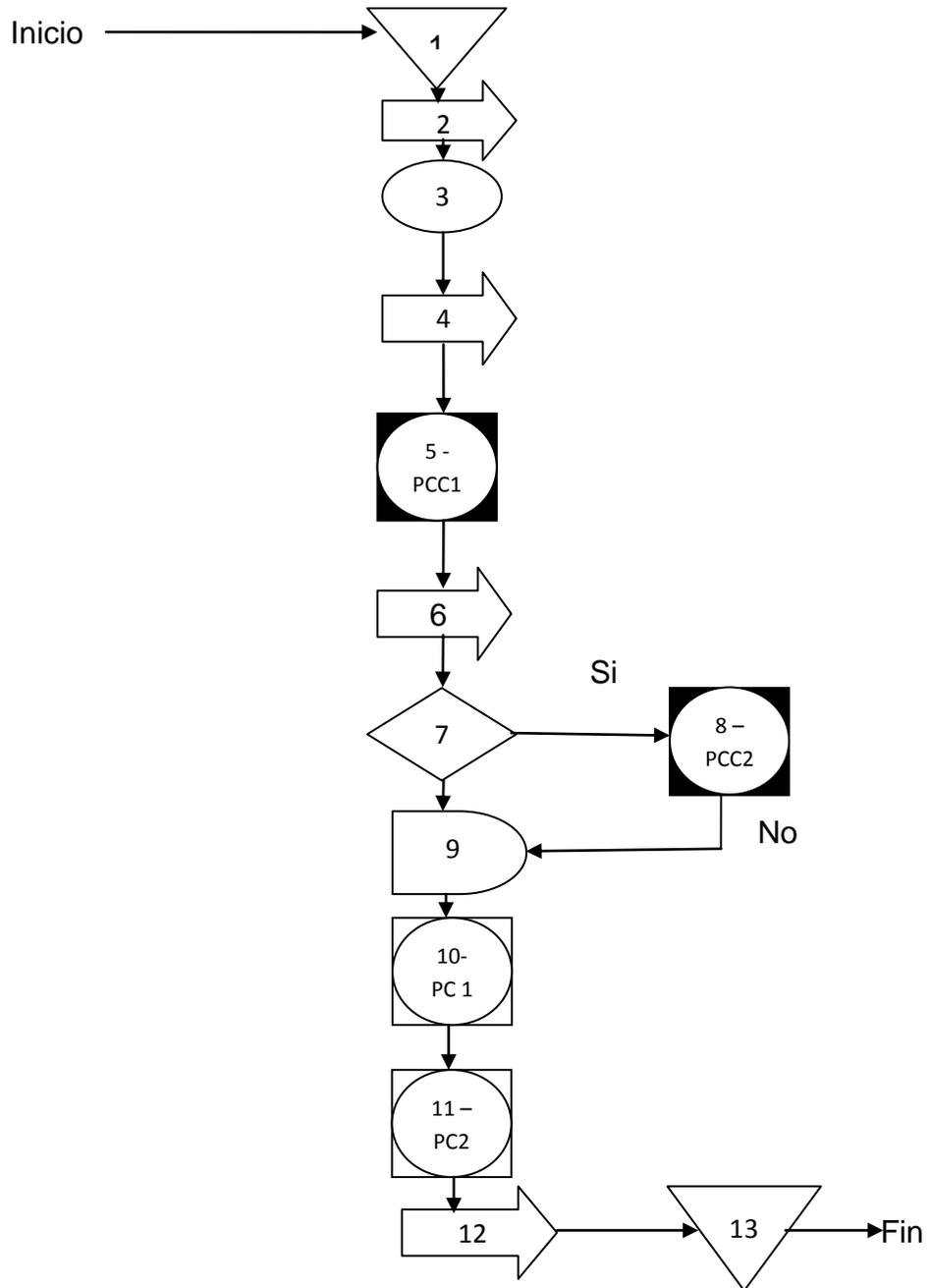
El enfoque del presente trabajo es sobre la fabricación de bolsas plásticas, es por esta razón que sólo en este ámbito de producción se centra el trabajo.

Las bolsas producidas varían según sus dimensiones y los requerimientos de los clientes, pero la principal diferenciación entre los productos está en el tipo de sellado que se les aplica.

Los sellados pueden ser de fondo, lateral y tipo gabacha. El sello de fondo, como su nombre lo dice, la bolsa está compuesta por la misma película y está sellada en el fondo. El sello lateral consiste en sellar la bolsa en los lados, dejando el fondo unido conforme salió de la bobina.

El sellado tipo gabacha consiste en un sello de fondo, pero posteriormente al sellarla se pasa por una troqueladora, que es una especie de prensa que corta una sección de la bolsa y al cortar esta sección de la bolsa se forman las agarraderas correspondientes a la bolsa de gabacha.

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de producción



Fuente: elaboración propia.

## Nomenclatura del diagrama del proceso

Significado de las representaciones gráficas

	Almacenamiento		Operación y Punto de Control (PC)
	Transporte		Operación y Punto Crítico de Control (PCC)
	Decisión		Operación
	Demora		

Tabla I. **Operaciones en el proceso de producción**

No.	Operación
1	Almacenamiento de materia prima
2	Transporte de materia prima a la mezcladora
3	Mezcla de la materia prima
4	Transporte hacia el área de extrusión y soplado
5	Extrusión e inspección del material luego del proceso y PCC-1
6	Transporte hacia el área de espera del producto
7	Decisión si el producto lleva o no impresión
8	Impresión y PCC-2
9	Demora, producto en espera para ser cortado y sellado
10	Corte, sellado e inspección y PC-1
11	Empaque e inspección y PC-2
12	Transporte hacia bodega
13	Almacenamiento de producto terminado en bodega

Fuente: elaboración propia.

### 2.3. Área de extrusión

El área de extrusión comprende la transferencia de masa y calor por medio de los cuales la mezcla de resinas se convierte en el rollo de film según las necesidades del producto final.

#### 2.3.1. Equipo y su correcto funcionamiento

El equipo de extrusión y soplado tiene características físicas y de funcionamiento importantes de considerar, con la finalidad de ejemplificar de mejor manera estas, se presentan las condiciones de un extrusor comercial.

Tabla II. **Características de una máquina extrusora promedio**

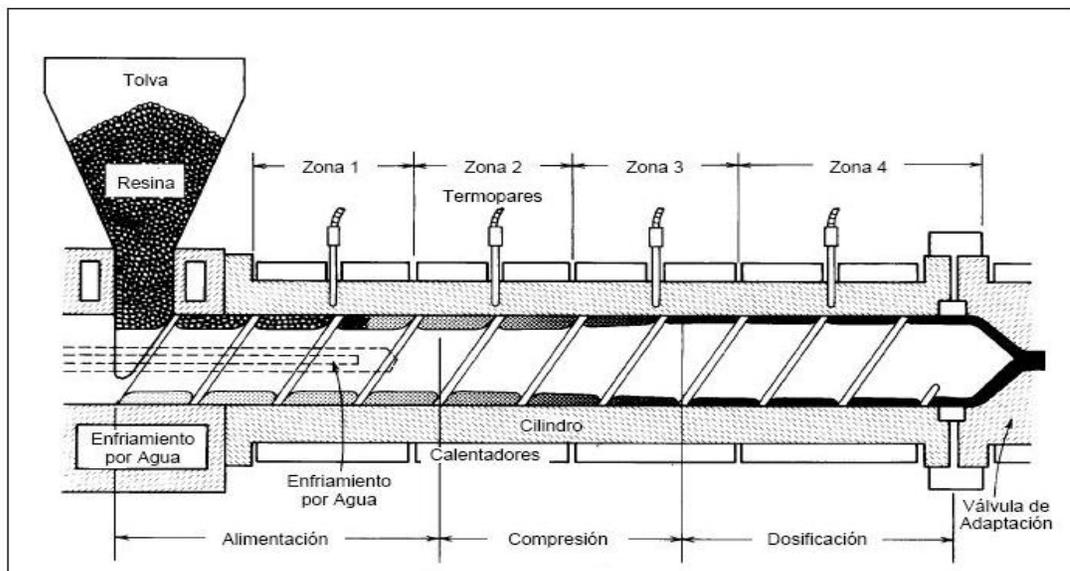
<b>No. de modelo</b>	SD-40x2	SD-45x2
<b>Diámetro del tornillo</b>	40 mmx2	45 mmx2
<b>Relación del tornillo (L/D)</b>	28:1	28:1
<b>Espesor de film</b>	0,08-0,1 mm	0,08-0,1 mm
<b>Potencia de motor principal</b>	15 kw	18.5 kw
<b>Producción</b>	30-45 kg\h	30-50 kg\h
<b>Peso de máquina</b>	2.5 t	2.8 t
<b>Dimensión (LxAxA)</b>	3,6x2,2x4,2 m	3,6x2,2x4,2 m

Fuente: <[http://costar.en.alibaba.com/product/292207734209697618/3\\_layer\\_Extrusion\\_Blown\\_Film\\_Machine.html](http://costar.en.alibaba.com/product/292207734209697618/3_layer_Extrusion_Blown_Film_Machine.html)>. [Consulta: agosto de 2011].

Las especificaciones del equipo son propias del modelo descrito, pero las extrusoras para soplado de película de polímero que se tienen en la planta tienen características muy similares y trabajan bajo condiciones similares.

El equipo extrusor (figura 7) cuenta con tres regiones marcadas: la región de alimentación, de compresión y la de distribución o dosificación. En la alimentación el extrusor recibe todas las resinas y aditivo y, comienza la elevación de la temperatura. En la zona de compresión los gránulos de polímero son comprimidos y sometidos a fricción y esfuerzos cortantes, los cuales promueven la fundición efectiva; con base en esto es que la fusión del polímero es por acción mecánica y elevación de la temperatura. Por último, en la sección de distribución se homogeniza y se mezcla el material fundido.

Figura 7. **Esquema del extrusor**



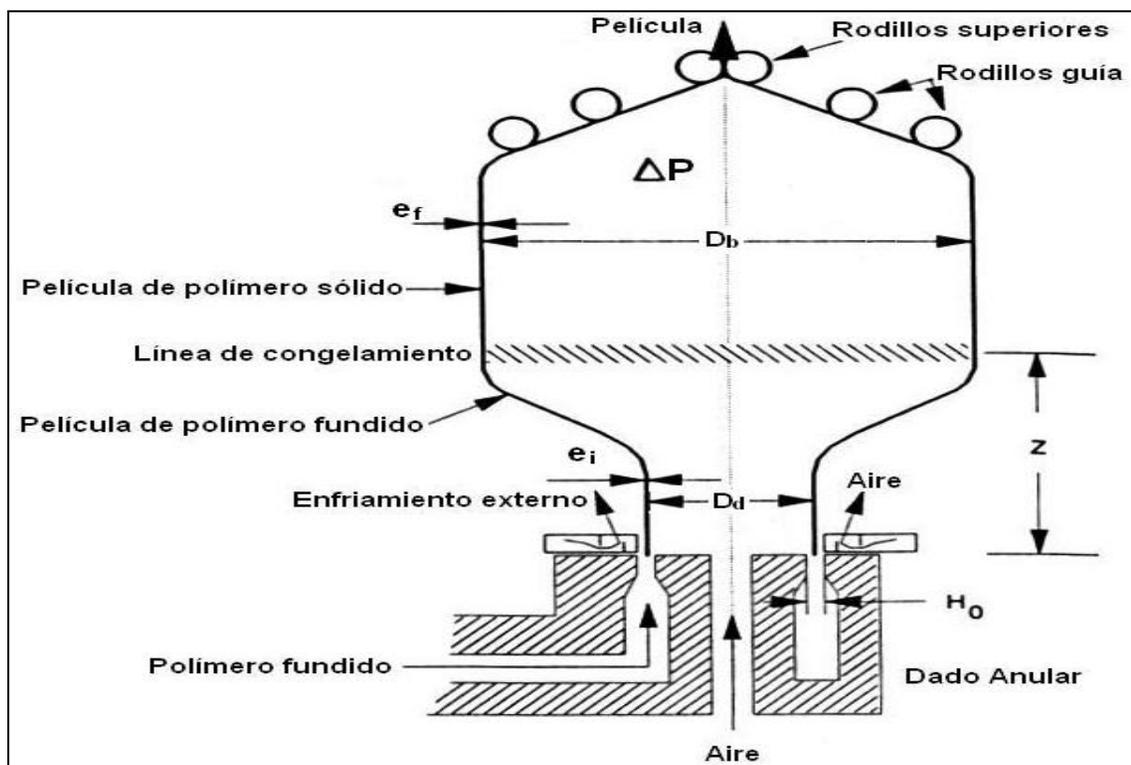
Fuente: <<http://www.empaquesplasticos.com.mx/epmwbp1d.htm>>.

[Consulta: agosto de 2011].

El material sale de la zona de distribución con cierta presión y pasa por un filtro que retiene las impurezas para luego llegar al molde, el cual se encarga de estabilizar el proceso y de mantenerlo continuo. Al salir del molde, comienza el soplado y la zona de enfriamiento en donde se favorece la reestructuración de las moléculas para lograr las propiedades pretendidas para el producto final.

Al iniciar el proceso de soplado se forma la burbuja o cilindro en el cual se manifiestan los parámetros operacionales como se observa en la figura 7.

Figura 8. Parámetros de la burbuja



Fuente: ALARCÓN SALAS, Xavier Alberto. Estudio de la relación entre la estructura, procesamiento, propiedades mecánicas y transferencia de vapor de agua en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. p. 61.

En la figura 8 se identifican variables de operación fundamentales, donde,  $\Delta P$  es la sobrepresión interna de la burbuja,  $e_i$  es el espesor o calibre inicial,  $e_f$  es el espesor o calibre final,  $Z$  representa la altura de congelamiento o zona de enfriamiento,  $H_0$  es la abertura del dado o gap,  $D_d$  es el diámetro del dado y  $D_b$  es el diámetro de la burbuja.

### 2.3.2. Parámetros operacionales del proceso y el equipo

Conforme se diseña el proceso es necesario determinar los parámetros operacionales y para esto se utilizan relaciones matemáticas que incluyen las variables planteadas en la figura 8, además de la definición de algunos tecnicismos.

- *Output* o salida

Es la capacidad de producción de la línea en kilogramos por hora [kg/h].

- BUR (*Blow Up Ratio*)

Es la relación de soplado, es decir, la relación del diámetro final de la burbuja con el diámetro del cabezal o dado:

$$\text{BUR} = \frac{\text{Diámetro de la burbuja } (D_b)}{\text{Diámetro del dado } (D_d)} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

- *Lay Flat*

Es el ancho tubular o longitud circunferencial de la burbuja una vez cortada y formada la película plana y, se relaciona con el diámetro de la burbuja y con el BUR de la siguiente manera:

$$\text{Lay Flat} = \frac{\text{Diámetro de la burbuja } (D_b)}{0,637} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$\text{BUR} = \frac{\text{Lay Flat} * 0,637}{D_d} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

- *Die Gap*

También conocido como Gap, es la abertura del cabezal en milímetros, donde la película adquiere el espesor inicial  $e_i$ , justo después de salir del dado.

- *DDR (Draw Down Ratio)*

Es la relación de halado, es decir, la velocidad tangencial de los rodillos superiores ( $V_h$ ) dividido la velocidad lineal de salida del polímero del dado o cabezal ( $V_d$ )

$$\text{DDR} = \frac{V_h}{V_d} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Una ecuación muy utilizada, que utiliza e interrelaciona varios parámetros para encontrar directamente el valor de DDR es:

$$\text{DDR} = \frac{V_h}{V_d} = \frac{\left(1 - \frac{\text{Gap}}{D_d}\right) * \text{Gap} * \rho_{\text{melt}}}{\left(\text{BUR} - \frac{e_f}{D_d}\right) * e_f * \rho_{\text{pel}}} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

Donde

DDR = relación de halado

Gap = abertura del cabezal (mm)

$D_d$  = diámetro del cabezal (mm)

$e_f$  = espesor final de la película (mm)

$\rho_{\text{melt}}$  = densidad de la masa fundida ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_{\text{pel}}$  = densidad de la película ( $\text{g/cm}^3$ )

BUR = relación de soplado

- Sobrepresión interna ( $\Delta P$ ) y tensión axial de la burbuja ( $F_z$ )

Sobrepresión interna es la diferencia entre la presión interna y externa de la burbuja y la tensión axial, es la fuerza con la que los rodillos superiores deben halar a la burbuja, estos dos parámetros sirven para mantener estables las dimensiones de la misma a lo largo del proceso. Para el cálculo de estos valores se utilizan las siguientes ecuaciones y figuras:

$$\Delta P = \frac{\mu * M_s * B}{\rho * \pi * \left(\frac{D_d}{2}\right)^3} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

$$F_z = \frac{\mu * M_s * T_z}{\rho * \left(\frac{D_d}{2}\right)} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

$$X = \frac{Z}{\left(\frac{D_d}{2}\right)} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Donde

$\mu$  = viscosidad (Pa.s)

$M_s$  = salida (g/s)

$B$  = parámetro adimensional (figura 8 y 9)

$\rho$  = densidad del flujo de masa ( $\text{g/cm}^3$ )

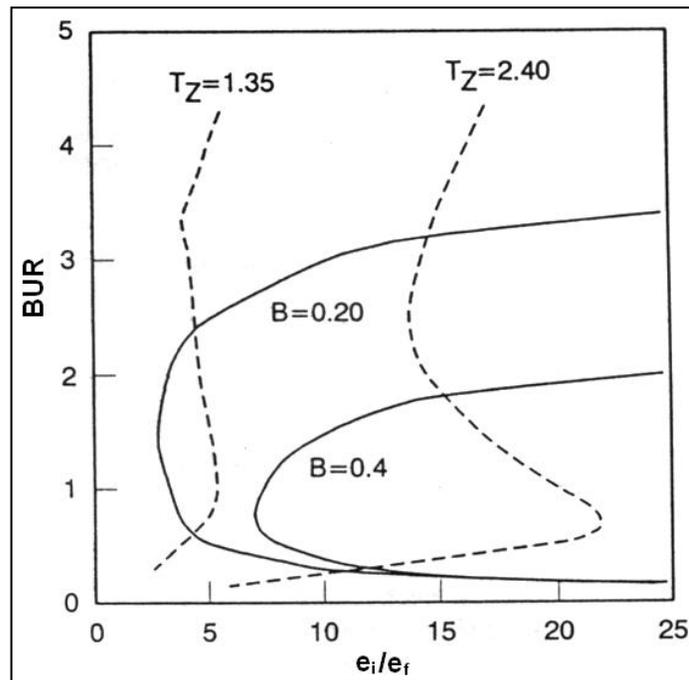
$D_d$  = diámetro del dado (cm)

$T_z$  = parámetro adimensional (figura 8 y 9)

$Z$  = altura de la línea de congelamiento (cm)

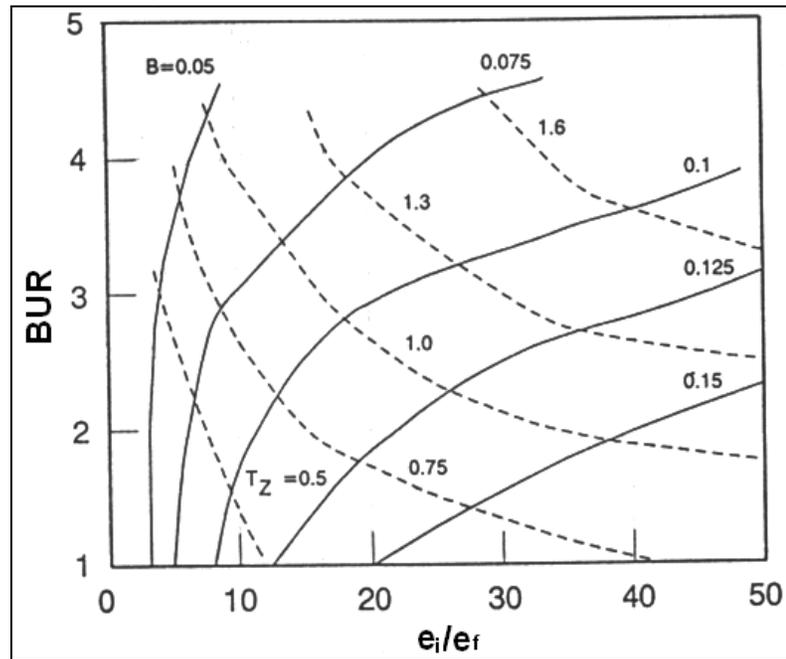
$X$  = parámetro para la selección de la figura 9 o figura 10

Figura 9. **Curva isoperimétrica para  $X = 20$**



Fuente: ALARCÓN SALAS, Xavier Alberto. Estudio de la relación entre la estructura, procesamiento, propiedades mecánicas y transferencia de vapor de agua en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. p. 63.

Figura 10. Curva isoperimétrica para  $X = 5$



Fuente: ALARCÓN SALAS, Xavier Alberto. Estudio de la relación entre la estructura, procesamiento, propiedades mecánicas y transferencia de vapor de agua en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. p. 63.

- IBC (*Internal Bubble Cooling*)

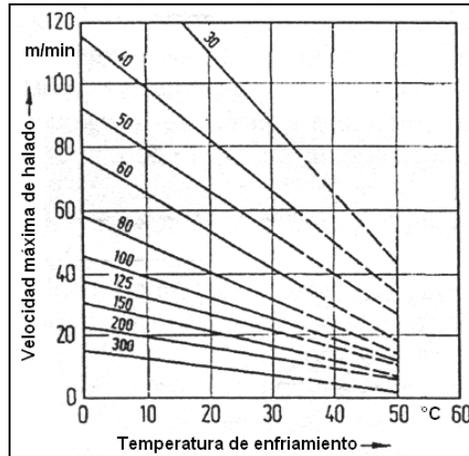
El IBC es el sistema de enfriamiento interno de la burbuja, duplica el área de enfriamiento y le brinda estabilidad a la misma, de esta forma se puede lograr aumentar la velocidad de halado de los rodillos superiores (figura 11 y 12) y así se provee una mayor capacidad de producción de la línea.

Para conocer si el sistema requiere IBC, se divide la producción de la línea (kilogramos por hora), para la longitud circunferencial del cabezal ( $C_C$ ), donde  $C_C = \pi * D_d$ , ( $D_d$  es el diámetro del cabezal o dado) en centímetros, siendo este resultado la velocidad específica de enfriamiento ( $V_E$ ), entonces se tiene que para valores de:

$$V_E \leq 2,5 \frac{\text{Kg}}{\text{h cm}} \rightarrow \text{No necesita IBC}$$

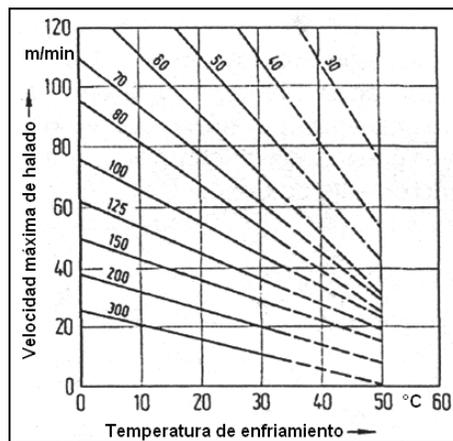
$$2,5 \frac{\text{Kg}}{\text{h cm}} \leq V_E \leq 4,8 \frac{\text{Kg}}{\text{h cm}} \rightarrow \text{Necesita IBC}$$

Figura 11. **Velocidad de halado sin IBC**



Fuente: ALARCÓN SALAS, Xavier Alberto. Estudio de la relación entre la estructura, procesamiento, propiedades mecánicas y transferencia de vapor de agua en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. p. 64.

Figura 12. **Velocidad de halado con IBC**



Fuente: ALARCÓN SALAS, Xavier Alberto. Estudio de la relación entre la estructura, procesamiento, propiedades mecánicas y transferencia de vapor de agua en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. p. 64.

## **2.4. Área de espera del producto**

La evaluación de las bobinas al salir de extrusión y las condiciones a las que es sometida en el área de espera del producto afectan las propiedades de la bobina al ingresar al área de corte.

### **2.4.1. Descripción del área y sus consecuencias**

Es un área en la que no se produce ningún tipo de operación unitaria, ni de conversión de producto. Y puede considerarse que no tiene ningún efecto sobre la producción.

Cuando el producto sale del equipo de extrusión y soplado, después de ser embobinado, se supone un traslado inmediato al área de corte y sellado, pero por condiciones o razón de producción, la película embobinada se posiciona en un área anterior a la sección de corte y sellado.

El mayor problema que puede aquejar al producto como consecuencia de su colocación en este espacio, es que puede sufrir daños debido a su mala colocación o a la espera, lo que alteraría la calidad del producto final. Se necesita considerar que la estadía del producto en esta área representa tiempos muertos en la línea de producción, estos tiempos pueden afectar directamente las finanzas de la empresa, aunque no se puede hacer tal conclusión sin un estudio de balances de líneas, de tiempos y movimiento, lo cual se desvía de los objetivos fundamentales del presente trabajo.

Los daños a las bobinas (ubicadas en el área de espera) pueden ocasionarse por razones de transporte, es decir, el manejo y movimiento de las bobinas puede causarles daños. Otro factor que causa daños puede ser la mala distribución en el producto y el desorden que ello puede generar.

En virtud de lo descrito anteriormente es necesario implementar unos parámetros de control para asegurar la calidad del producto final.

A pesar que el área de espera del producto no es fundamental, puede representar daños y variaciones en el proceso, es por ello, que para desarrollar un sistema de calidad total es necesario considerarla como un área a controlar en la planta.

## **2.5. Área de corte, sellado y empaque**

El área de corte y el sellado es fundamental para determinar el tipo de bolsa que se produce. El empaque que tiene es importante para que el producto final no sufra daños que puedan ocasionar su rechazo.

### **2.5.1. Equipo y su correcto funcionamiento**

El proceso que se lleva a cabo en esta sección consiste en cortar la película proveniente de la bobina para ajustar las medidas y preparar la película para el sellado. El proceso de sellado se realiza por medio de una herramienta en forma de filete que sella térmicamente la bolsa conforme el sello determinado, ya sea de fondo o lateral.

Para trabajar bolsas tipo gabacha es exactamente el mismo proceso excepto que con un paso extra, después de sellar la bolsa esta se lleva hacia un troquelador, que prensa y corta una parte de la bolsa, la cual se retira, este corte le da la forma de gabacha y le brinda las agarraderas que distinguen este tipo de bolsa.

El corte y sellado son realizados por la misma máquina, la cual consiste en unos rodillos que sostienen las bobinas y la desenrollan; este proceso genera tensión en la película. El corte de la película se da en función del tipo de sello que se requiere, la disposición de la máquina, el tamaño de la bolsa y el de la bobina.

Conforme se desenrolla la película, esta alcanza un punto en la máquina en que se deja caer una especie de navaja que se encarga de cortar e inmediatamente después se deja caer un filamento caliente a determinada temperatura lo cual sella de forma térmica la bolsa. La temperatura a la que se encuentra el filamento se determina en función del tipo de película utilizada y el espesor o calibre de la misma. Después de esto puede o no llevarse a troquelar para convertirla en bolsa tipo gabacha, esto según requerimientos del pedido.

El área de empaque consiste en una mesa localizada después de la selladora de la máquina y, es en esta mesa en donde el operador coloca, ordena y marca determinado número de bolsas que se han producido. Esta área puede considerarse al igual que el área de espera del producto, como irrelevantes para el proceso, pero es importante recalcar que aunque no es relevante para el proceso, si lo es para la calidad del producto y para el continuo mejoramiento de la línea de producción.

En el área de empaque la mesa debe ser amplia y con suficiente espacio para realizar las pruebas finales al producto terminado y para dar facilidades de empaque a los operadores.

En el análisis de esta área surgen varias consideraciones necesarias: la facilidad de carga del producto para llevarlo a bodega, el orden en que se posicionó el producto final respecto al pedido y los impedimentos que la acumulación de estos productos en el área causan a la circulación dentro de la planta.

## **2.6. Traslado y entrega del producto terminado a la bodega**

El producto final previamente revisado y con su garantía de calidad se encuentra en condiciones de ser entregado al cliente, pero esta entrega no es inmediata, el producto una vez sale del área de empaque, es trasladado a la bodega.

### **2.6.1. Descripción del área y sus consecuencias**

El producto es trasladado hacia bodega por medio de una carreta cargadora operada por un empleado; ocasionalmente cuando es muy pesado el producto o por motivos de logística los soportes de madera pueden ser retirados por medio de un montacargas.

Los mayores problemas de seguridad que se pueden generar en esta área son, debido a que la maquinaria que se utiliza para trasladar el producto, ya que esta puede lastimar a cualquier persona que se encuentre en la planta si se conduce de manera inapropiada, así como el daño que se puede ocasionar al producto.

Un aspecto a tomar en cuenta es la ubicación que se le dará al producto una vez sea entregado en la bodega, es indispensable que la entrega se haga de manera ordenada y lógica para evitar confundir y mal posicionar las bolsas ya terminadas. El traslado y movimiento del producto es parte del manejo de sólidos y como tal se requiere la aplicación de determinados parámetros establecidos por los estudios relacionados con esta operación unitaria.

## **2.7. Área de impresión**

En esta área sólo se procesan las películas que han sido tratadas y que por ende el cliente solicitó la impresión de alguna propaganda, logo, etcétera. Para lo cual se hace uso de una impresora flexográfica.

### **2.7.1. Equipo y su correcto funcionamiento**

Las impresoras se clasifican según el número de colores con los que puede trabajar, a mayor número de colores que maneja el equipo mayores dimensiones físicas tiene. Independientemente del tamaño de la máquina los principios que rigen su funcionamiento son los mismos.

La máquina consiste en un sistema de rodillo que transporta la película tratada (toda película que desee ser impresa necesita someterse a tratamiento corona) y la conduce a través de todo el equipo para completar el proceso de impresión; también consta de uno o dos túneles de calor, encargados de secar la tinta, estos constan de dos entradas de aire una caliente y otra fría. El equipo posee bandejas en las cuales se deposita el tinte, sobre estas bandejas gira un rodillo el cual tiene el molde de impresión. Conforme gira el rodillo, el molde se moja en la tinta y esta se imprime en la película tratada.

Para lograr la correcta impresión se necesita dar tratamiento corona a la película, este consiste en establecer determinada energía superficial a la película para adecuarla a la tinta y que esta se fije. Para entender el fijado del tinte es necesario que se comprendan principios básicos como la tensión superficial y como esta, genera que un líquido tienda a formar una esfera.

El sólido en cambio por su energía superficial, tratará de extenderse hacia una forma plana o dicho de otra forma; si la energía superficial del sólido es mayor que la tensión superficial del líquido, la gota se extenderá, es decir, mojará al sólido. Esto pone en evidencia que el mojado puede lograrse ya sea aumentando la energía superficial del sólido o bien disminuyendo la tensión superficial del líquido. La tensión superficial regula la intimidad de contacto que puede lograrse entre sólido y líquido. Se puede establecer un parámetro en el sólido denominado energía superficial crítica que sería la tensión superficial que se requiere en el líquido para que moje al sólido.

El tratamiento se encarga de aumentar la energía superficial de la película del polímero a la cual se adiciona la tinta en forma líquida, si la energía superficial es mayor que la tensión superficial la tinta se fija.

En planta, se pueden utilizar tintas a base de solvente y tintas a base de agua; la tinta a base de solvente tiene una tensión superficial de 38 dinas por centímetro, por lo que se hace inminente para lograr fijar la tinta que el polímero tenga como mínimo un igual de energía superficial, para que las moléculas puedan fijar por fuerzas electromagnéticas y asegurar que la tinta no se correrá.

## **2.8. Área complementaria**

Esta área consiste en reprocesar todas las películas dañadas, productos finales que están fuera de especificación o productos rechazados. Esto se realiza por medio de un equipo denominado peletizadora.

### **2.8.1. Área de reutilización de material dañado**

La peletizadora recibe en una tolva todos los productos de reproceso, esta tolva traspasa el material hacia un extrusor, con un cañón que contiene un tornillo sinfín, conforme se va dando este proceso se agrega calor hasta fundir el polímero. La fundición se logra por medios mecánicos y la adición de temperatura. Esta máquina es un extrusor, al igual que el utilizado en el área de extrusión y soplado.

El polímero fundido es expulsado del extrusor a una presión constante, el polímero sale del extrusor a través de agujeros; por lo que la salida es un flujo de polímero constante en forma de cilindro de radio pequeño. Los cilindros pasan por un depósito de agua con la finalidad de enfriar el polímero y solidificarlo.

Al salir del depósito de agua los cilindros sólidos entran a una trituradora que se encarga de reducir los polímeros a pequeños granos, de similar tamaño al que se presentan las materias primas.

El producto obtenido de este proceso puede ser reutilizado como materia prima, pero es importante considerar que ya no posee las mismas propiedades fisicoquímicas que la materia prima.

El producto reutilizado es menos resistente y tiene una apariencia de menor calidad; es necesario controlar para qué proceso se utilizará puesto que afecta directamente el color de la película.

### **2.8.2. Fabricación de pajillas**

El área encargada de fabricar pajillas consiste en un equipo muy similar al utilizado en la reutilización del material levemente dañado. El equipo tiene un extrusor, el cual funde la resina, en este proceso se utiliza la resina obtenida del proceso de reutilización, es decir, no se utiliza la materia prima sino que se utiliza la resina generada por el proceso realizado por la peletizadora.

El extrusor funde la resina y esta sale soplada por un pequeño anillo, inmediatamente a su salida forma un cilindro hueco que pasa por un depósito de agua que se encarga de enfriar y solidificar el polímero. Este proceso de enfriamiento se encarga de fijar las moléculas del polímero. Al salir del depósito de agua, el cilindro hueco pasa por un cortador el que le da el tamaño adecuado a la pajilla.

Las pajillas son de distintos colores, lo cual se logra al agregar una determinada cantidad de pigmento a las resinas reutilizadas; en la tolva de admisión.

## 2.9. Determinación de las variables del proceso

Establecer todas las variables del proceso según su área es fundamental para el desarrollo de todo el trabajo, principalmente porque permite plantear una perspectiva global del proceso.

Tabla III. **Etapas de producción y las variables del proceso**

Etapa del proceso de producción	Tipo de Variable	Variable	Unidades de medición	Frecuencia de la medición
<b>Extrusión y soplado</b>	Variables de control del equipo	Capacidad de la tolva	%	1 hora
		Temperatura de cada camisa	°C	1 hora
		Temperatura del cabezal	°C	1 hora
		Calibración del dado o cabezal	--	Al inicio
		Ajuste de las guías de estabilidad	--	Al inicio
		Velocidad del tornillo sinfín	rpm	1 hora
		Velocidad de los rodillos	rpm	1 hora
		Filtros del equipo	--	Al inicio
	Variables de control sobre el proceso	Ancho de bobina	pulgadas	½ hora
		Calibre de la película	0,001	½ hora
			pulgadas	
		Color de la película	--	1 hora
		Altura de la zona de congelamiento	cm	1 hora
		Peso - metro	g/m	½ hora
		Resistencia	Pa	½ hora
Tratamiento tipo corona	Dina/cm	½ hora		

Continuación de la tabla III.

<b>Corte, sellado y empaque</b>	Variable de control del equipo	Flujo de la película	kg/h	Al inicio
		Tensión en el rodillo de admisión	N/m <sup>2</sup>	Al inicio
		Tensión en el rodillo de balance	N/m <sup>2</sup>	Al inicio
		Largo de la bolsa	pulgadas	½ hora
		Velocidad de la máquina	Bolsas/ min	½ hora
		Temperatura de corte y sellado	°C	½ hora
	Variable de control sobre el proceso	Estado de la bobina	--	Al inicio
		Estado del tratamiento corona	--	Al inicio
		Ancho de la bolsa	pulgadas	½ hora
		Largo de la bolsa	pulgadas	½ hora
		Sello de la bolsa	--	½ hora
		Calibre entre las caras de la bolsa	0,001 pulgadas	½ hora
		Apariencia de la bolsa	--	½ hora
		Resistencia de la bolsa	--	½ hora
	Antibloqueo	--	½ hora	
Peso - fardo	Lb/1 000 bolsas	Al llenar el fardo		
<b>Impresión</b>	Variables de control	Número de colores	--	Al inicio
		Características del molde	--	Al inicio
		Velocidad de los rodillos	rpm	Al inicio
		Tensión de los rodillos	N/m <sup>2</sup>	Al inicio
		Flujo de aire	kg/hora	Al inicio
		Temperatura del calentador	°C	1 hora

Fuente: elaboración propia.

## 2.10. Fenómenos de transporte en el proceso de producción

El análisis de los fenómenos de transporte como la transferencia de masa y la transferencia de calor es fundamental para comprender la injerencia de las variables de control y para entender de manera adecuada el funcionamiento de los equipos.

### 2.10.1. Transferencia de calor

La transferencia de energía se presenta en el extrusor cuando este funde las resinas para moldearlas y generar la burbuja, específicamente en el cañón del extrusor. El cañón se puede dividir en cuatro zonas cuando se refiere a transferencia de calor, cada una de estas zonas se denomina barril o camisa, en cada barril se encuentra una resistencia eléctrica, controlada por un termopar, encargada de transferir calor hacia el cañón para fundir la mezcla de resinas.

Figura 13. Resistencia eléctrica en cada barril del cañón del extrusor



Fuente: <<http://www.solostocks.com/venta-productos/electronica/general/integrados/resistencia-de-abrazadera-5451125>>. [Consulta: agosto de 2011].

Aunado al calor transmitido por las resistencias eléctricas también se genera calor por esfuerzos mecánicos, ya que la rotación del tornillo sinfín deriva en fricción, tanto del tornillo sinfín con la resina, como de la resina con el cañón. Aunque existe la generación de calor por esfuerzo mecánico esta es despreciable en consideración al calor transmitido por las resistencias eléctricas.

Se determina que la generación de calor en el extrusor es gobernada por el fenómeno de la conducción y son aplicables las suposiciones de transmisión de calor de forma unidimensional y una conducción en estado estacionario, por lo cual la ley de Fourier rige el fenómeno.

$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \quad [\text{Ecuación 9}]$$

Donde

Q = flujo de calor [J/s]

k = conductividad térmica del cañón del extrusor [J / m s K]

A = área de transferencia de calor [m<sup>2</sup>]

T = temperatura [K]

x = espesor del cañón [m]

A pesar de que en cualquier fenómeno de transferencia de calor se presenta la conducción, convección y radiación, en este proceso son despreciables la convección y la radiación en consecuencia del alto flujo de calor que genera la conducción.

### **2.10.2. Transferencia de masa**

La transferencia de masa en el proceso de producción se presenta en el extrusor, específicamente al empezar la etapa de soplado cuando el polímero emerge del cabezal. Esta transferencia se produce fundamentalmente en el área de congelamiento o zona de enfriamiento (Z) (observar la figura 8).

En este tipo de proceso el permeante es un gas o un vapor, generalmente  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  o  $\text{H}_2\text{O}$ . El permeante se difunde a través de la película de polímero, el alcance y la velocidad con la que esto sucede depende fundamentalmente de la estructura física y química del polímero y de la naturaleza de la molécula. Este movimiento de moléculas a través de un medio se da debido a la tendencia natural de las especies a equilibrar su actividad química. En este caso, la fuerza motriz del fenómeno es la diferencia de concentraciones entre las que se encuentra la película como la fuerza motriz del fenómeno.

Para que la transferencia de masa sea un hecho, el permeante debe ser capaz de moverse entre las moléculas de polímero, este espacio entre las moléculas de polímero se denomina volumen libre y está directamente relacionado con la capacidad del permeante.

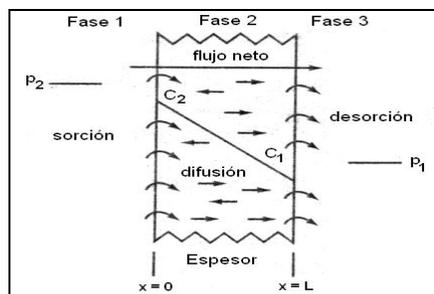
La temperatura y el ordenamiento de las moléculas determinan el volumen libre. Como establece la teoría cinética molecular, a una mayor temperatura las moléculas del polímero se separarán y generarán un mayor volumen libre lo que favorece el flujo de masa a través de este.

El polietileno es un polímero semicristalino por lo que posee una característica denominada temperatura vítrea ( $T_g$ ). Cuando la temperatura del polímero es mayor a la temperatura vítrea existe movilidad en las moléculas y el empaquetamiento desordenado de estas genera fluctuaciones en la formación de volumen libre permitiendo así un mayor flujo de masa.

Por el contrario, cuando la temperatura es menor a la temperatura vítrea las moléculas de polímero están en un estado más rígido, lo que no favorece el flujo de masa.

Estas interacciones en la película pueden ser clasificadas como permeación de compuestos a través del plástico. La figura 13 ilustra la adsorción, difusión y desorción que ocurre en la película plástica.

Figura 14. **Transferencia de masa a través de la película**



Fuente: <<http://www.monografias.com/trabajos10/semi/semi.shtml>>.

[Consulta: agosto de 2011].

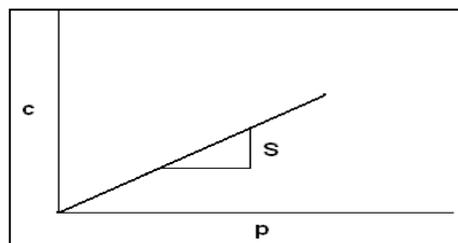
Los coeficientes de difusión y la solubilidad son los parámetros fundamentales en la fabricación de bolsas plásticas.

El acto o proceso en el cual un compuesto como el oxígeno es molecularmente mezclado con un líquido (como el agua) o un sólido (como cualquier polímero) es llamado disolución y el resultado de la mezcla es una solución. Si la solución es muy diluida, como es común en la fabricación de bolsas, se comporta como una solución ideal y el coeficiente de actividad es aproximadamente igual a 1 y la concentración puede ser sustituida por la actividad en términos termodinámicos.

William Henry determinó que la presión de vapor de un soluto sobre una solución ideal es proporcional a su concentración (figura 15):

$$p_i = k * c_i \rightarrow c_i = S * p_i \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Figura 15. **Ley de Henry**



Fuente: <<http://ljk.imag.fr/membres/Bernard.Ycart/emel/cours/sd/node14.html>>.

[Consulta: agosto de 2011].

La pendiente S, es la constante de proporcionalidad de la Ley de Henry y se le conoce como el coeficiente de solubilidad.

Para conocer la velocidad o rapidez con que este proceso de transporte ocurre, se estudia la difusión. Adolf Fick en 1855, desarrolló ecuaciones para describir la difusión, a las que ahora se les conoce como Primera y Segunda Ley de Difusión. Para un material isotrópico y cuando la difusión ocurre en una sola dirección, la Primera Ley de Fick puede ser escrita así:

$$F = -D \left( \frac{dc}{dx} \right) \quad [\text{Ecuación 11}]$$

Donde F es el flujo, c es la concentración de permeante en el polímero, x es la distancia (en dirección de la difusión) y D es el coeficiente de difusión. La primera ley proporciona un método para calcular la difusión en estado estable, cuando D es constante durante el proceso de difusión.

Para el flujo en estado no estacionario, la difusión es descrita por la Segunda Ley de Fick, para difusión unidireccional:

$$\frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad [\text{Ecuación 12}]$$

Donde t es el tiempo.

En el caso de una película plana de plástico de espesor l que tiene penetrante a ambos lados a diferentes concentraciones, la primera ley de Fick puede ser expresada así:

$$F = -D \frac{dc}{dx} = D \frac{c_2 - c_1}{l} \quad [\text{Ecuación 13}]$$

En estudios de permeabilidad, sin embargo, la presión parcial del gas que rodea la película, es más fácil de medir que la concentración del penetrante  $c$  en el polímero. La Ley de Henry se aplica y se sustituye  $p$  por  $c$ :

$$F = D S \frac{p_2 - p_1}{l} \quad [\text{Ecuación 14}]$$

Como el flujo  $F$  es la cantidad de permeante transferido por unidad de área  $A$  en un tiempo  $t$ ,  $F = q/At$ , reordenando la ecuación queda:

$$P = D S = \frac{q \cdot l}{A \cdot t \cdot \Delta p} \quad [\text{Ecuación 15}]$$

Donde  $\Delta p = p_2 - p_1$ , se introduce un nuevo parámetro, el coeficiente de permeabilidad  $P$ , que es el producto del coeficiente de difusión y el coeficiente de solubilidad y es un indicador de las características de barrera del polímero y de calidad, se utiliza principalmente en el desarrollo de empaques de comida.

El coeficiente de permeabilidad varía con la temperatura, se le puede calcular, ya que se ajusta al tipo de ecuación de Arrhenius:

$$P_2 = P_1 * e^{\frac{E_p}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad [\text{Ecuación 16}]$$

Donde  $P_2$  es el coeficiente de permeabilidad a la temperatura deseada  $T_2$ ,  $P_1$  es el coeficiente de permeabilidad a la temperatura conocida  $T_1$ ,  $E_p$  es la energía de activación de la película plástica,  $R$  es la constante universal de gases (8,314 Joule por mol Kelvin),  $T_1$  es la temperatura conocida en grados Kelvin,  $T_2$  es la temperatura deseada en grados Kelvin.

La determinación de estos coeficientes es vital para el diseño de empaques destinados a la industria de los alimentos y se determina mediante el control de los parámetros operacionales del proceso (sección 2.9.).

## **2.11. Estudio de capacidad del proceso**

El desarrollo del estudio de capacidad es vital para lograr establecer una perspectiva global del proceso de producción y establecer los coeficientes de capacidad al igual que las gráficas de control.

### **2.11.1. Descripción del estudio de capacidad de proceso**

El estudio de proceso consistió en un análisis ingenieril aplicando conceptos estadísticos y matemáticos con la finalidad de lograr establecer si un proceso es capaz o no de fabricar productos, bajo las especificaciones establecidas o si era necesario realizar ajustes al proceso.

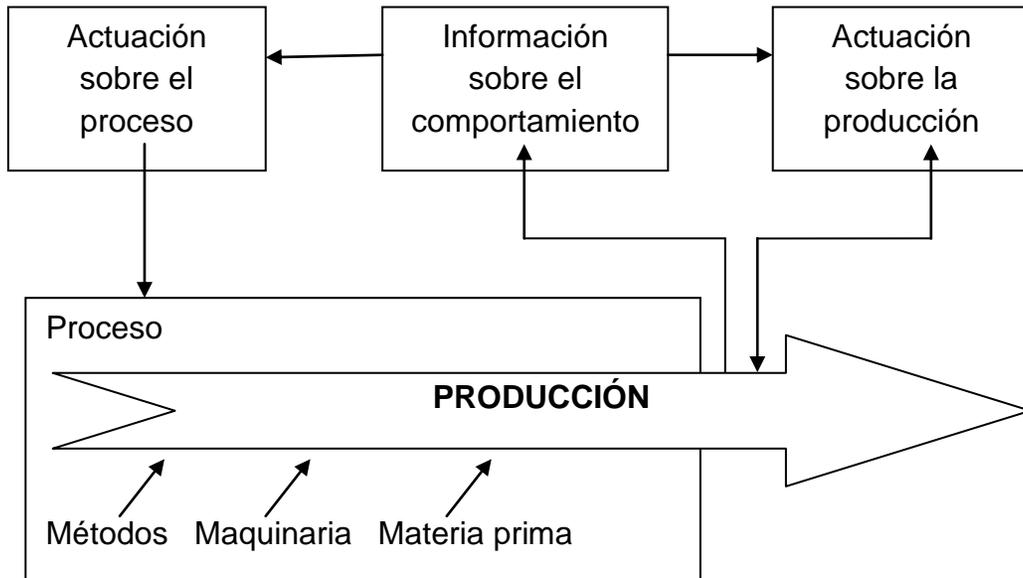
Para cumplir con los objetivos del estudio, se necesitó aplicar una técnica denominada capacidad estadística de proceso.

Este tipo de estudios puede denominarse como una realimentación de información en el que el proceso brinda la data necesaria respecto a cómo se comporta y cuáles son sus características. Consta de cuatro elementos fundamentales:

- Proceso
- Información sobre el comportamiento
- Actuación sobre el proceso
- Actuación sobre la producción

Para realizar y comprender el estudio es imperante que se conozca el principio de estos elementos.

Figura 16. **Representación gráfica de un estudio de capacidad**



Fuente: elaboración propia.

El proceso, de este concepto se interpreta como el sistema entre los operarios, maquinaria, equipos y todos los elementos que forman parte del proceso de producción.

La información sobre el proceso estuvo representada por todos los datos que se obtuvieron en las fichas de control de calidad y que representaron las condiciones y propiedades de los productos producidos, esta data fue fundamental para realizar el estudio y brindar datos reales y confiables.

La información obtenida es función del comportamiento real del proceso el cual dependió de la forma en que se diseñó, construyó y cómo se administró el proceso.

La actuación sobre el proceso se refiere a realizar acciones correctivas sobre el producto que se está tratando, es decir, que si se tiene la sospecha o certeza que el producto está fuera de los rangos permitidos se deben tomar decisiones para modificar el funcionamiento del equipo o el proceso de producción con el ánimo de rescatar el producto y lograr que cumpla con las normas de calidad.

La actuación sobre el producto se refiere al análisis del producto final, se realiza un control para verificar que esté cumpla con todas las normas de calidad y los requerimientos del cliente; es necesario que también se tome en cuenta la ganancia neta que ese producto produce, entre otros parámetros importantes para determinar la eficiencia del proceso y su reflejo en el producto final. Basados en estos parámetros se decidió cuál es el destino del producto final, ya sea ser entregado al cliente, almacenado en bodega o el retorno al proceso de producción.

En toda empresa se busca obtener la mayor ganancia, para lo cual es mandatorio tener un proceso de producción eficiente y una herramienta para lograr esto, es un estudio de capacidad de proceso el que genera una idea general del proceso para lograr un producto que cumpla con determinadas especificaciones.

Para lograr realizar lo propuesto anteriormente se necesitó definir una metodología de trabajo, la cual contó con una serie de pasos básicos:

- Definir la característica de calidad que se iba a medir en el producto fabricado, esta variable sería la condición central que se tomará en cuenta y se recomendó que fuera una variable asociada con otras condiciones para lograr generar una perspectiva global de todo el desarrollo del producto en el proceso.
- Aplicar técnicas estadísticas, para lo cual fue necesario desarrollar una hipótesis que se pretendió investigar, esta hipótesis tenía que estar relacionada con el proceso de producción y preferiblemente debía ser una sospecha real sobre el comportamiento del producto.

Para aplicar estas técnicas estadísticas fue necesario hacer dos consideraciones; suponer que la característica de calidad es continua y de una distribución normal y considerar que el proceso está bajo control estadístico, es decir, que la variabilidad del proceso dependía exclusivamente de las variables aleatorias.

- Fue necesaria una sucesión de mediciones de las características de calidad para generar una idea general del comportamiento del proceso y del producto.
- El siguiente paso de la metodología es integral respecto a los anteriores, ya que fue necesario realizar una serie de gráficas de control que presentarán de manera sencilla, clara y ejemplificada lo que sucedió en el proceso de producción y cómo se comportó el producto. Estas gráficas sirvieron como herramientas ya que en ellas se pueden observar las áreas donde se presentan las variaciones que tienen efectos reales sobre el producto final.

Las gráficas de control persiguen tres objetivos fundamentales: el seguimiento y la vigilancia del proceso, la reducción de la variación y el alcance de un menor costo por unidad.

En cualquier proceso productivo, por muy bien que se diseñe y por muy cuidadosamente que se controle, siempre existirá una cierta variabilidad inherente, natural, que no se puede evitar. Esta variabilidad natural es el efecto acumulado de muchas pequeñas causas de carácter esencialmente incontrolable.

Cuando la variabilidad sea relativamente pequeña se considera aceptable el nivel de funcionamiento del proceso y se dirá que la variabilidad natural es originada por un sistema estable de causas de azar. Este estado estable es el que se busca en cada proceso, que no existan variables asignables (son las variables que localizan el proceso fuera de control) y que la única disparidad entre los datos sea en virtud de causas incontrolables.

El estudio de capacidad pretendía detectar las variables asignables y permitir que se aplicasen acciones correctivas que evitarán la fabricación de productos defectuosos y de esta manera incrementar la eficiencia en la producción.

### **2.11.2. Criterios del estudio de capacidad de proceso de producción de bolsas de polietileno**

El estudio de capacidad del proceso se realizó sobre una planta dedicada a la fabricación de bolsas de polietileno; fue necesario determinar si el proceso tenía la aptitud para fabricar bolsas plásticas bajo los estándares especificados por los clientes y las condicionantes de proceso.

Para realizar el estudio de manera adecuada se tuvo que definir los criterios que guían el estudio.

#### Definición de las áreas de análisis

En el proceso de fabricación se involucraron muchas variables, tal como fue descrito en las secciones anteriores. La producción se puede dividir en dos grandes áreas de análisis, la de corte y la de extrusión.

El correcto funcionamiento de estas dos áreas es inminente para generar el producto final con una calidad aceptable, es obvio que el desarrollo de estas dos áreas está entrelazado; una adecuada extrusión, bajo todos los parámetros de control de calidad, generará una bobina adecuada para un correcto corte, bajo especificaciones y por ende un producto final de calidad. Así como los procesos pueden estar entrelazados de una forma positiva, también pueden estar unidos en un efecto negativo, es decir, que una mala extrusión complica los procesos de corte y por ende la calidad final.

A pesar de ser dos áreas íntimamente relacionadas, el análisis debe hacerse por separado lo que a su vez resulta más práctico y eficiente.

## Definición de la variable de análisis

El estudio de cada área involucra un número considerable de variables de control que afectan el producto final, por lo que determinar una variable de estudio resulta inminente, se tiene que escoger una variable que esté relacionada con los demás factores del proceso o que sea un reflejo de estos.

En el área de extrusión se escogió la variable de peso-metro como factor de estudio, esto debido a que involucra de forma intrínseca otras variables del proceso tales como: el calibre y el ancho de la película, los cuales son resultado del funcionamiento de las condiciones del equipo.

En lo referente al área de corte se realizó el estudio en función del peso del fardo, el cual está relacionado con el largo, ancho y calibre de la bolsa.

Se puede observar que las variables de estudio son cuantitativas y se dejaron de lado las variables cualitativas como la apariencia, resistencia, sello y que no exista bloqueo.

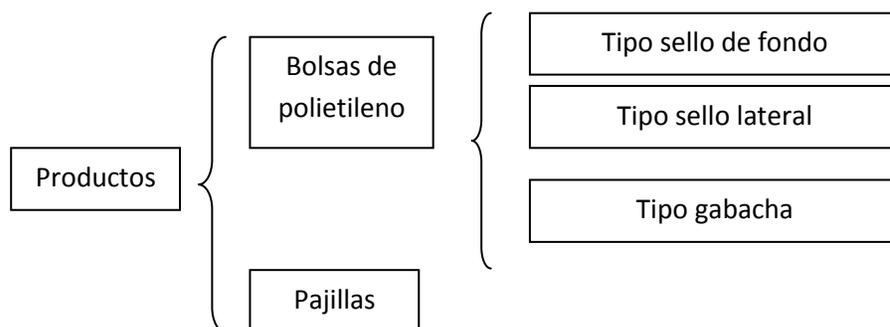
Se podría pensar que estas variables son de igual o mayor importancia que las consideradas de estudio para establecer la calidad final de la bolsa, pero es importante hacer notar que si el proceso se encuentra bajo control, es decir, que no se tienen problemas con el equipo y las variables de estudio se mantienen en los rangos especificados, las variables cualitativas se encontrarán en un estado competente y no serán tema de mayor preocupación, ni se necesitará de mayores parámetros de control que los efectuados en los controles de calidad rutinarios.

Las dos variables de análisis tienen consideraciones estadísticas particulares, ya que se asume que son continuas y tienen una distribución normal, también se asume que el proceso está bajo control estadístico, que sólo está afectado por variabilidad natural, no por causas asignables.

Determinación del producto a analizar

En la planta se producen los siguientes productos:

Figura 17. **Productos que fabrica la planta de producción**



Fuente: elaboración propia.

Por el contrario, las bolsas de polietileno representan el verdadero objeto de producción de la planta por lo que este producto debe ser el centro del estudio, sin embargo, existen dos factores que determinan los tipos de bolsas de polietileno: la mezcla de materias primas para obtener determinadas características y el tipo de sello de la bolsa, aunado a esto es importante mencionar que cada producto se trabaja a pedido del cliente. Es por esto que el tipo de bolsa que se produce en la planta es muy variado y con características muy particulares. Para resolver este problema y determinar un producto particular de análisis se utiliza la estadística descriptiva.

Toda empresa tiene un producto líder, el que más vende y por ende el que más produce, sobre este producto se realizará el estudio de capacidad del proceso, para encontrar este producto se utiliza la estadística descriptiva y el análisis de los archivos de producción de los meses anteriores.

Se consideran todos los clientes de la empresa y los productos que estos demandan durante los pasados tres meses los resultados son los siguientes:

Tabla IV. **Datos de los productos fabricados por la empresa según especificaciones de los clientes en los últimos tres meses**

Clientes	Productos (Bolsas de polietileno de ...)	Dimensiones del producto				Porcentaje de capacidad de producción en los últimos 3 meses (%)
		Largo (pulgadas)	Ancho (pulgadas)	Calibre (0,001 pulgadas)	Tipo de sello	
Cliente 1	Baja densidad	17	34	2,1	Fondo	13,92
	Alta densidad	13	23	4,6	Lateral	5,06
	Con resina metaloceno	30	33	2,6	Fondo	5,29
Cliente 2	Baja densidad	12	17,5	2,1	Gabacha	8,86
	Alta densidad	30	33	4,6	Lateral	7,15
	Baja densidad lineal	7	9	1,8	Lateral	0,98
Cliente 3	Baja densidad	17	34	2,1	Fondo	5,05
	Con resina metaloceno	15,75	25,75	3,2	Fondo	1,12
Cliente 4	Alta densidad	30	33	2,6	Lateral	5,96
	Baja densidad lineal	6	10	2,0	Lateral	1,21
Cliente 5	Baja densidad	8,5	11	1,5	Gabacha	3,17
Cliente 6	Baja densidad	10	17,78	2,0	Fondo	3,11
Cliente 7	Con resina metaloceno	20	30	2,2	Lateral	1,94
Cliente 8	Alta densidad	13	23	4,6	Lateral	4,15

Continuación de la tabla IV.

<b>Cliente 9</b>	Baja densidad lineal	8,5	14	1,6	Fondo	3,33
<b>Cliente 10</b>	Baja densidad	12,5	17,5	2,1	Fondo	1,05
<b>Cliente 11</b>	Con resina fraccional	14	26	1,5	Lateral	1,88
<b>Varios clientes pequeños</b>	Diferentes tipo de bolsas	Diferentes tipos de dimensiones			Diferentes tipos de sello	26,77
						100

Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior se determinó que: existen once empresas que hacen pedidos constantes y representan el 73,23% de la producción de los últimos tres meses, también se observó que los pedidos que se realizaron son variados, pero cada empresa requiere bolsas con las mismas medidas y del mismo tipo (se omite el nombre de los clientes que demandaron el producto por motivos de confidencialidad entre las empresas).

Además, denota la materia prima más utilizada, ya que el polietileno de baja densidad lineal se utilizó en el 5,52% de la producción de los últimos tres meses, el de alta densidad el 22,32% y el de baja densidad, el que más se utilizó, 35,16%, de este el 18,97% se utilizó para producir bolsas de 17 pulgadas de largo por 34 de ancho con sello de fondo.

Utilizando como base lo anterior se determinó el producto líder de la empresa y por ende el producto que fue objeto de estudio es la bolsa de polietileno de baja densidad de 17 pulgadas de largo por 34 de ancho con calibre de 2,1 y con sello de fondo.

### Determinación de los equipos a analizar

En función de las condiciones del producto a analizar fue necesario determinar qué equipos se analizarían, para estudiar el proceso se utilizarían tres de los doce extrusores de la planta, estos tres extrusores son los más grandes de esta. En el área de corte se estudiaron cuatro cortadoras de las dieciséis que posee la planta, se analizaron cuando estaban trabajando con el producto de estudio.

### Parámetros en la toma de muestras

Según la sección 3.6. se tomaron cuarenta y cinco muestras tanto en el proceso de extrusión como en el proceso de corte.

Los turnos operativos duran ocho horas, por lo tanto, la toma de muestras empezó una hora después de haber iniciado el proceso dando tiempo a que el equipo se estabilice y finalizó una hora antes de que el proceso se detenga, dejando así un margen de seis horas para la toma de muestras en ese equipo.

### Comportamiento del personal

El operador tiene la obligación de encender el equipo, calibrarlo correctamente y adecuar todas las variables de producción, según los requerimientos del producto en los primeros quince o veinte minutos y dejar que el equipo trabaje sin ningún tipo de perturbación durante las siguientes seis horas y media, tiempo que se utilizará para que el equipo se estabilice y se dé la toma de datos.

El encargado de tomar las muestras deberá realizar este proceso en el tiempo estipulado por la tabla de números aleatorios (anexos) y respetar el comportamiento del equipo, además de verificar que el equipo no sea perturbado por ninguna otra persona.

## **2.12. Parámetros de calidad sobre el polietileno de baja densidad**

Una vez establecido el producto líder, el cual es el producto de análisis, es necesario determinar si la materia prima tiene las condiciones apropiadas para ser procesada y obtener un producto final de calidad.

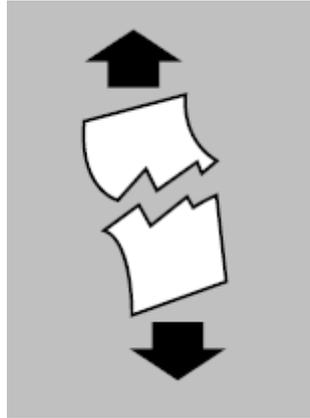
Para establecer los parámetros de calidad de la materia prima existen una serie de pruebas, las cuales han sido aprobadas y estandarizadas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, ASTM por sus siglas en inglés (American Society for Testing and Materials), estas son:

- Tracción y elongación (ASTM D-882)

La resistencia a la tracción es, literalmente, la cantidad de fuerza requerida para la ruptura completa de un material. Para películas, las unidades normales de medida son las libras por pulgada cuadrada del área original transversal.

La elongación es la cantidad de estiramiento que el material puede soportar antes de romperse. La máquina de prueba consiste en mordazas para sujetar la muestra, algún modo de aumentar la tensión hasta el punto de ruptura de las muestras e indicadores de la tensión y la cantidad de elongación. Mucha elongación es un índice de resistencia, puesto que indica que el material absorberá una gran cantidad de energía antes de romperse.

Figura 18. **Prueba de tracción y elongación**

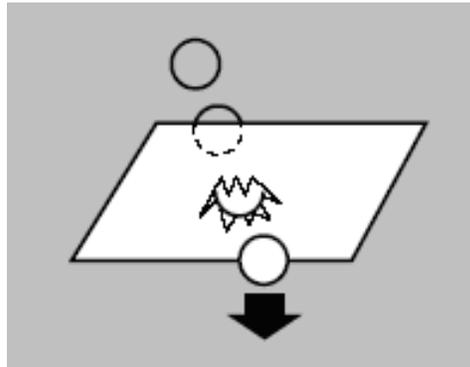


Fuente: ALARCÓN SALAS, Xavier Alberto. Estudio de la relación entre la estructura, procesamiento, propiedades mecánicas y transferencia de vapor de agua en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. p. 68.

- Resistencia al impacto (ASTM D-3420)

La prueba del péndulo al impacto puede ser empleada para medir la resistencia al impacto de cuerpos plásticos. Un cabezal de impacto al final del péndulo gira en un arco a través de la muestra. El examinador mide la diferencia entre la energía potencial del péndulo a su altura máxima de giro libre y la energía potencial del péndulo después de la ruptura de la muestra. Esta diferencia en energía se define como resistencia al impacto y se mide en kilogramos por centímetros y sirve para predecir la resistencia de un material a la ruptura debido a caídas u otros golpes súbitos.

Figura 19. **Prueba de resistencia al impacto**



Fuente: ALARCÓN SALAS, Xavier Alberto. Estudio de la relación entre la estructura, procesamiento, propiedades mecánicas y transferencia de vapor de agua en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. p. 69.

La prueba utilizada para películas plásticas es la prueba de impacto al dardo (ASTM D-1709). Un dardo se deja caer de una altura fija sobre la muestra bien estirada. La importancia y los propósitos de esta prueba son iguales a los de la prueba del péndulo. La unidad del dardo es el peso del dardo en gramos que llega a romper la muestra 50% del tiempo.

Estas pruebas dan un índice de la fuerza dinámica del material y una aproximación de lo que ocurre al dejar caer un paquete cuya bolsa está hecha de este material.

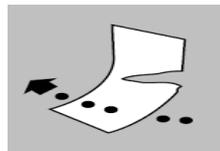
- Resistencia al rasgamiento y la ruptura (ASTM D-1922)

La resistencia al rasgado o rompimiento indica la fuerza necesaria para llegar a la ruptura de una muestra, después de hacerle una muesca inicial. La resistencia se mide en kilogramo fuerza por milímetro de película.

El probador consiste en una mordaza fija y una mordaza móvil en un péndulo, algún modo de mantener elevado este péndulo y luego soltarlo de súbito y una escala para medir el arco que hace el péndulo libre. Muestras de la película son sujetadas con mordaza dentro del probador y se les hace una muesca para iniciar el rasgamiento/ruptura; luego se suelta la mordaza del péndulo. Esto rasga la muestra y la escala mide el arco. Puesto que el arco es proporcional a la resistencia de la muestra, la medición del arco indica la resistencia.

Esta prueba es muy importante para todo tipo de película, así como, para papel. Valores altos al rasgamiento pueden ser necesarios para operaciones de máquina o para los paquetes bien resistentes. Sin embargo, los valores bajos son necesarios y útiles para la fácil apertura de algunos tipos de paquetes.

Figura 20. **Prueba de resistencia al rasgamiento y la ruptura**



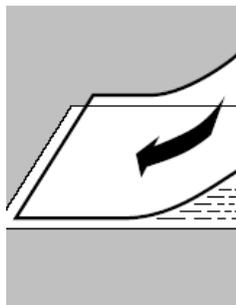
Fuente: ALARCÓN SALAS, Xavier Alberto. Estudio de la relación entre la estructura, procesamiento, propiedades mecánicas y transferencia de vapor de agua en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. p. 71.

- Coeficientes de fricción (ASTM D1894-93)

Los coeficientes de fricción son la relación entre la fuerza de fricción y la fuerza, generalmente de gravitación, que actúa perpendicularmente a las dos superficies en contacto. Este coeficiente es una medida de la dificultad relativa que tendrá la superficie de una película al deslizarse sobre otra semejante película contigua a la primera.

El coeficiente de fricción inicial o estático se relaciona con la fuerza medida para comenzar el movimiento de las superficies, una en relación con la otra. El coeficiente de fricción dinámico se relaciona con la fuerza medida para mantener este movimiento. El aparato consiste en un deslizador recubierto con película que será arrastrado a una velocidad controlada sobre una superficie de película fija. Se emplea un medidor de flujo para medir la fuerza de fricción. Esta prueba mide el deslizamiento o lubricidad de película a película o de metal a película.

Figura 21. **Prueba del coeficiente de fricción**



Fuente: ALARCÓN SALAS, Xavier Alberto. Estudio de la relación entre la estructura, procesamiento, propiedades mecánicas y transferencia de vapor de agua en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. p. 77.

### **2.13. Diseño de la burbuja en el proceso de extrusión**

Al lograr establecer los parámetros de calidad se procede a diseñar la burbuja, presente en el proceso de extrusión, en este caso el diseño está orientado para producir bobinas de film de 34 pulgadas de ancho (tamaño requerido para fabricar las bolsas de 17 pulgadas de largo por 34 pulgadas de ancho y un calibre de 2,1). El proceso se fundamenta en todos los parámetros descritos en la sección 2.3.2.

El diseño de la burbuja surge como criterio teórico de la forma en que debería comportarse la burbuja en planta de producción, en la sección de resultados se compara el comportamiento real de la burbuja en la planta de producción respecto al diseño teórico planteado en esta sección.

El análisis comparativo del comportamiento de la burbuja presenta la oportunidad de establecer la injerencia de esta y de las actuales condiciones a las que se está produciendo, con relación a los resultados obtenidos en el estudio de capacidad de proceso.

Antes de describir el proceso de diseño es importante reconsiderar los parámetros básicos, mediante la figura 8.

Criterios de diseño:

- El ancho de la bobina es de 34 pulgadas  
 $Lay\ Gap = 34$  pulgadas
- La velocidad de descarga del cabezal es de 150 lb/h  
 $Vd = 150\ lb/h = 68,06\ kg/h$
- El diámetro del dado o cabezal es de 5 ½ pulgadas  
 $Dd = 5,5$  pulgadas = 13,97 cm
- La abertura del dado o cabezal es de 0,030 pulgadas  
 $Ho = 0,030$  pulgadas
- Calibre de la película ( $e_f$ ) es de 2,1  
 $e_f = 0,0021$  pulgadas
- Altura de congelamiento de 14 pulgadas  
 $Z = 14$  pulgadas = 35 cm

Proceso de diseño:

Determinación del diámetro de la burbuja ( $D_b$ )

$$\text{Lay Flat} = \frac{\text{Diámetro de la burbuja } (D_b)}{0,637} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$\text{Diámetro de la burbuja } (D_b) = \text{Lay Flat} * 0,637$$

$$\text{Diámetro de la burbuja } (D_b) = 34 * 0,637$$

$$\text{Diámetro de la burbuja } (D_b) = 21,658 \text{ pulgadas} \equiv 22 \text{ pulgadas}$$

Determinación de la relación de soplado

$$\text{BUR} = \frac{\text{Diámetro de la burbuja } (D_b)}{\text{Diámetro del dado } (D_d)} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

$$\text{BUR} = \frac{21,658 \text{ pulgadas}}{5,5 \text{ pulgadas}}$$

$$\text{BUR} = 3,938 \equiv 4$$

$$\text{BUR} = 4$$

Determinación de la relación de halado. *Draw Down Ratio* (DDR)

$$\text{DDR} = \frac{V_h}{V_d} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

$$\text{DDR} = \frac{V_h}{V_d} = \frac{\left(1 - \frac{\text{Gap}}{D_d}\right) * \text{Gap} * \rho_{\text{melt}}}{\left(\text{BUR} - \frac{e_f}{D_d}\right) * e_f * \rho_{\text{pel}}} \quad [\text{Ecuación 5}]$$

Donde

$D_d = 5,5$  pulgadas

$\text{Gap} = H_o = 0,030$  pulgadas

$e_f = 0,0021$  pulgadas

$\text{BUR} = 4$

Entonces,

$$\text{DDR} = \frac{\left(1 - \frac{0,030}{5,5}\right) * 0,030}{\left(4 - \frac{0,0021}{5,5}\right) * 0,0021}$$

$$\text{DDR} = 3,55$$

Determinación de los factores adimensionales en orden de encontrar la sobrepresión interna y la fuerza de tensión axial vitales para la formación y el equilibrio de la burbuja.

Determinación de X en función de la altura de congelamiento

$$X = \frac{Z}{\left(\frac{D_d}{2}\right)} \quad [\text{Ecuación 8}]$$

Donde

$$Z = 14 \text{ pulgadas} = 35 \text{ cm}$$

$$D_d = 5,5 \text{ pulgadas} = 13,97 \text{ cm}$$

$$X = \frac{35}{\left(\frac{13,97}{2}\right)}$$

$$X = 5,00$$

Utilizando la figura 9, donde

$$\frac{e_i}{e_f} = \frac{0,03}{0,0021} = 14,29$$

$$\text{BUR} = 4$$

Se establece que

$$B = 0,06687 \equiv 0,067$$

$$T_z = 1,2$$

Determinación de la sobrepresión interna ( $\Delta P$ )

$$\Delta P = \frac{\mu * M_s * B}{\rho * \pi * \left(\frac{D_d}{2}\right)^3} \quad [\text{Ecuación 6}]$$

Donde

$$M_s = 18,905 \text{ g/s}$$

$$B = 0,067$$

$$D_d = 13,97 \text{ cm}$$

$$\mu = 25\,000 \text{ Pa s}$$

$$\rho = 1,415534 \text{ g/cm}^3$$

$$\Delta P = \frac{25\,000 * 18,905 * 0,067}{1,415 * \pi * \left(\frac{13,97}{2}\right)^3}$$

$$\Delta P = 20,86 \text{ Pa}$$

Determinación de la fuerza de tensión axial ( $F_z$ )

$$F_z = \frac{\mu * M_s * T_z}{\rho * \left(\frac{D_d}{2}\right)} \quad [\text{Ecuación 7}]$$

Mediante el análisis dimensional se establece que es necesario modificar las dimensiones de la densidad y el diámetro del dado para obtener una fuerza (dimensional en Newtons), por tanto,

$$\rho = 1\,415\,534,33 \text{ g/m}^3$$

$$D_d = 0,1397 \text{ m}$$

Y sabiendo que  $T_z = 1,2$

$$F_z = \frac{25\,000 * 18,905 * 1,2}{1\,415\,534,33 * \left(\frac{0,1397}{2}\right)}$$

$$F_z = 5,735 \text{ N}$$

Determinación de la velocidad de descarga ( $V_d$ ), para establecer este valor se parte desde el valor teórico del peso metro (g/m) el cual se obtiene de la ecuación 17, en virtud de los criterios del producto que se va a producir.

$$\text{Peso teórico} = \frac{39,37 * \text{ancho de bobina} * \text{Espesor o Calibre}}{30 * 2,2046} \quad [\text{Ecuación 17}]$$

$$\text{Peso teórico} = \frac{39,37 * 34 * 2,1}{30 * 2,2046} = 42,50 \text{ g/m}$$

$$\left( 42,50 \frac{\text{g}}{\text{m}} * \frac{1 \text{ lb}}{453,59 \text{ g}} * \frac{1 \text{ h}}{150 \text{ lb}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right)^{-1} = 0,445 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_d = 0,445 \text{ m/s}$$

Determinación de la velocidad lineal de halado ( $V_h$ ) del rodillo superior la cual por medio del radio del rodillo que es de 4 pulgadas (10,16 centímetros) se puede establecer la velocidad angular de halado en revoluciones por minuto (rpm).

$$\text{DDR} = \frac{V_h}{V_d} = 3,55$$

$$V_h = 3,55 V_d$$

$$V_h = 3,55 * 0,445$$

$$V_h = 1,579 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 296,76 \text{ rpm}$$

Establecer si el proceso necesita un sistema de enfriamiento interno (Internal Bubble Cooling IBC). La sección 2.3.2. determina que se necesita calcular la velocidad específica de enfriamiento ( $V_E$ ).

$$V_E = \frac{M_s}{\pi * D_d} \quad [\text{Ecuación 18}]$$

Si:

$$V_E \leq 2,5 \frac{\text{Kg}}{\text{h cm}} \rightarrow \text{No necesita IBC}$$

$$2,5 \frac{\text{Kg}}{\text{h cm}} \leq V_E \leq 4,8 \frac{\text{Kg}}{\text{h cm}} \rightarrow \text{Necesita IBC}$$

Calculando  $V_E$ , la  $M_s$  se obtiene del balance de masa y energía el cual se encuentra desarrollado en la sección posterior y sus resultados se presentan en la sección 4.4.

$$V_E = \frac{67,75 \text{ kg/h}}{\pi * 13,97 \text{ cm}}$$

$$V_E = 1,54 \frac{\text{kg}}{\text{cm h}}$$

Por tanto, la burbuja no necesita un sistema de enfriamiento interno.

## 2.14. Balance de masa y energía sobre el proceso de extrusión

Los balances se presentan para un sistema ideal y tienen la finalidad de ejemplificar lo que acontece en el proceso, para luego realizar la comparación con las condiciones reales en las que trabaja el área de producción.

La comparación de estos resultados, permite inferir sobre si la planta está trabajando de manera adecuada o presenta condiciones que se desvían de la idealidad más allá de la variabilidad natural del proceso.

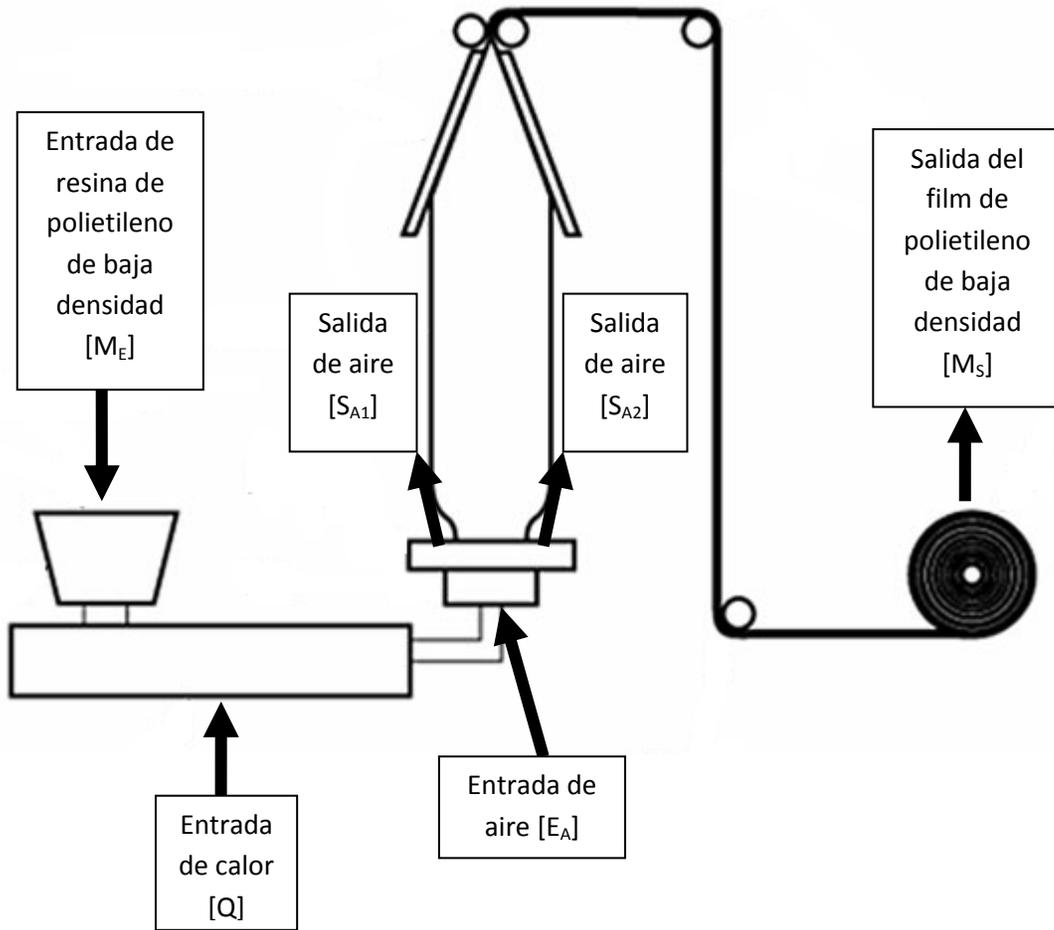
Balance de masa:

Para realizar un balance de masa es necesario establecer un sistema bien definido, en este caso el área de extrusión descrita en la sección 2.3. Además, para todos los criterios planteados en la sección 2.13. son válidos ya que el proceso es el mismo.

Ecuación general de balance,

$$\text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} = \text{Acumulación} \quad [\text{Ecuación 19}]$$

Figura 22. Diagrama del balance de masa y energía



Fuente: elaboración propia.

Balance de masa sobre el aire

$$E_A = S_{A1} + S_{A2} \quad [\text{Ecuación 20}]$$

Balance de masa sobre el polietileno de baja densidad

$$M_E = M_S \quad [\text{Ecuación 21}]$$

Según las condiciones de proceso planteadas en la sección 2.13.

$$M_E = M_S = 150 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Balance de energía:

$$\Delta \text{Energía} = Q - \text{pérdidas} \quad [\text{Ecuación 22}]$$

Asumiendo un comportamiento adiabático, las pérdidas son nulas. Además, que la energía potencial y la energía interna también se consideran nulas, el balance se establece de la siguiente forma:

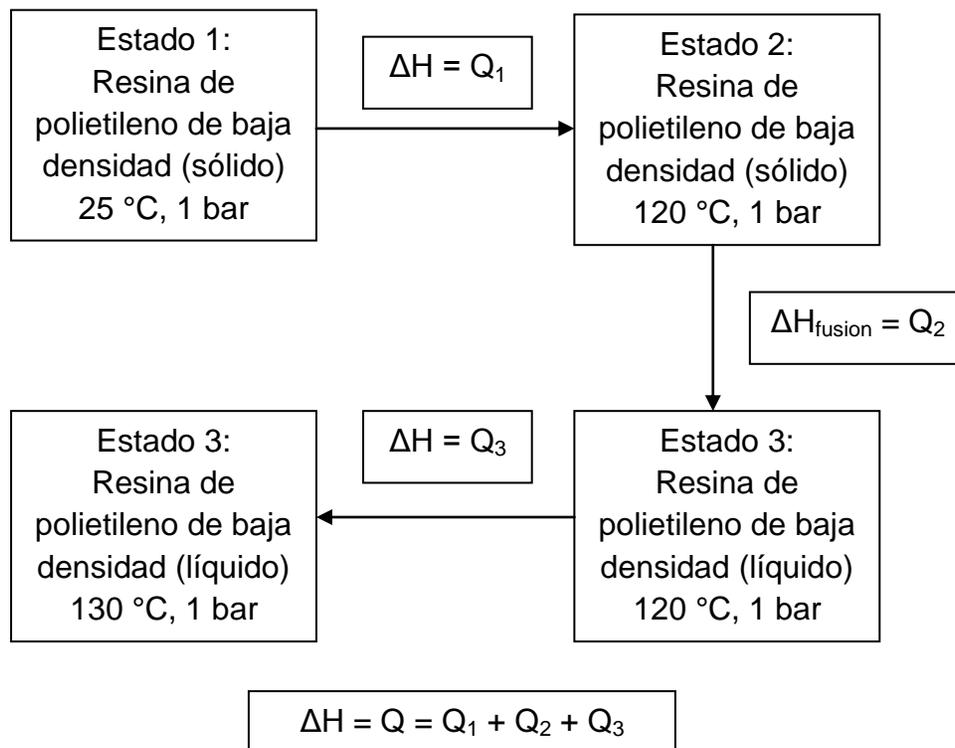
$$\Delta \text{Energía} = \Delta H = Q \quad [\text{Ecuación 23}]$$

El flujo de calor (Q) es el necesario para llevar a cabo la fundición de la resina de polietileno de baja densidad y que se mezcle de manera adecuada en el cañón del extrusor.

**2.15. Determinación de la cantidad de calor necesaria para llevar a cabo la fundición y el mezclado del polietileno de baja densidad en el cañón del extrusor**

Para establecer la cantidad de calor necesaria para realizar la fundición y el mezclado de las resinas de polietileno de baja densidad, se utilizan propiedades intrínsecas y es necesario plantear una trayectoria de estado que permita calcular la cantidad de calor.

Figura 23. Trayectoria de estado del polietileno de baja densidad



Fuente: elaboración propia.

Cálculo de  $Q_1$

$$Q_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p dt \quad [\text{Ecuación 24}]$$

Donde

$$M_E = 68,06 \text{ kg/h}$$

$$C_p = 2,5 \text{ kJ/kg K}$$

$$Q_1 = \int_{25}^{120} 2,5 dt$$

$$Q_1 = 237,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Cálculo de  $Q_2$

$$Q_2 = \Delta H_{\text{fusión}} \quad [\text{Ecuación 25}]$$

Donde

$$\Delta H_{\text{fusión}} = 293 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_2 = 293 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Cálculo de  $Q_3$

$$Q_3 = \int_{T_3}^{T_4} C_p dt \quad [\text{Ecuación 24}]$$

Donde

$$M_E = 68,06 \text{ kg/h}$$

$$C_p = 2,5 \text{ kJ/kg K}$$

$$Q_3 = \int_{120}^{130} 2,5 dt$$

$$Q_3 = 25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Cálculo del calor total

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = 237,5 + 293 + 25$$

$$Q = 555,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

El valor de  $Q$  es el calor necesario para fundir y mezclar de manera adecuada un kilogramo de resina de polietileno de baja densidad y es consecuente con el balance de energía planteado en la sección anterior.

## 2.16. Determinación de la cantidad de calor suministrada al extrusor en la planta de producción

Aplicando los criterios y conceptos descritos en la sección 2.10.1., se puede determinar Q, que es la cantidad de calor que se agrega al proceso de extrusión mediante las resistencias eléctricas, antes descritas. Este valor Q es la cantidad real de calor que se agrega en la planta de producción. Este valor también es consecuente con el balance de energía descrito en la sección 2.14.

$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \quad [\text{Ecuación 9}]$$

Donde

k = conductividad térmica del acero = 58 Watts por metro grado Kelvin [W/m K] = 208,8 kilojoule por hora metro grado Kelvin [kJ/ (h m K)].

A = área de transferencia de calor = 1,918 metros cuadrados [dato obtenido de un extrusor en planta de producción, diámetro interno de 0,37 metros y largo de 1,65 metros].

$\Delta T$  = 131,5 grados centígrados – 130 grados centígrados [diferencia entre la temperatura en contacto directo con la resistencia eléctrica y la temperatura en el lado interior del cañón, en contacto con la resina determinada por el termopar del propio extrusor].

X = ancho del cañón = 0,01 metros

$$Q = -208,8 * 1,918 * \frac{130 - 131,5}{0,01}$$

$$Q = 60\,071,76 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\frac{Q}{M_E} = \frac{60\,071,76 \text{ kJ/h}}{68,06 \text{ kg/h}} = 882,63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 882,63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

El valor obtenido es el calor que ingresa al extrusor por cada kilogramo de polietileno de baja densidad, este calor es suministrado por las resistencias eléctricas.

Al obtener este valor es posible determinar el valor de las pérdidas, sabiendo que el extrusor no se comporta de manera adiabática. El valor de las pérdidas es la diferencia entre la cantidad de calor necesaria para fundir y mezclar el polietileno de baja densidad y la cantidad de calor que se suministra al extrusor.

$$\text{Pérdidas} = 882,63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 555,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Pérdidas} = 327,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

## 2.17. Determinación de las pérdidas económicas anuales como consecuencia de las pérdidas de calor en el extrusor

Las pérdidas de calor descritas en la sección anterior representan pérdidas económicas para la empresa y son cantidades significativas e importantes de conocer para analizar el proceso de producción.

Las pérdidas en términos de calor son,

$$\text{Pérdidas} = 327,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Sabiendo que la producción por hora es de 68,06 kg/h (sección 2.12.)

$$\text{Pérdidas} = 327,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 68,06 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 22\,264,47 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Convirtiendo este valor a kilovatios por hora (kWh)

$$\text{Pérdidas} = 22\,264,47 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 6,18 \text{ kWh}$$

El valor del kilovatio por hora es de Q1,67 por kWh en el sector no regulado en donde se encuentra la empresa. Por tanto,

$$6,18 \text{ kWh} * 1,67 \frac{\text{Q}}{\text{kWh}} * 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 30 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} = \text{Q}89\,321,48$$

Pérdidas económicas = Q89 321,48 anuales

Es evidente que las pérdidas no se pueden anular por completo ya que es imposible tener un sistema completamente adiabático y las pérdidas por conducción, convección y radiación siempre van a existir, sin embargo, sí es posible aplicar técnicas que eviten que las pérdidas sean grandes o aumenten, el aislamiento de las resistencias es opción más sencilla, aunque cuando se realizan cambios de este tipo siempre son necesarios realizar los presupuestos y los análisis económicos.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

Esta sección lleva a cabo la presentación de las directrices que rigen la investigación y que sirven como parámetros para establecer todas las condiciones para implementar cualquier tipo de mecanismo sobre el proceso de producción.

#### 3.1. Variables

A continuación se presentan dos tablas con las variables controlables y no controlables en el área de extrusión y de corte.

Tabla V. **Definición operacional de las variables en el área de extrusión en el proceso de fabricación de bolsas de polietileno**

Variable	Independiente	Dependiente	Controlable	No controlable
Capacidad de la tolva	X		X	
Flujo de aire en el extrusor	X		X	
Temperatura en el cabezal o dado	X		X	
Temperatura en las camisas del extrusor	X		X	

Continuación de la tabla V.

Velocidad (rpm) del tornillo sinfín del extrusor	X		X	
Calibración del dado	X		X	
Ajustes Mecánicos	X		X	
Tratamiento corona, película para impresión	X		X	
Ancho de la bobina		X	X	
Calibre entre las caras de la película		X	X	
Peso por metro de película		X		X
Resistencia de la película		X		X
Apariencia de la película		X		X
Bloqueo entre las caras de la película		X		X
Color de la película		X		X
Altura de la zona de congelamiento		X		X

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Definición operacional de las variables en el área de corte**

<b>Variable</b>	<b>Independiente</b>	<b>Dependiente</b>	<b>Controlable</b>	<b>No controlable</b>
Flujo de la película	X		X	
Tensión en el rodillo de admisión	X		X	
Tensión en el rodillo de balance	X		X	
Temperatura de corte y sellado	X		X	
Velocidad (bolsas/minuto)	X		X	
Largo de la bolsa	X		X	
Ancho de la bolsa		X		X
Calibre entre caras de la bolsa		X		X
Resistencia de la bolsa		X		X
Apariencia de la bolsa		X		X
Bloqueo entre las caras de la bolsa		X		X
Color de la película		X		X
Peso del fardo		X	X	

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

- Campo: industria de polímeros o plásticos
- Área: bolsas a partir de resinas de polietileno
- Línea: estudio y análisis en la planta de producción de bolsas de polietileno.
- Proyecto: análisis de la capacidad de una planta de producción de bolsas de polietileno.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

Investigador: Manuel José Viana Vidal

Asesor: Ing. Tulio Hernández Roldán

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Fue necesario el uso de todos los recursos materiales presentes en la planta, ya que la investigación tiene como objetivo subyacente la correcta y adecuada utilización de estos recursos.

#### **3.4.1. Materia prima**

- Polietileno de alta densidad
- Polietileno de baja densidad
- Polietileno de baja densidad lineal
- Resina tipo metaloceno
- Resina tipo fraccional
- Materbatch o colorante artificial
- Aditivo antibloqueo
- Aditivo antideslizamiento
- Aditivo antioxidante

#### **3.4.2. Equipo**

- Extrusor industrial
- Cortadora y selladora industrial
- Mezcladora
- Aparato de medición lineal (metro)
- Micrómetro analógico
- Balanza analítica
- Balanza industrial

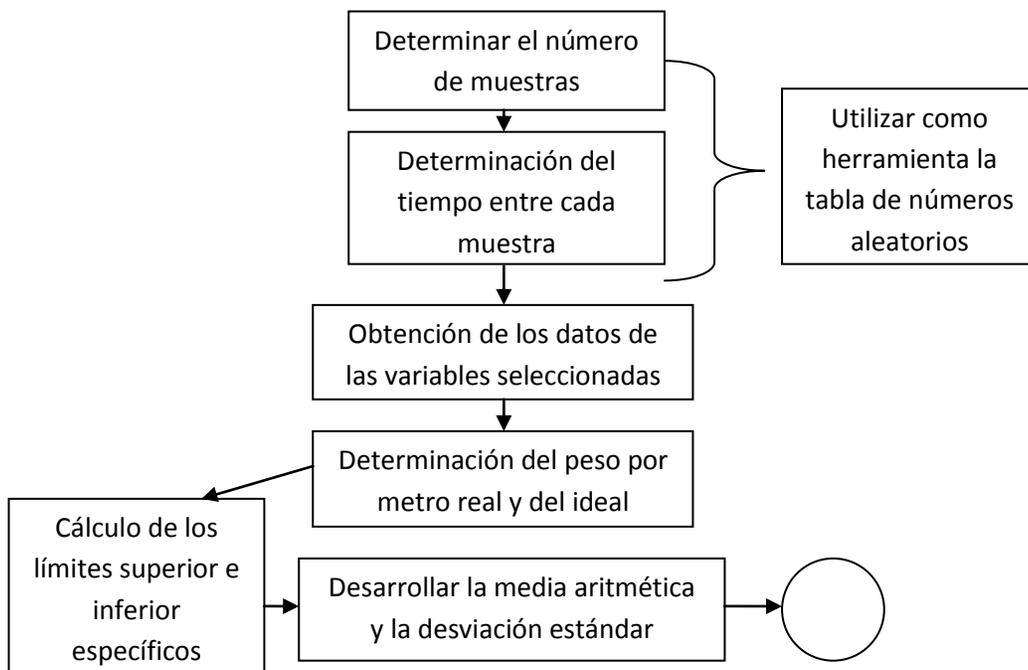
### 3.5. Técnicas cuantitativas y cualitativas

Se describe el procedimiento para la obtención de la data y el algoritmo utilizado para realizar el estudio de capacidad, los procedimientos operacionales estándar y el manual asociado al equipo de producción.

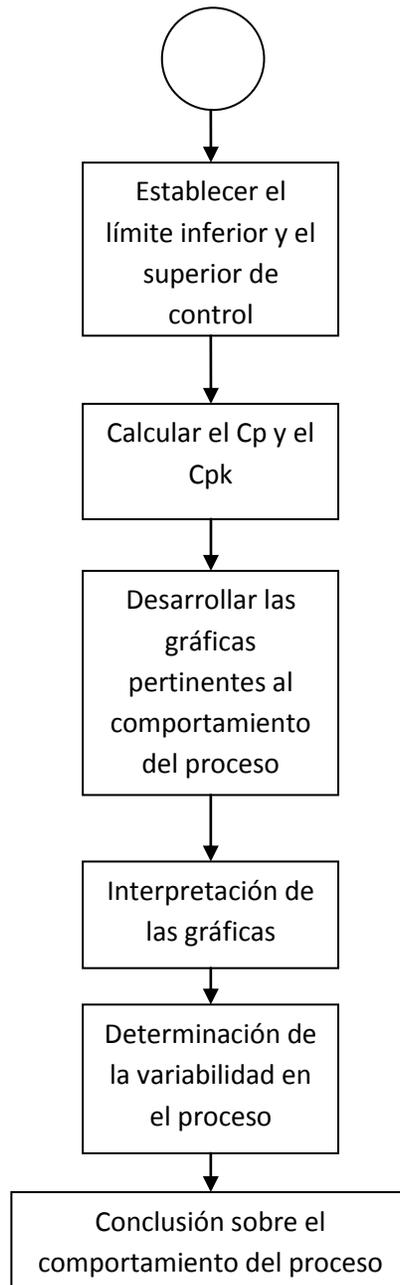
#### 3.5.1. Técnica cuantitativa para el desarrollo del estudio de capacidad

A continuación se presentan todos los pasos a seguir para lograr desarrollar el estudio de capacidad. El diagrama representa la estrategia para la obtención y el manejo de los datos para alcanzar los objetivos planteados.

Figura 24. Diagrama de flujo para el estudio de capacidad



Continuación de la figura 24.

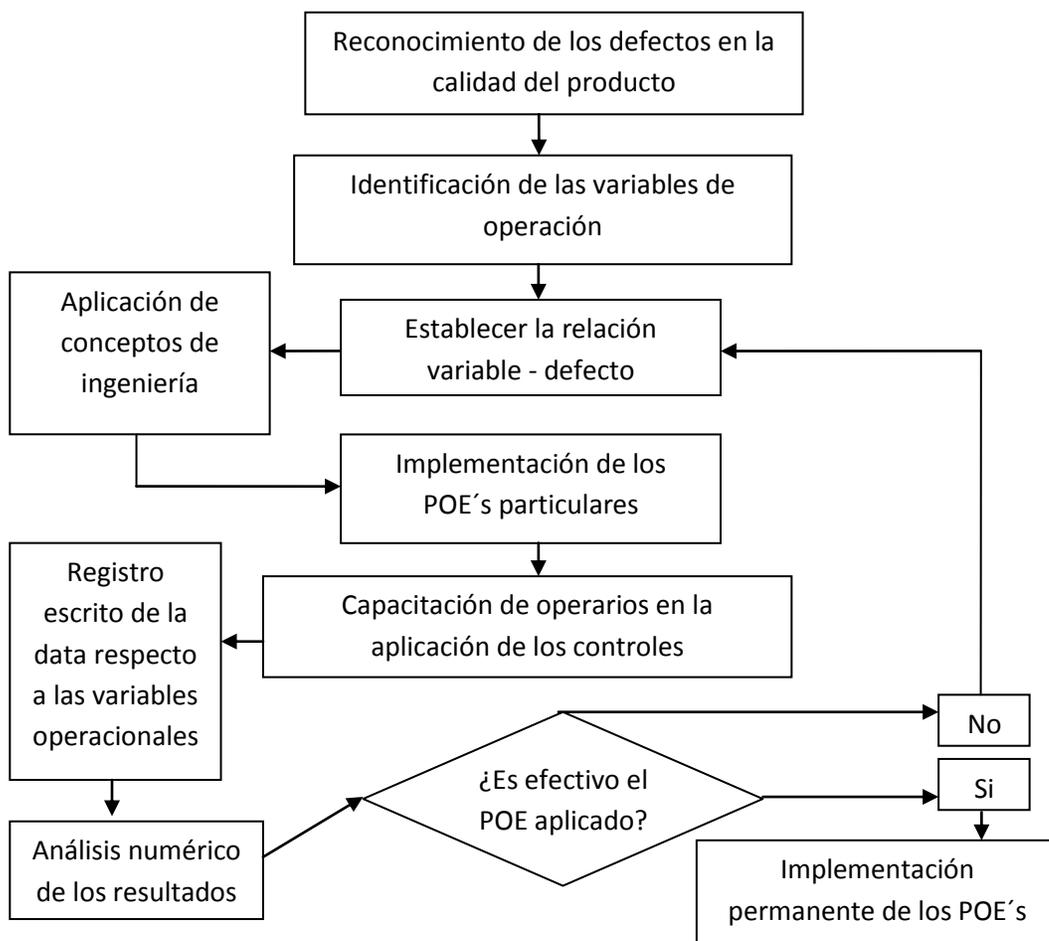


Fuente: elaboración propia.

### 3.5.2. Técnica cualitativa y cuantitativa para los Procedimientos Operacionales Estándar

A continuación se presentan todos los pasos a seguir para lograr desarrollar los procedimientos operacionales estándar. El diagrama representa la estrategia para la redacción e implementación de los procedimientos.

Figura 25. Diagrama de flujo para los Procedimientos Operacionales Estándar (POE)

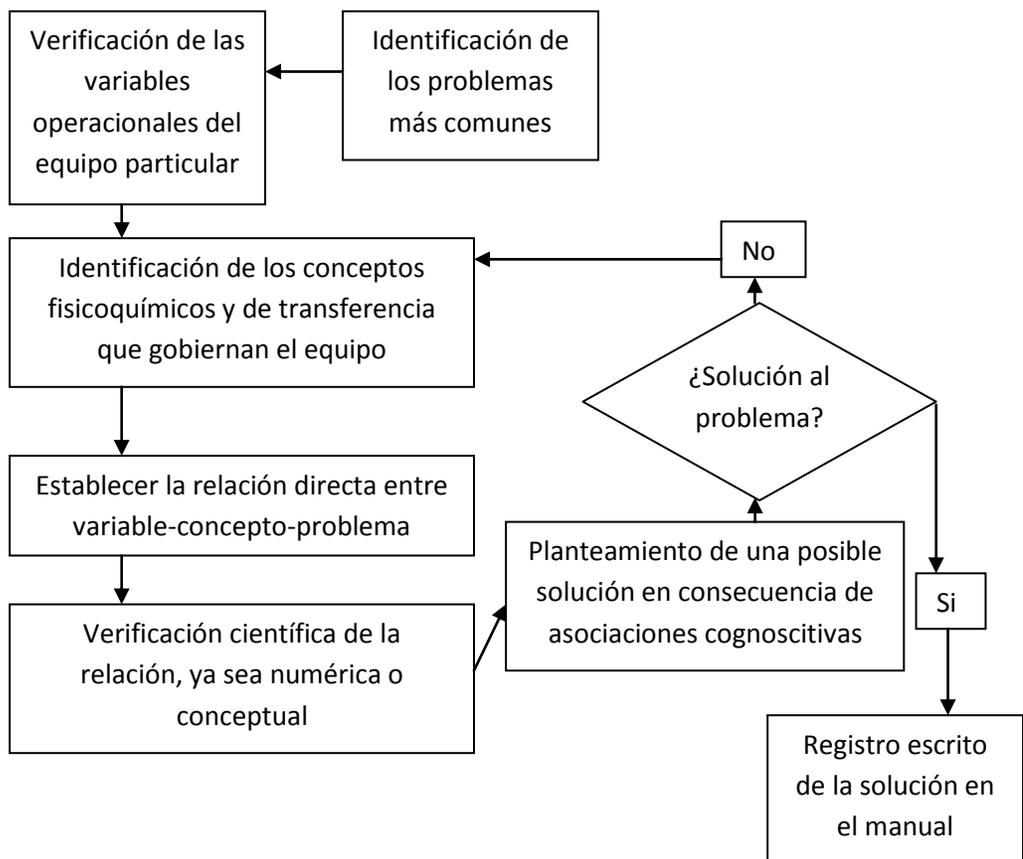


Fuente: elaboración propia.

### 3.5.3. Técnica cualitativa y cuantitativa para el manual de contingencia respecto a los problemas, causas y soluciones asociados al equipo

A continuación se presentan todos los pasos a seguir para lograr desarrollar el manual de resolución de problemas. El diagrama representa la estrategia para la obtención de la data correspondiente y su respectiva redacción en el manual.

Figura 26. Diagrama de flujo para el manual de contingencia



Fuente: elaboración propia.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La planta de producción de bolsas de polietileno se puede dividir en varias áreas: extrusión, área de espera de producto, área de corte y sellado, área de empaque, área de traslado y entrega de producto terminado a bodega y el área de impresión (cuando los requerimientos del cliente lo demanden). Pero para caracterizar el comportamiento de la planta son necesarios datos cuantitativos del área de extrusión y corte.

Determinación de las muestras a tomar en el área de extrusión y corte:

Debido a que los resultados deben ser precisos y satisfactorios, se trata de disminuir los posibles errores utilizando un número de corridas adecuadas a evaluar. Para llevar a cabo lo anterior se utiliza una confiabilidad de 1,96, una probabilidad de éxito del 95% por lo que la probabilidad de fracaso es 5%, y se estima un error estimado de 6,4%.

$$N = \frac{Z^2PQ}{E^2} \quad [\text{Ecuación 26}]$$

Donde

Z = para un nivel de confianza del 95% = 1,96

P = probabilidad de éxito = 0,95

Q = probabilidad de fracaso = 0,05

E = error estimado = 6,4%

N = número de corridas

Sustituyendo datos en la ecuación 26 se obtiene lo siguiente:

$$N = \frac{(1,96)^2 * 0,95 * 0,05}{0,064^2}$$

$$N = 44,55 = 45$$

Por lo tanto, la cantidad de muestras que se obtuvieron fueron 45.

Además, de los datos obtenidos de las muestras también se contó con los datos de las variables presentadas en cada una de las secciones de producción. Para lograr obtener los datos numéricos fueron necesarios los equipos y aparatos descritos en la sección 3.4.

Los equipos industriales utilizados están automatizados lo que permite una lectura rápida y confiable de la información facilitando la recolección de datos, aunque estos están asociados al comportamiento del equipo. Para recolectar los datos concernientes al producto y verificar su calidad son fundamentalmente necesarios los dispositivos tales como el metro, cronometro, la balanza analítica y el micrómetro (comúnmente llamado en la jerga de la planta como calibrador).

El ordenamiento de la información es en un principio por áreas, utilizando tablas que fueron diseñadas con el objeto de contener toda la información necesaria del proceso según cada área. Posteriormente, se procedió a recolectar y ordenar la información obtenida, fue inminente una interrelación en la información, es decir, se buscaron consecuencias de determinadas variabilidades respecto a una característica particular.

### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

La tabulación y el ordenamiento de la información se realizó en las principales áreas de producción y mediante tablas específicas. Dichas tablas también sirvieron como inicio para el desarrollo de los formatos de control.

#### **3.7.1. Área de extrusión**

Las tablas con los datos obtenidos se encuentran en el apéndice 3.

Procesamiento de la información:

- Tabulación y ordenamiento de datos mediante la tabla de datos de extrusión.
- Verificación de las muestras según los tiempos dados por la tabla de números aleatorios en el desarrollo del estudio de capacidad.
- Determinación cuantitativa del peso/metro ideal (mediante fórmula).
- Relación cuantitativa y gráfica del peso/metro en función del ancho y el calibre entre caras de la muestra obtenida.
- Análisis del efecto de la variabilidad en determinadas condiciones sobre la calidad del producto final.
- Realización de las técnicas registradas en la sección 4.5.
- Presentación e interpretación de los resultados obtenidos.

### **3.7.2. Área de corte, sellado y empaque**

Las tablas con los datos obtenidos se encuentran en el apéndice 3.

Procesamiento de la información

- Tabulación y ordenamiento de datos mediante la tabla de datos de extrusión.
- Verificación de las muestras según los tiempos dados por la tabla de números aleatorios en el desarrollo del estudio de capacidad.
- Determinación cuantitativa del peso del fardo ideal.
- Relación cuantitativa y gráfica del peso del fardo y el ancho, largo y el calibre de la bolsa.
- Análisis del efecto de la variabilidad en determinadas condiciones sobre la calidad del producto final.
- Realización de las técnicas registradas en la sección 4.5.
- Presentación e interpretación de los resultados obtenidos.

Lo descrito en el procesamiento de la información es la marcha lógica que se siguió en el análisis pero representa sólo una pequeña parte de lo que se obtuvo con los resultados, ya que la mayoría de los resultados son funciones de la observación, el estudio y el comportamiento de los equipos.

### **3.8. Análisis estadístico**

La planta de producción cuenta con 12 extrusores industriales de los cuales se seleccionaron 3. Estos tres extrusores fueron los objetos de estudio y sobre ellos se desarrollaron las pruebas experimentales y se obtuvieron las muestras del producto.

Según el estudio de capacidad se obtuvieron 45 muestras de cada uno de estos extrusores. Estas 45 muestras de producto brindaron la información requerida para el estudio y que fue descrita en la sección 3.7.

Existen en funcionamiento 16 máquinas cortadoras, encargadas de cortar y sellar las bobinas de películas de polietileno para convertirlas en bolsas, de esta población se estudiaron 4 máquinas de las cuales se obtuvieron 45 muestras, estas muestras fueron analizadas y brindaron la información necesaria, también descrita en la sección anterior.

Todos los datos obtenidos fueron utilizados para realizar el estudio de capacidad de proceso, la determinación de los procedimientos operacionales estándar y el análisis de los equipos de producción y las respectivas necesidades estadísticas que fueron necesarias para validar los resultados.

Además de satisfacer los objetivos fundamentales los datos fueron sometidos a los modelos estadísticos básicos: media aritmética, desviación estándar y las respectivas correlaciones lineales en las gráficas de resultados.

### **3.9. Plan de análisis de los resultados**

La estrategia utilizada en la realización de la investigación involucra la consideración de los métodos y modelos necesarios para analizar las variables del proceso.

#### **3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables**

En la sección 3.1. se muestran los distintos tipos de variables que se presentaron en el estudio, según las condiciones de estas variables se asignaron los métodos y modelos para tratarlas.

- Variables independientes-controlables: generalmente este tipo de variables pertenecen a las condiciones a las que el equipo trabaja y son reguladas automáticamente, por lo tanto, este tipo de variables se muestran como condiciones de trabajo acomodables y como causas que generan determinados efectos que serán visualizados en el manual de contingencia asociado al equipo.
- Variables dependientes-controlables: se refieren a las variables que surgen como el efecto de una variable independiente, en este caso de una condición a la cual está trabajando el equipo. Los métodos a utilizar con este tipo de variables son de carácter estadístico simple, tal como las correlaciones lineales, para determinar la relación entre las dos variables y cómo una afecta a la otra de manera directa.

- Variables dependientes-incontrolables: estas son las variables que más interesaron al estudio ya que representaron una condición que no se puede controlar, lo que significa una injerencia directa en la calidad del producto. Para este tipo de variables se utilizaron los métodos de análisis estadístico y las distintas correlaciones numéricas necesarias para encontrar la correcta forma de controlarlas y evitar que la producción careciera de calidad.

El principal modelo de análisis para el estudio de capacidad será la determinación de los coeficientes  $C_p$  y  $C_{pK}$ . La presentación de los datos utilizó los modelos gráficos para representar el comportamiento de la producción y la interpretación de estos datos fue fundamental para la aplicación de los distintos procedimientos operacionales estándar los cuales serán validados por los registros escritos al igual que el manual.

### **3.9.2. Programas a utilizar para el análisis de datos**

Microsoft Excel 2007:

Hoja de cálculo electrónica utilizada para automatizar diversas operaciones matemáticas y hacer el bosquejo de gráficos para cumplir algunos objetivos de la investigación.

## **4. RESULTADOS**

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de la data recolectada y tratada mediante los métodos y modelos descritos en las secciones anteriores.

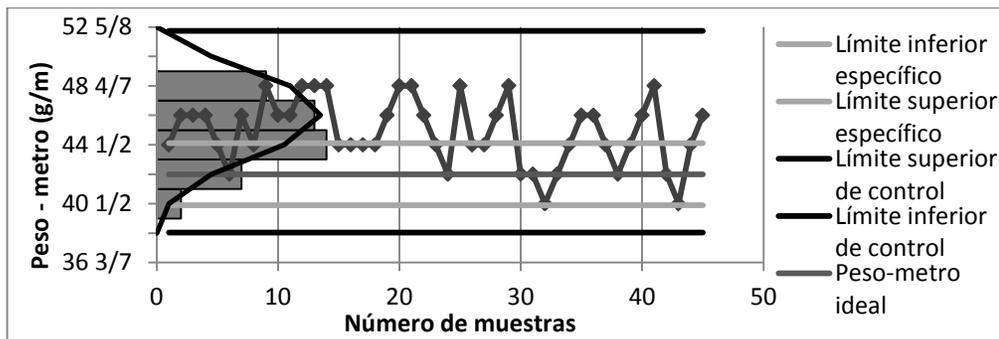
### **4.1. Estudio de capacidad**

A continuación se presentan una serie de gráficos de control que permiten visualizar el proceso de producción y que generan una idea respecto al comportamiento del proceso. Estos gráficos están compuestos por los datos obtenidos de las muestras, el valor ideal de la variable de estudio, los histogramas de frecuencias y la campana de Gauss respecto a la distribución continua de la variable de estudio; los límites específicos que representan la variabilidad de 5% permitida en el producto y los límites de control en función de la media de los datos y su desviación estándar de los resultados respecto al valor ideal.

#### 4.1.1. Área de extrusión

Se presentan tres gráficas de control en función a los extrusores analizados en la planta de producción. Las gráficas ejemplifican el comportamiento del proceso.

Figura 27. Comportamiento del extrusor 1



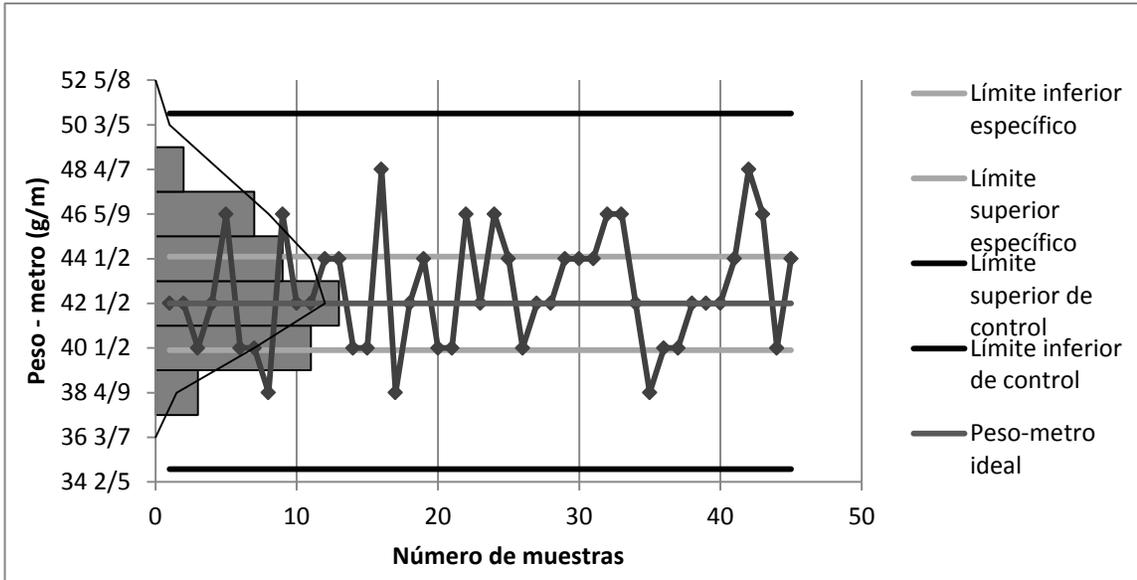
Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Extrusor 1

Calibre de la película (0,001plg)	Peso-metro ideal (g/m)	Media del peso-metro (g/m)	Desviación estándar	Límite superior específico
2,1	42,50	45,43	2,24	44,63
Límite inferior específico	Límite de control inferior	Límite de control superior	Cp	Cpk
40,38	38,50	52,35	0,32	0,12

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Comportamiento del extrusor 2



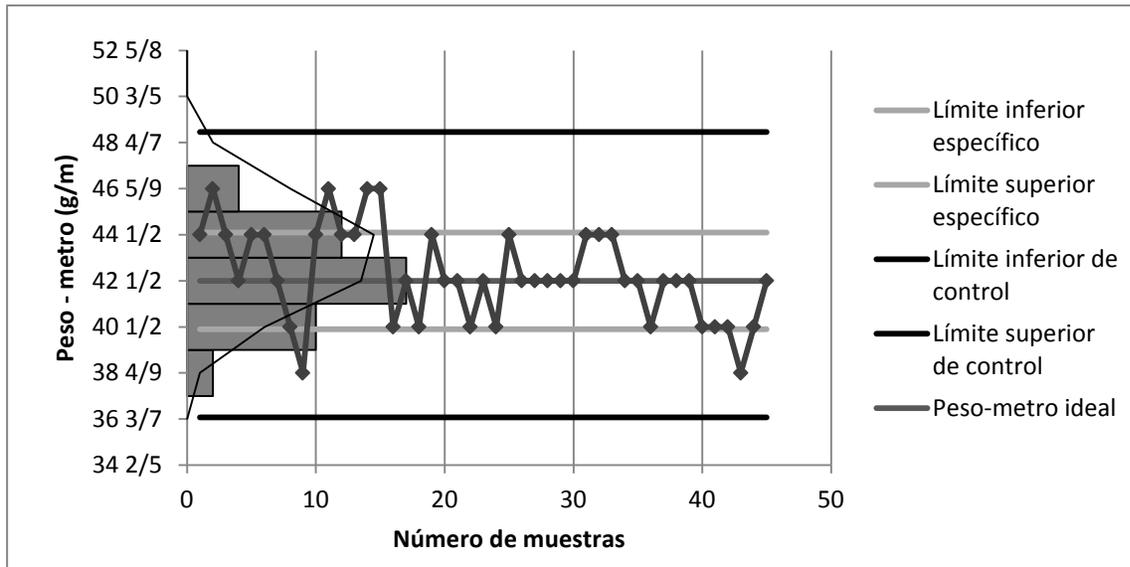
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Extrusor 2

Calibre de la película (0,001plg)	Peso-metro ideal (g/m)	Media del peso-metro (g/m)	Desviación estándar	Límite superior específico
2,1	42,50	43,04	2,61	44,63
Límite inferior específico	Límite de control inferior	Límite de control superior	Cp	Cpk
40,38	34,98	51,11	0,27	0,20

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Comportamiento del extrusor 3



Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Extrusor 3

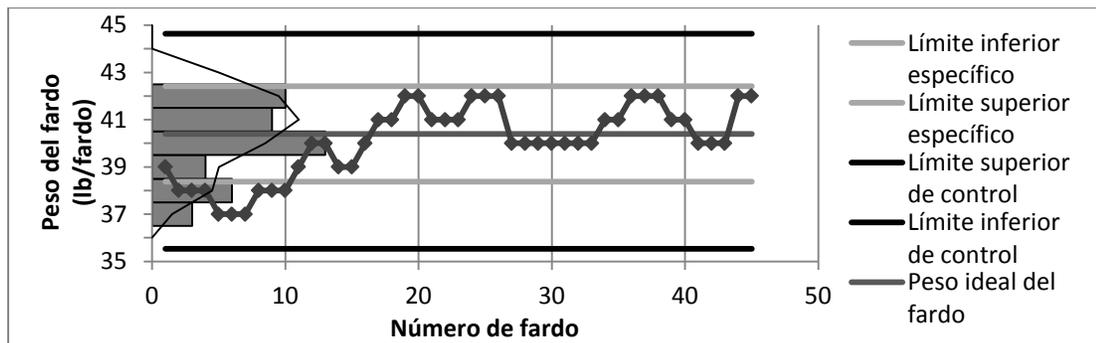
Calibre de la película (0,001plg)	Peso-metro ideal (g/m)	Media del peso-metro (g/m)	Desviación estándar	Límite superior específico
2,1	42,50	42,77	2,03	44,63
<b>Límite inferior específico</b>	<b>Límite de control inferior</b>	<b>Límite de control superior</b>	<b>Cp</b>	<b>Cpk</b>
40,38	36,50	49,04	0,35	0,30

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Área de corte

Se presentan cuatro gráficas de control en función de las máquinas cortadoras analizadas en la planta de producción. Las gráficas ejemplifican el comportamiento del proceso.

Figura 30. Comportamiento de la cortadora 1



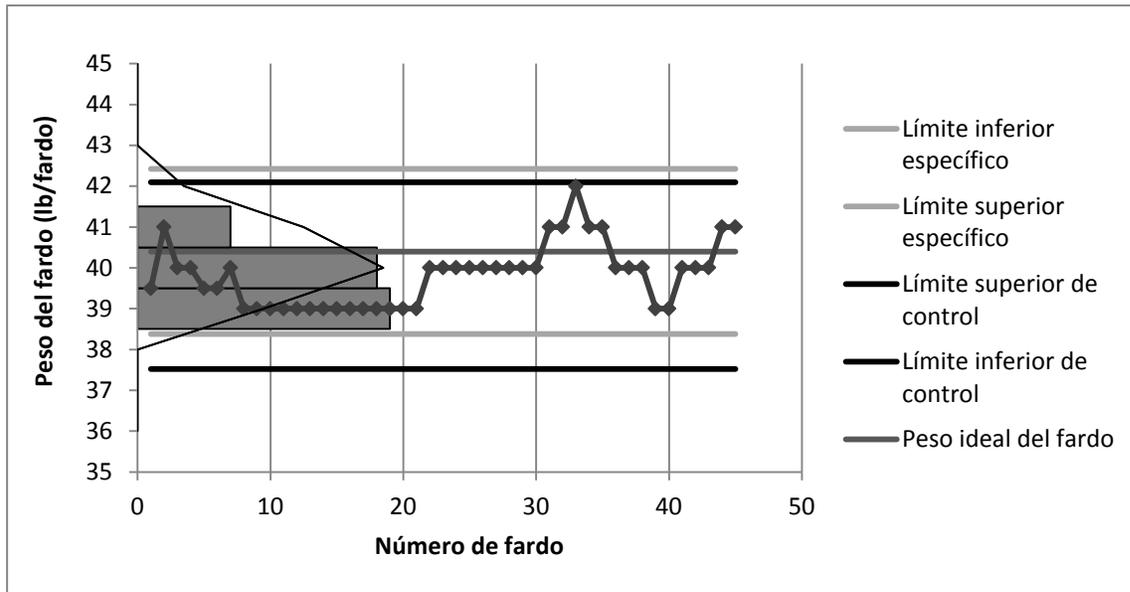
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Cortadora 1

Dimensiones de la bolsa (plg)	Peso del fardo (lb)	Media del peso del fardo (lb)	Desviación estándar	Límite superior específico
17 - 34	40,4	40,34	1,51	42,42
Límite inferior específico	Límite de control inferior	Límite de control superior	Cp	Cpk
38,38	35,54	42,16	0,44	0,37

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Comportamiento de la cortadora 2



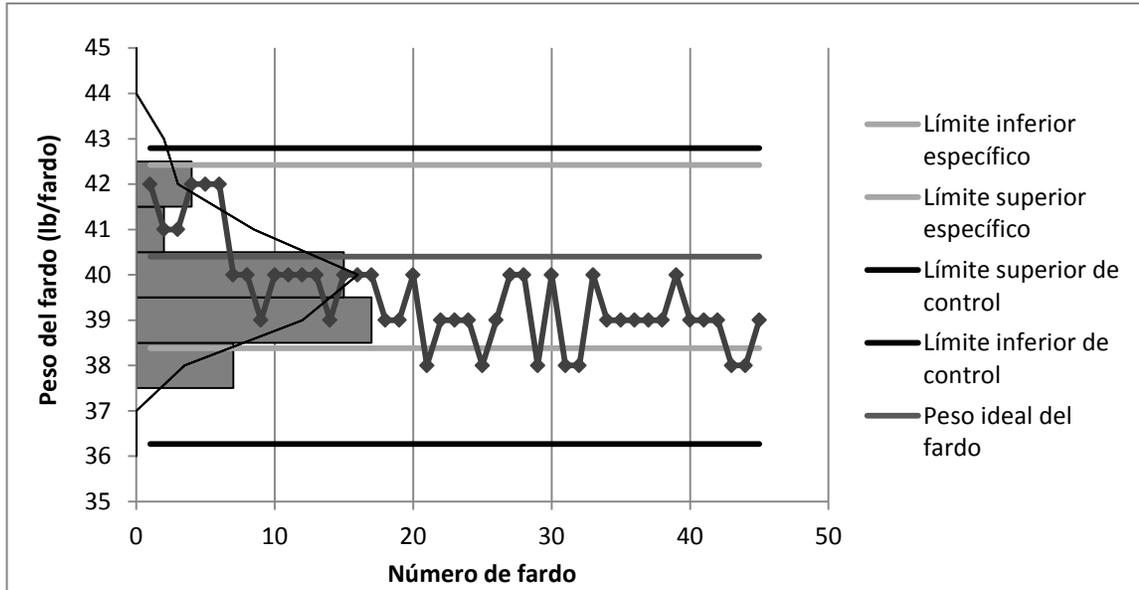
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Cortadora 2

Dimensiones de la bolsa (plg)	Peso del fardo (lb)	Media del peso del fardo (lb)	Desviación estándar	Límite superior específico
17 - 34	40,4	39,81	0,76	42,42
Límite inferior específico	Límite de control inferior	Límite de control superior	Cp	Cpk
38,38	37,52	42,09	0,88	0,62

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Comportamiento de la cortadora 3



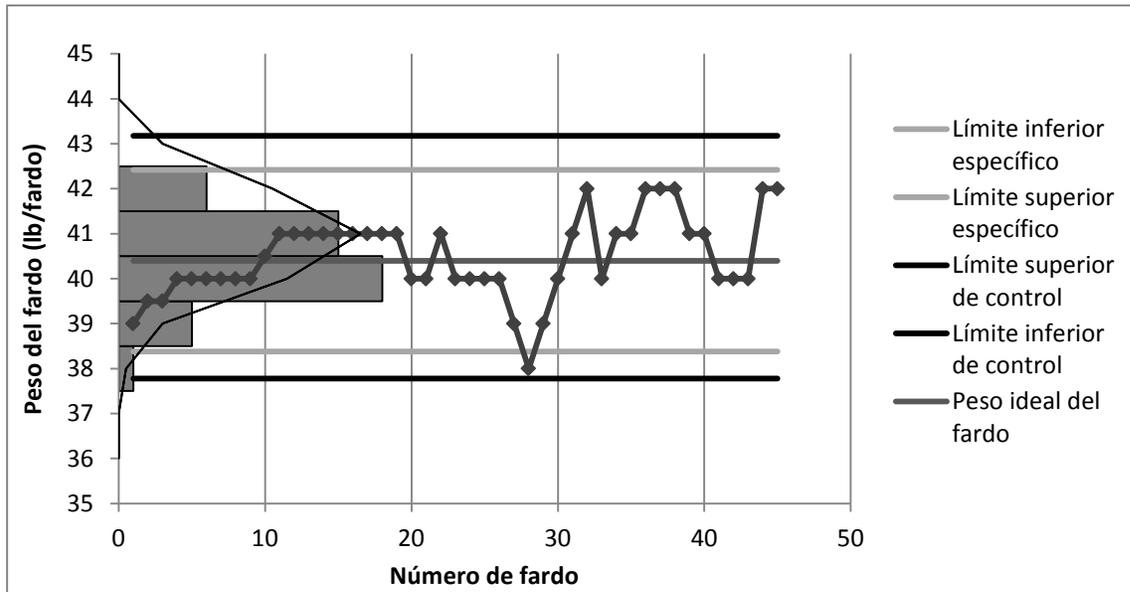
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Cortadora 3

Dimensiones de la bolsa (plg)	Peso del fardo (lb)	Media del peso del fardo (lb)	Desviación estándar	Límite superior específico
17 - 34	40,4	39,53	1,09	42,42
Límite inferior específico	Límite de control inferior	Límite de control superior	Cp	Cpk
38,38	36,27	42,79	0,61	0,35

Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Comportamiento de la cortadora 4



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Cortadora 4

Dimensiones de la bolsa (plg)	Peso del fardo (lb)	Media del peso del fardo (lb)	Desviación estándar	Límite superior específico
17 - 34	40,4	40,48	0,90	42,42
<b>Límite inferior específico</b>	<b>Límite de control inferior</b>	<b>Límite de control superior</b>	<b>Cp</b>	<b>Cpk</b>
38,38	37,78	43,18	0,75	0,78

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Determinación de los parámetros de calidad de la materia prima, polietileno de baja densidad

En seguida se presenta una tabla en la cual se comparan los valores obtenidos mediante las pruebas descritas en la sección 2.12. y los datos que brinda el proveedor del polietileno de baja densidad, con el objeto de establecer si la materia prima se encuentra en condiciones óptimas para procesarla.

Tabla XIV. **Parámetros de calidad del polietileno de baja densidad**

Parámetro		Rango de aceptación dado por el proveedor	Valor obtenido de las pruebas
Resistencia a la tensión de ruptura	Dirección de máquina $\text{kg}_f/\text{cm}^2$	215 - 350	<b>335</b>
	Dirección transversal $\text{kg}_f/\text{cm}^2$	180 - 330	<b>310</b>
Porcentaje de elongación de ruptura	Dirección de máquina %	400 - 800	<b>720</b>
	Dirección transversal %	600 - 1 000	<b>900</b>
Resistencia inicial al rasgado	Dirección de máquina $\text{kg}_f/\text{mm}$	Mínimo 6,0	<b>8,5</b>
	Dirección transversal $\text{kg}_f/\text{mm}$	Mínimo 7,5	<b>9,0</b>
Coeficiente de fricción	Estático	Máximo 0,20	<b>0,10</b>
	Dinámico	Máximo 0,15	<b>0,08</b>
Densidad $\text{g}/\text{cm}^3$		0,910 - 0,925	<b>0,923</b>
Resistencia al impacto por caída de dardo g		Mínimo 300	<b>475</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3. Análisis comparativo entre el diseño de la burbuja y su comportamiento real

Se presenta una tabla en la que se muestran los valores teóricos de las variables de la burbuja y se compara con la media de los valores obtenidos mediante la medición realizada en la planta, además, se muestra el porcentaje de desviación de los valores de la planta respecto a los estipulados en el diseño de la burbuja.

Tabla XV. Análisis comparativo de las variables de la burbuja

	Parámetros	Dato teórico	Dato real	% de desviación
Altura de enfriamiento	Z (pulgadas)	14,00	15,50	10,71
Ancho de bobina	Lay Flat (plg)	34,00	36,76	8,12
Diámetro de burbuja	Db (plg)	22,00	22,78	3,55
Relación de soplado	BUR	4,00	4,14	3,50
Calibre	ef (0,001 plg)	2,10	2,24	6,67
Relación de halado	DDR	3,55	3,22	9,30
Velocidad de descarga	Vd (m/s)	0,44	0,42	4,55
Velocidad de halado	Vh (rpm)	296,76	253,02	14,74
Parámetros adimensionales	X	5,00	5,64	12,80
	B	0,07	0,06	13,43
	TZ	1,20	1,08	10,00
Sobrepresión interna	$\Delta P$	20,86	18,09	13,27
Tensión axial	Fz	5,74	5,16	9,98

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Acumulación de material en el extrusor

Una vez analizada la burbuja es necesario analizar el extrusor y siguiendo el curso lógico del balance de masa se establece la acumulación de material en el extrusor. Para determinar el valor del acumulado se asume correcto el porcentaje de pureza de 99,95%, que determina el proveedor de la materia prima, además de considerar que toda la impureza es retenida por el filtro.

Tabla XVI. Acumulación de material en el extrusor

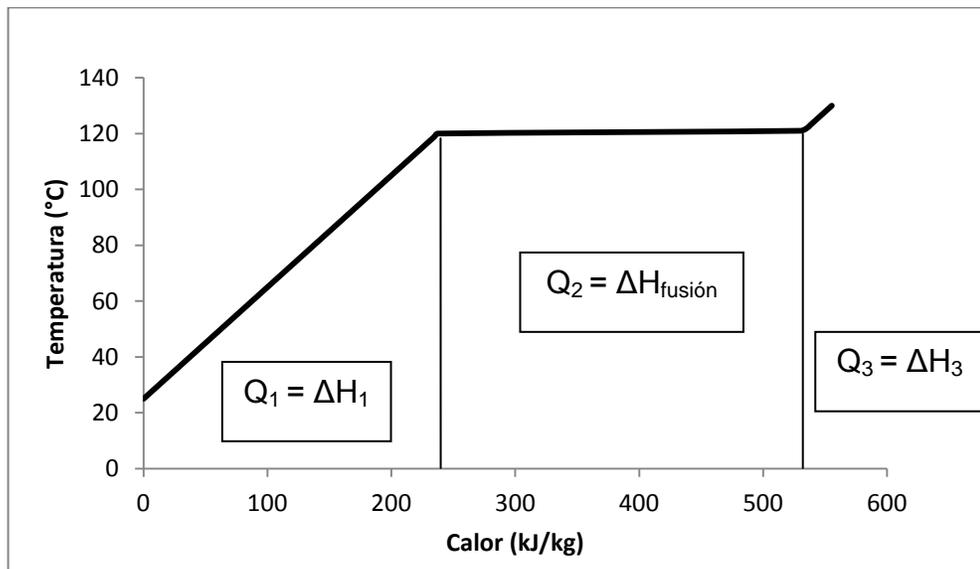
<b>Masa que entra al extrusor en una hora (kg)</b>		68,06
<b>Masa que sale del extrusor en una hora (kg)</b>		67,75
<b>Acumulación de materia en el extrusor (kg)</b>	<b>Acumulación de impurezas (kg)</b>	0,034
	<b>Acumulación de materia prima (kg)</b>	0,276

Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Cantidad de calor necesario para fundir y mezclar la resina de polietileno de baja densidad en el extrusor

El balance de energía establece los lineamientos para determinar la cantidad de calor necesaria para determinar la fundición y mezcla de la resina de polietileno de baja densidad en el extrusor.

Figura 34. Cantidad de calor en función de la temperatura



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Cantidades de calor de fundición y mezcla

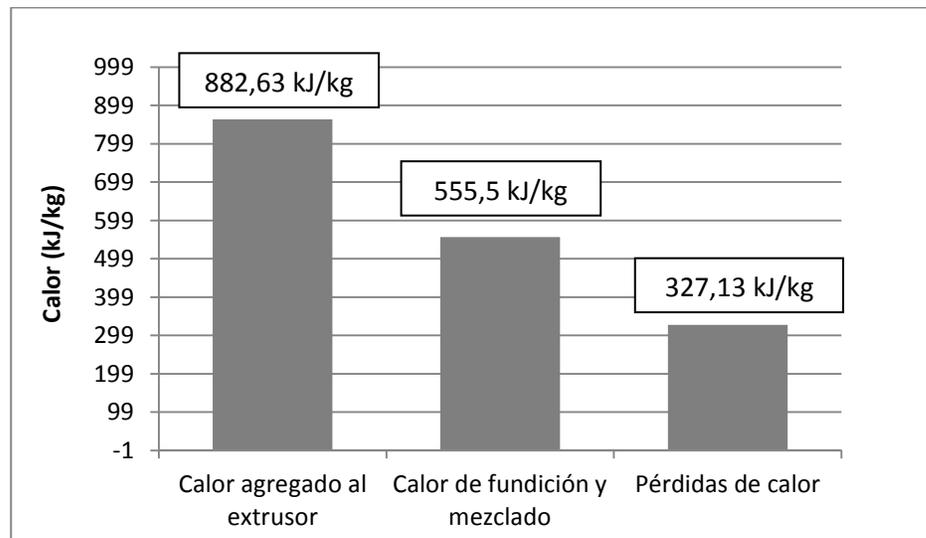
$Q_1 = \Delta H_1$	$Q_2 = \Delta H_{\text{fusión}}$	$Q_3 = \Delta H_3$
237,5 kJ/kg	293 kJ/kg	25 kJ/kg

Fuente: elaboración propia.

#### 4.6. Determinación de las pérdidas de calor y su valor económico

La energía necesaria para fundir y mezclar la resina de polietileno de baja densidad está definida en la sección anterior, sin embargo, es necesario establecer la cantidad de calor que se agrega al extrusor y las pérdidas inherentes a este proceso y su costo económico.

Figura 35. Cantidad de calor en el extrusor



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Pérdidas de calor y su costo económico

Calor que ingresa al extrusor (kJ/kg)	Calor perdido (kJ/kg)	Valor económico anual de la pérdidas de calor
882,63	327,13	Q89 321,48 anuales

Fuente: elaboración propia.

## **4.7. Procedimientos Operacionales Estándar (POE´s)**

A continuación se presentan los Procedimientos Operacionales Estándar fundamentales para mantener los parámetros de calidad, en el área de extrusión y corte. Los POE´s están redactados según los lineamientos recomendados por las agencias de normalización a nivel internacional.

### **4.7.1. Área de extrusión**

Título: control sobre el proceso de extrusión #01

Área de aplicación: área de extrusión

Fecha de entrada en vigencia: enero de 2012

Redacción por: Manuel José Viana Vidal

Aprobado por: ingeniero gerente de producción

- Propósito

Lograr realizar todos los controles necesarios para establecer las condiciones en las que trabaja el área de extrusión y así verificar que estos datos estén dentro de los rangos permitidos para garantizar la calidad del producto final.

- Resumen de los métodos

Son actividades rutinarias que permiten verificar las condiciones del producto extruido y se basan en la medida de las variables controlables dentro del proceso.

- Precauciones

El cañón y el cabezal del extrusor se encuentran a altas temperaturas.

Los rodillos giran a altas revoluciones por minuto y pueden prensar cualquier extremidad.

El cargador eléctrico para el tratamiento corona trabaja a alto voltaje.

- Equipo y materiales

- Polietileno de baja densidad
- Resina tipo fraccional
- Materbatch o colorante artificial
- Aditivo antibloqueo
- Aditivo antideslizamiento
- Aditivo antioxidante
- Extrusor industrial
- Aparato de medición lineal (metro)
- Micrómetro analógico
- Balanza analítica

- Responsabilidades y aptitudes del personal

El operario designado al área de extrusión, es el único autorizado para realizar los procedimientos aquí estipulados. Además, es el responsable por el extrusor que le fue asignado y tiene que velar por la integridad del mismo, así como, por las bobinas de film producidas bajo su supervisión.

- Procedimientos operacionales estándar

- 01-01. Ancho de bobina. Medir el ancho de la bobina, con un metro.
- 01-02. Toma de muestra. Cortar un metro de film para el POE 01-03.
- 01-03. Peso-metro. Pesar el metro de muestra en la balanza analítica y determinar si el peso está entre el rango determinado en la orden de extrusión, de no ser así reportar inmediatamente al supervisor.
- 01-04. Calibre entre caras. Medir el calibre del film con el calibrador.
- 01-05. Color. Observar que el color del film sea igual a la muestra del cliente y verificar que la distribución de color sea homogénea a lo largo del film.
- 01-06. Apariencia. Verificar si la película tiene rayones, grumos, ojo de pescado o piel de naranja y de ser así reportar inmediatamente al supervisor.
- 01-07. Tratamiento corona. Si la película lleva algún tipo de impresión, marcar el film con el marcador especial y pasar un trapo sobre la marca, si la tinta no se corre proceder con el proceso y de lo contrario reportar inmediatamente al supervisor.
- 01-08. Resistencia. Estirar la película en sentido de máquina y observar que la ruptura o el rasgado no ocurra con facilidad.

- 01-09. Control de bobina. A toda bobina se le asigna un número de identificación en forma correlativa.
- 01-10. Verificación. Observar que la bobina este en buen estado, sin daños o imperfecciones.
- 01-11. Protección. Introducir la bobina en una bolsa plástica.
- 01-12. Traslado. Colocar las bobinas protegidas en el área de espera de producto de forma secuencial y ordenada.

- Análisis de data y cálculos

La relación matemática que determina el peso metro teórico y que funciona como parámetro de comparación para POE 01-03 es:

$$\text{Peso teórico} = \frac{39,37 * \text{ancho de bobina} * \text{Espesor o Calibre}}{30 * 2,2046} \quad [\text{Ecuación 17}]$$

La relación matemática que determina el calibre de forma teórica y que sirve de parámetro de comparación para el POE 01-04 es:

$$\text{Calibre} = \frac{\text{Número de gramos-metro}}{\text{Ancho}} * 1,68 \quad [\text{Ecuación 27}]$$

- Gestión de los registros

Todos los procedimientos operacionales estándar deben ser realizados cada hora y ser registrados en los formatos de control presentes en cada extrusor.

#### **4.7.2. Área de corte, sellado y empaque**

Título: control sobre el proceso de corte, sellado y empaque #02

Área de aplicación: área de corte, sellado y empaque

Fecha de entrada en vigencia: enero de 2012

Redacción por: Manuel José Viana Vidal

Aprobado por: ingeniero gerente de producción

- Alcance

Lograr realizar todos los controles necesarios para establecer las condiciones a las cuales trabaja el área de corte, sellado y empaque y así verificar que estos datos estén dentro de los rangos permitidos para garantizar la calidad del producto final.

- Resumen de los métodos

Son actividades rutinarias que permiten verificar que el producto final cumpla los requisitos y especificaciones establecidas; se basan en la medida de las variables controlables dentro del proceso.

- Precauciones

El rodillo de admisión y el de tensión rotan a altas revoluciones por minuto.

La navaja de la cortadora es altamente peligrosa.

El filamento sellador se encuentra a alta temperatura.

- Equipo y materiales
  - Bobina de película extruida
  - Máquina cortadora
  - Aparato de medición lineal (metro)
  - Micrómetro analógico
  - Balanza industrial
  
- Responsabilidades y aptitudes del personal

El operario designado al área de corte por la gerencia de producción y que posea las aptitudes que esta designa, es el único autorizado para realizar los procedimientos aquí estipulados. Este operario es el responsable por la máquina cortadora que le fue asignada y tiene que velar por la integridad de la misma, así como, por las bolsas de polietileno producidas bajo su supervisión. Tiene también la obligación de realizar todos los procedimientos operacionales estándar y de registrar los datos que obtuvo en los formatos de control.

- Procedimientos operacionales estándar

01-13. Revisión de bobina. Verificar que la bobina no tenga daño.

01-14. Tratamiento corona. Si la bobina lleva algún tipo de impresión, se le restriega un paño y se observa si se corre o no la tinta, de correrse la tinta se reporta inmediatamente al supervisor.

01-15. Toma de muestras. Tomar 3 bolsas para realizar todos los POE's aquí estipulados.

- 01-16. Ancho y largo. Medir el ancho y largo de la bolsa con un metro.
- 01-17. Calibre entre caras. Medir el calibre de los dos lados de la bolsa con el calibrador.
- 01-18. Apariencia. Observar si la bolsa tiene rayones, grumos, ojo de pescado o piel de naranja y de ser así reportar inmediatamente al supervisor.
- 01-19. Bloqueo. Revisar que los lados de la bolsa no estén pegados y se abra con facilidad, de lo contrario reportar inmediatamente al supervisor.
- 01-20. Resistencia. Estirar la bolsa en sentido de máquina y observar que la ruptura o el rasgado no ocurra con facilidad.
- 01-21. Sello. Verificar que el sello de la bolsa no tenga fugas y que no se rompa con facilidad.
- 01-22. Sellado. Cuando la máquina cortadora suene la alarma que se alcanzaron las 1 000 bolsas, colocarlas dentro de su empaque y sellarla.
- 01-23. Peso-fardo. Colocar el fardo de bolsas en la balanza industrial y registrar su peso.
- 01-24. Identificación. Asignar a cada fardo un número de identificación en forma correlativa.

01-25. Orden. Colocar cada fardo de forma secuencial y ordenada para su traslado a bodega.

- Gestión de los registros

Todos los procedimientos operacionales estándar deben ser realizados cada media hora y ser registrados en los formatos de control presentes en cada máquina cortadora.

- Emergencias en el proceso

Para cualquier contingencia en el proceso de producción: se debe avisar inmediatamente al supervisor, de ser posible se busca una solución a los problemas en el manual de resolución de problemas, causas y soluciones asociadas al equipo. En último caso, se detiene la máquina cortadora. En cualquiera de las acciones que se tomen en el proceso de producción, nunca se debe poner en riesgo la propia vida o la de otras personas.

#### **4.8. Manual de problemas, causas y posibles soluciones asociadas al equipo de producción de bolsas plásticas**

Después de haber observado el proceso técnico que se lleva a cabo para la producción de bolsas de polietileno, se detectaron algunos problemas que es importante resolver de una manera estandarizada, por lo cual se consideró importante elaborar un manual que oriente y dé las directrices a seguir para la resolución de dichos problemas, el cual se detalla a continuación:

##### **4.8.1. Excesiva temperatura de fundición**

###### Descripción del problema

Se genera una temperatura de fundición demasiado alta dentro del tornillo lo que produce varianza en el material final o lo degrada.

###### Principales causas del problema

- Sistema de enfriamiento inadecuado en las camisas o el cañón del extrusor.
- Diseño inapropiado del tornillo sinfín
- Presión demasiado alta en el cabezal

#### Posibles soluciones

- Reducir el volumen de descarga del extrusor
- Sustituir el tornillo por uno de un diseño adecuado para el extrusor
- Utilizar un molde con una mayor abertura
- Revisar que el tornillo no esté desgastado

#### **4.8.2. Líneas en el cabezal**

##### Descripción del problema

Cuando se presentan líneas en el cabezal las cuales se derivan a la película que sale de este, lo cual afecta la resistencia, apariencia y la calidad total del producto y puede ser causa del desecho, rechazo o envío a reutilización del producto terminado.

##### Principales causas del problema

- Suciedad en el cabezal o molde
- Resina descompuesta residente en el molde
- Hendiduras en el borde o garganta del cabezal
- La acumulación de material en el borde del cabezal

#### Posibles soluciones

- Limpieza de la cara y el borde del cabezal; limpiar la abertura del cabezal con una cuña fina de bronce, para evitar daños al molde y para lograr una mayor limpieza.
- Permitir una purga adecuada entre los cambios de resina, de ser posible agregar aditivos o sustancias químicas que mejoren la purga y la remoción de polímero del interior del extrusor.
- Evitar temperaturas muy altas y durante largo tiempo, sobrecalentamiento
- Reparar el embalaje del cabezal si está dañado

#### **4.8.3. Acumulación en el borde del cabezal**

##### Descripción del problema

La acumulación de materiales descompuestos cerca de la abertura del cabezal puede llegar a formar depósitos de carbón que generan líneas en el cabezal y derivan en la necesidad de limpiar el molde con demasiada frecuencia.

##### Principales causas del problema

- Los aditivos o sustancias químicas agregadas a las resinas pueden no fundirse y ocasionar daños al cabezal.
- Una sobrecarga en el llenado de resinas, es decir, se sobrepasa la capacidad de llenado que tiene el extrusor.

#### Posibles soluciones

- Para evitar este tipo de problemas es importante que en el cabezal se empleen solamente las temperaturas recomendadas por los manuales.
- Cumplir con los tiempos de mantenimiento y limpieza del equipo
- Reducir la cantidad de los aditivos o sustancias químicas agregadas a las resinas.

#### **4.8.4. Excesiva presión o amperaje en el equipo**

##### Descripción del problema

Cuando se presenta un amperaje excesivo puede llegar a sobrecalentar el equipo o a producir accidentes o incluso incendios; la excesiva presión afecta directamente a las propiedades que tendrá el material al terminar el proceso, esto debido a que tiene efecto sobre la reestructuración de las moléculas de polímero al salir del extrusor.

##### Principales causas del problema

- El sistema de enfriamiento del equipo puede estar en mal estado o trabajando de manera incorrecta.
- La presión presenta una caída cuando alcanza el cabezal
- El orificio o adaptador del cabezal es muy estrecho
- El paquete de filtros se encuentra en mal estado

- Mal funcionamiento del sistema eléctrico ya que puede existir un dispositivo eléctrico o electrónico que esté causando la elevación del amperaje.

#### Posibles soluciones

- Verificar la temperatura de equipo para establecer el funcionamiento del sistema de enfriamiento.
- Revisar los relevadores presentes en la máquina y los dispositivos de regulación de voltaje.
- Reducir la presión en el cabezal incrementando el área transversal en el adaptador o los canales de molde.

#### **4.8.5. Descarga decreciente a determinadas rpm**

##### Descripción del problema

En la salida del extrusor se presenta una descarga de material lenta que afecta el proceso y la formación de la burbuja; independientemente de las revoluciones por minuto (rpm) a las que se encuentra trabajando el tornillo sinfín del equipo.

##### Principales causas del problema

- Posible desgaste del tornillo sinfín del extrusor
- El tornillo sinfín puede estar sucio o tener algún tipo de impureza que no lo deja desempeñarse de manera correcta.
- Existe un considerable porcentaje de impurezas en el suplemento de resinas.
- El paquete de filtros se encuentra saturado o en malas condiciones.

##### Posibles soluciones

- Reparar o remplazar el tornillo sinfín
- Monitorear cuidadosamente los suplementos de resina; evitar cantidades excesivas en el cargamento de resina.
- Realizar una purga al equipo

#### **4.8.6. Geles, rajadura por gel, gel con color café o resina carbonizada**

##### Descripción del problema

Se presentan geles en las películas, los cuales representan resina que no funde correctamente, lo cual afecta directamente la calidad de la película especialmente en lo referente a sus propiedades mecánicas.

##### Principales causas del problema

- Resina de pobre calidad o deficiente
- Los procedimientos para apagar el equipo son inadecuados
- Descomposición de la resina debido a excesivas temperaturas de fusión
- Calentamiento prolongado a altas temperaturas bajo condiciones estáticas.
- Inadecuada estabilización de la resina
- Resina contaminada
- Existe una incompatibilidad entre los pigmentos que dan color y las resinas.

## Posibles soluciones

- Todas las temperaturas del metal y de fundición deben estar por debajo de 150 grados Celsius antes de detener el tornillo sinfín. Verificar que los controles de amperaje y presión no excedan los límites aceptables.
- Verificar los calentadores y controles para el correcto funcionamiento del equipo.
- Monitorear los controles termopar
- Si aparecen geles inmediatamente después de cambiar la resina, se debe ampliar el tiempo de purga.
- Mantener la resina en compartimientos donde se evite su contaminación
- Retirar el tornillo, desmontar el dado y limpiar todas las partes, buscar por puntos muertos o manchas donde se evidencie un problema.
- Si se está utilizando un tornillo de menor tamaño (18:1) en relación al cañón (24:1), es necesario aumentar la temperatura en la sección que está vacía y esperar al menos una hora para observar si desaparecen o disminuyen los geles.

#### **4.8.7. Fractura; película severamente diagramada**

##### Descripción del problema

Se presentan daños severos a la película que se reflejan en la deficiencia en las propiedades necesarias para ser consideradas de calidad.

##### Principales causas del problema

- El flujo en el dado es inestable
- El dado utilizado no está diseñado para la resina que se está extruyendo
- Los canales de aire pueden tender a enfriar el dado
- El molde puede estar sucio

##### Posibles soluciones

- Incrementar la última zona del molde en 5 grados Celsius en intervalos de 15 minutos. Existen temperaturas límite que pueden ser vistas por la inestabilidad de la burbuja o enfriamiento inadecuado.
- Incrementar la temperatura de fundición de la misma forma que se explica en el párrafo anterior. Los límites térmicos también se aplican en este procedimiento.

- Verificar que exista un correcto aislamiento térmico entre el anillo de enfriamiento y la cara del dado. Si el aire de enfriamiento está soplando directamente en la cara del molde, es necesario colocar un deflector.
- Disminuir el flujo de descarga
- Limpiar la abertura del molde, utilizando un cepillo de bronce
- En algunas ocasiones mezclar un poco de resina más suave puede ayudar.
- Utilizar aditivos de extrusión, por ejemplo: fluoroelastómeros
- Elevar la línea de enfriamiento mediante la disminución del aire, permitir que se relaje la película, pero, hay que tener cuidado ya que esto puede ocasionar inestabilidad en la burbuja.
- Considerar una mayor apertura en la abertura en el molde
- Verificar los contactos entre los calentadores y el molde, si el calentador está calentado al rojo existe un contacto incorrecto.

#### **4.8.8. Piel naranja; variaciones en el índice de fundición**

##### Descripción del problema

Este tipo de problemas consiste en la rugosidad que se genera en la película después de ser extruida y ataca principalmente las condiciones de calidad y los parámetros mecánicos básicos para consolidar el producto como aceptable.

##### Principales causas del problema

- Resina fría
- Pobre mezcla de las resinas
- Defectos en la abertura del molde
- Puede estar sucio el molde
- El problema puede ser ocasionado por una pequeña cantidad de resina de alta viscosidad concentrada en grandes cantidades de resinas de baja viscosidad.

### Posibles soluciones

- Incrementar la temperatura de fundición en 10 grados Celsius en intervalos de 20 minutos.
- Incrementar la temperatura del dado en 10 grados Celsius en intervalos de 20 minutos siempre teniendo en cuenta los límites de temperatura.
- Limpiar el molde
- Cambiar el paquete de filtros por un paquete con filtros más finos lo que de nuevo incrementará la presión y el mezclado.
- Eliminar los aditivos de alta viscosidad y observar si el problema desaparece.
- Si la línea tiene una válvula de restricción de flujo en la corriente de salida del cañón, cerrar la válvula para reducir el flujo y de nuevo incrementar la presión y el mezclado.
- De ser posible cambiar el tornillo por uno diseñado para un mejor mezclado.
- Cambiar el molde por un dado con mayor presión o modificar el molde para lograr un aumento en la presión.

#### **4.8.9. Pobre estabilidad en la burbuja – Resistencia de fundición baja**

##### Descripción del problema

La variabilidad en la burbuja que se genera puede derivar en una serie de características perjudiciales para los estándares de calidad impuestos.

##### Principales causas del problema

- Enfriamiento inapropiado
- La velocidad del aire es muy alta
- El diseño del anillo no es el adecuado
- Existen corrientes de aire externas

## Posibles soluciones

- Reducir los rangos de extrusión
- Realizar ajustes en el anillo de aire para evitar corrientes muy fuertes
- Reducir la temperatura de fundición
- Verificar la uniformidad de la abertura del dado
- Emplear una hoja de metal en forma de anillo
- Utilizar un flujo inducido de aire
- Eliminar corrientes externas de aire
- Evitar que la burbuja tenga forma de botella, si el anillo de soplado genera una burbuja de diámetro más grande que el diámetro al finalizar, entonces el anillo de soplado tiene los bordes muy abiertos.
- Asegurar que los bordes de los anillos estén abiertos en forma uniforme alrededor de la circunferencia. Verificar los tubos flexibles que llegan al anillo y buscar por restricciones de flujo.
- Abrir el anillo de soplado y revisar por atascamientos
- Inspeccionar el sistema de filtros en la admisión del aire ya que de estar sucios es necesario su cambio.
- Una posible solución empírica es cambiar los sopladores de una línea hacia otra.

#### **4.8.10. Burbuja pulsante**

##### Descripción del problema

La burbuja puede estar en una constante pulsación lo cual afecta la estabilidad y el correcto desarrollo de la película.

##### Principales causas del problema

- La velocidad del aire es demasiado alta
- La resina seleccionada no tiene los estándares apropiados
- No hay una salida uniforme en el extrusor
- La zona de colapso o armazón de colapso está pegajosa

##### Posibles soluciones

- Revisar el correcto deslizamiento y alimentación en la tolva
- Utilizar resinas de menor índice de fundición
- Revisar las salidas del extrusor
- Agregar barras estabilizadoras sobre el espacio de enfriamiento
- Revisar el estado de la armazón de colapso, limpiar y cubrir la armazón de colapso con papel de estraza.

#### **4.8.11. Depósitos, áreas demasiado claras en la película**

##### Descripción del problema

Cuando se presentan depósitos en las películas estas se visualizan como manchas más claras, que difieren del color de la película. Este tipo de problemas ocurren en películas sin pigmentación, pero generalmente, se presentan en películas que tienen coloración.

##### Principales causas del problema

- Presentación de gases, por ejemplo aire, agua o gases que surgen de la descomposición de la resina o de los pigmentos.

##### Posibles soluciones

- Utilizar formulaciones resistentes a los depósitos
- Utilizar colorantes resistentes a los depósitos
- Trabajar el equipo a las temperaturas de fundición más bajas que resulten prácticas para el proceso.
- Utilizar resinas secas
- Disminuir la presión

#### **4.8.12. Pigmentación desigual**

##### Descripción del problema

Cuando se necesita producir películas de distintos colores se puede presentar el problema de que la pigmentación no es homogénea sobre toda la película, es decir, que se presenta de manera desigual sobre el área de la película.

##### Principales causas del problema

- El masterbatch es sensible a partir de determinada temperatura
- No hay una mezcla homogénea entre las resinas y el pigmento
- Temperaturas de extrusión demasiado altas
- Una errónea alimentación de los aditivos

##### Posibles soluciones

- Reducir las temperaturas
- Utilizar masterbatch de buena calidad
- Instalar un paquete de filtros más apretados
- Utilizar una mezcla apropiada
- Si el extrusor tiene una válvula, reducir la apertura

- Cambiar el pigmento temporalmente para observar si la dispersión del color mejora, de ser así, el problema puede ser factor de una viscosidad demasiado alta o de incompatibilidad.
- Revisar la concentración de color y el sistema de manejo de resina para asegurar que ambos están siendo liberados de manera uniforme.

#### **4.8.13. Marcas de vibración**

##### Descripción del problema

Se presentan marcas en la película extruida que surge como causa de las vibraciones generadas en el equipo, estas afectan directamente la resistencia y apariencia, entre todas las propiedades requeridas para la bolsa.

##### Principales causas del problema

- Las barras estabilizadoras de la burbuja están en un contacto muy firme con la parte aún caliente de la película.
- El borde del anillo de soplado está en contacto con la burbuja.

##### Posibles soluciones

- El contacto de las barras estabilizadoras y la burbuja debe ser ligero.
- Modificar la velocidad del aire

#### **4.8.14. Arrugas en la película**

##### Descripción del problema

Las arrugas que se presentan en la película, al igual que las condiciones anteriores, afectan las propiedades mecánicas del producto.

##### Principales causas del problema

- La zona de colapso de la burbuja se encuentra sucia
- El extrusor, los rodillos y demás equipo se encuentra desalineado
- Inapropiada disposición de la armazón de colapso
- Excesiva tensión en la bobina
- Se vuelva a inflar la bobina después de pasar por el rodillo superior y empezar el embobinado.

##### Posibles soluciones

- Mantener limpia el área de colapso de la burbuja
- Todos los rodillos deben ser alineados y nivelados
- La tensión en la bobina debe ser ajustada a un mínimo del estiramiento de la película.

- El aire no debe estar presente después del rodillo superior; remover el aire realizando fisuras diagonales después de que la película deja el rodillo superior.
- Verificar la estabilidad y pulsación de la burbuja, observar que el calibre sea uniforme tanto en dirección de la máquina como en dirección transversal.

#### **4.8.15. Deficiencia en la uniformidad del calibre (dirección de máquina)**

##### Descripción del problema

Se presentan varios valores para el calibre a lo largo de la película, cuando se refiere a lo largo de la película es el mismo concepto que la dirección longitudinal. Esta falta de uniformidad genera rechazos en los pedidos.

##### Principales causas del problema

- El extrusor puede generar este tipo de problemas por dos causas: el perfil de temperatura de extrusión es deficiente y el flujo de pistón en la garganta de alimentación de la tolva, debido al fenómeno de segregación de sólidos.
- Variaciones en la velocidad del rodillo superior, lo cual afecta la subida de la burbuja y se refleja en el calibre.
- Variaciones en la altura de la línea de enfriamiento

## Posibles soluciones

- Verificar la garganta de la tolva
- En el extrusor, utilizar el perfil de temperatura recomendado
- Controlar la velocidad de subida de la burbuja
- Reducir la tensión de subida en los rodillos
- Verificar todos los efectos de las líneas de descarga (anillo de aire, área de colapso, tren de enrollado, etcétera).
- Reducir la altura de la zona de enfriamiento ajustando la salida de aire
- Bloquear la burbuja con más flujo de aire paralelo mediante el cierre de la abertura del anillo de soplado.
- Incrementar el rango y la velocidad del rodillo superior para mantener el mismo calibre, esto en algunas ocasiones estabiliza la burbuja.
- Aplicar un aro de estática en la parte superior del anillo de aire, este puede estar fabricado de metal o de algún tipo de fibra especial.
- La velocidad del rodillo superior no puede variar más de 1%
- Cubrir la zona de colapso con papel de estraza
- Verificar la concentración de aditivos y alimentación para que exista la menor cantidad de variaciones.

#### **4.8.16. Deficiencia en el calibre (dirección transversal)**

##### Descripción del problema

Se presenta una variación en los valores del calibre de la película a lo ancho de esta, es decir, en dirección transversal.

##### Principales causas del problema

- Abertura no uniforme en el molde
- El enfriamiento de la burbuja no es uniforme
- Corrientes de aire están entrando en contacto con la burbuja entre el dado y la zona de enfriamiento.
- No está nivelado el dado con el anillo de soplado de aire
- Desalineación entre el rodillo superior y el equipo de elevación (molde, anillo de soplado, rodillos inferiores, etcétera).

## Posibles soluciones

- Ajustar la abertura del dado
- Verificar el anillo de soplado para determinar si existe una correcta alineación con el dado.
- La rotación del dado, rotación del anillo de soplado o la rotación del soplado de aire vertical, puede distribuir las imperfecciones del calibre a través de todo el ancho de la bobina y lograr la uniformidad del espesor de la película.
- Tratar de cubrir la burbuja para evitar el contacto de esta con flujos externos.
- Limpiar la abertura del molde
- Limpiar el anillo de soplado, tanto en su interior como en su exterior
- Nivelar el dado y el anillo de soplado
- Alinear el tren de rodillos
- Buscar puntos que se ven estrechos y pequeños, pero que generan variaciones en la línea de enfriamiento, estos pueden ser causados por la pobre distribución en la salida del dado o por mellas en los bordes, además de la falta de uniformidad en el anillo de soplado.
- Si la presión de salida es baja, instalar un paquete de filtros más apretados para mejorar la temperatura de fusión y por ende el mejor mezclado.

- Verificar la alineación de los bordes de entrada y salida de los canales del anillo de soplado para determinar la concentricidad.
- Si ya se reparó la falta de uniformidad del anillo de soplado y la rotación de este no resuelve el problema, entonces se infiere que es necesario revisar las partes no rotatorias del sistema (partes del dado, etcétera).
- Si el anillo de soplado no es rotatorio y ya fue reparado y está en correcto uso, mover el aro 90 grados para ver si la imperfección sigue el movimiento, si no el problema se encuentra en la parte superior del equipo.
- Cambiar la dirección del flujo de aire paralelo a la burbuja deteniendo el anillo de soplado para posicionar la burbuja en un lugar fijo para prevenir la oscilación de esta.
- Instalar barras estabilizadoras estáticas en la burbuja, justo sobre la línea de enfriamiento para asegurar una mayor estabilidad.
- Incrementar el rango y velocidad de aplanamiento en el rodillo superior, esto en algunas ocasiones estabiliza la burbuja.
- Reducir la temperatura de fundición. Disminuir la línea de enfriamiento.
- Verificar las mangueras que llegan al anillo de soplado por atascamientos o alguna situación que restrinja el flujo de aire.
- Examinar la burbuja por concentricidad con el dado en al menos cuatro puntos (la burbuja tiene que estar a 90 grados).

#### **4.8.17. Bordes no definidos en los rollos de película**

##### Descripción del problema

Se presentan bordes no definidos, crespos o con deficiencia en el corte, lo cual genera una inapropiada manipulación del producto o el posterior desecho del producto debido a que los bordes pueden ocasionar deficiencias en la calidad del producto final.

##### Principales causas del problema

- Las navajas de la cortadora están desafiladas
- Las navajas de la cortadora están desalineadas

##### Posibles soluciones

- Reemplazar las navajas
- Alinear el set de navajas para que corte en un ángulo apropiado
- Utilizar navajas con un recubrimiento apropiado
- Utilizar navajas térmicamente adecuadas, pero tener cuidado de no utilizar una temperatura excesiva ya que puede fundir y sellar las dos capas en un lugar no deseado.

#### **4.8.18. Bobinas cónicas, un lado de la película es más grueso que el otro**

##### Descripción del problema

Las bobinas o rollos de película se observan en una forma cónica debido a que un lado de la película es mucho más grueso que el otro. El enrollamiento cónico denota un problema fundamental en el producto debido a que no hay un calibre homogéneo en la película y existe una gran probabilidad que se esté regalando producto, además que el producto está fuera de especificación.

##### Principales causas del problema

- Deficiencia en el calibre de la película: no hay uniformidad en la presión generada en los rodillos superiores de equipo encargados del aplanamiento de la burbuja, existe una inclinación en el molde o en el anillo de soplado de aire, hay corrientes entrando en contacto con la burbuja y no hay uniformidad en la abertura del dado o molde.

##### Posibles soluciones

- Asegurarse que el molde y el anillo de soplado estén nivelados
- Revisar si existen restricciones de flujo de aire en las mangueras que llegan al anillo de soplado.
- Verificar todas las soluciones propuestas para el problema de deficiencia en el calibre, dirección transversal (sección 4.3.16.).

#### **4.8.19. Película con forma de bolsa, bajo calibre en los extremos y alto calibre en el centro de la bobina (rollo convexo)**

##### Descripción del problema

La bobina o rollo de película se encuentra abombada en el centro, es decir, que el calibre en el centro de la película es superior al calibre en los extremos. Debido a esto el producto estará fuera de los límites especificados y será objeto de rechazo o pérdida de material.

##### Principales causas del problema

- La variación en el calibre se da mayormente debido a las corrientes que puedan entrar en contacto con la burbuja.
- La abertura del dado no es completamente uniforme
- El flujo de aire del anillo de soplado es desigual

##### Posibles soluciones

- Proteger la burbuja de corrientes externas
- Eliminar la fuente de corrientes de aire, algunos ejemplos son: cerrar las puertas, ventanas o aislar la burbuja.
- Cubrir la burbuja
- Revisar la abertura del molde

- Revisar las temperaturas alrededor de la superficie del dato (toda la circunferencia).
- Revisar las secciones anteriores respecto a variaciones en el calibre de las películas.

#### **4.8.20. Arrugas en la película. Bajo calibre en el centro de la bobina y alto calibre en los extremos (rollo cóncavo)**

##### Descripción del problema

Se puede presentar el caso de un rollo o bobina cóncavo en el cual las variaciones de calibre bajo en el centro y alto en los extremos, genera una deficiencia en el producto con los mismos defecto explicados anteriormente.

##### Principales causas del problema

- Deficiencia en el calibre de la película (revisar sección 4.8.19.).

##### Posibles soluciones

- Verificar la sección 4.8.19.
- Las soluciones pueden encontrarse en las secciones 4.8.15. y 4.8.16. que hablan sobre las deficiencias en el calibre.

#### **4.8.21. Bloqueo de la película en los rodillos superiores**

##### Descripción del problema

El bloqueo de la película significa que las dos capas surgidas del aplanamiento de la burbuja, se quedan pegadas y no se pueden separar las dos capas, esto significa que al finalizar de producir la bolsa, esta no se podrá abrir debido a que están pegados los dos lados.

##### Principales causas del problema

- Enfriamiento inadecuado
- La altura de la torre es muy baja en relación a los requerimientos
- El ambiente se encuentra con temperaturas altas
- Excesiva presión en los rodillos superiores
- Inapropiada formulación de la resina
- Mucha tensión en la bobina

## Posibles soluciones

- Utilizar un mejor sistema de enfriamiento
- Utilizar aire refrigerado
- Ajustar la presión en los rodillos superiores al mínimo necesitado para evitar pérdidas de aire hacia la burbuja.
- Utilizar una resina formulada correctamente
- Reducir la tensión en la bobina
- Reducir el ángulo de colapso y cubrir la armazón con papel kraft para que haya más área de enfriamiento por contacto.
- De ser posible, reventar la burbuja y volverla a inflar
- Añadir aditivos de antibloqueo y de deslizamiento
- Verificar la alineación de los rodillos superiores
- Revisar que no exista una estática excesiva
- Si la película está demasiado brillante, elevar la línea de enfriamiento

#### **4.8.22. Un alto coeficiente de fricción, ocasiona que la película esté muy pegajosa**

##### Descripción del problema

Después del proceso de extrusión la película se encuentra con propiedades que la convierten en un material pegajoso, lo cual causa problemas para realizar el proceso de corte y sellado, para manipular el producto, además afecta los requerimientos de un producto final de calidad.

##### Principales causas del problema

- Nivel de deslizamiento muy bajo
- El calibre de la película es demasiado bajo para el contenido de resina que favorece el deslizamiento.
- Una excesiva temperatura de fundición

##### Posibles soluciones

- Incrementar el espesor de la película
- Reducir la temperatura de fundición
- Reducir las moléculas ópticamente activas de la resina de baja densidad lineal de polietileno mediante el incremento de la línea de enfriamiento.

#### **4.8.23. Bajo coeficiente de fricción, la película está muy resbaladiza**

##### Descripción del problema

La película se encuentra muy resbaladiza y al igual que cuando se encuentra muy pegajosa, surgen dos problemas fundamentales: la manipulación del producto se vuelve complicada y afecta las condiciones de producción de los procesos subsecuentes y el segundo problema es que esta condición resbaladiza puede ser fuente de rechazo para el producto final.

##### Principales causas del problema

- El nivel de deslizamiento está muy alto
- El calibre de la película es muy alto y favorece el exceso de resina que favorece el deslizamiento.

##### Posibles soluciones

- Reducir el calibre de la película
- Obtener una formulación adecuada
- Utilizar resina que no ha sido modificada

#### **4.8.24. Nivel de tratamiento bajo**

##### Descripción del problema

El bajo nivel de tratamiento creará un déficit en la energía superficial de la película por lo cual no se logra el nivel mínimo para igualar la tensión superficial del tinte para lograr fijarla (para mayor información conceptual revisar el marco teórico) debido a esto la tinta no se fija o se corre con facilidad.

##### Principales causas del problema

- El tratador está trabajando a un nivel inferior del parámetro requerido
- Un ajuste deficiente del electrodo
- Una velocidad excesiva en la película para las condiciones a las que trabaja el tratador.
- Interferencia generada por los aditivos de la resina
- La rugosidad en la película afecta la eficiencia del tratado

##### Posibles soluciones

- Un tratador de un tamaño adecuado
- Un electrodo ajustado correctamente
- Evitar resinas que contienen altos niveles de aditivos que puedan interferir con el tratamiento.

- Mantener un buen contacto entre la película y el tratador
- Verificar el tratamiento con un marcador especial
- Asegurar la verificación del tratado tan pronto como salga de la torre, debido a que el nivel de tratado puede caer a un máximo de tres puntos después de un día.

#### **4.8.25. Deficiente adhesión del tinte**

##### Descripción del problema

La tinta se adhiere de una manera ineficiente lo cual genera que se corra y no se logren los requerimientos para una impresión de calidad, lo cual inminentemente genera un rechazo de producto.

##### Principales causas del problema

- Tratamiento inadecuado
- Interferencia de los aditivos en el tratamiento
- Tratamiento erróneo
- Tinta de cualidades inferiores

## Posibles soluciones

- Utilizar un tratado adecuado
- Obtener resinas que no contienen aditivos que interfieran
- Utilizar tintas de impresión confiables
- Reducir el nivel de deslizamiento a 660 partes por millón máximo para tintas a base de agua.
- Si se utilizan tintas a base de agua es necesario una tensión superficial de 45 dina por centímetro.
- Si se utilizan tintas a base de solvente es necesario una tensión superficial de 38 dina por centímetro.
- Verificar las películas con un marcador especial
- Verificar el tratamiento a lo largo de toda la película para garantizar que el tratamiento fue uniforme a lo largo de la película.

#### **4.8.26. Bloqueo durante el almacenaje**

##### Descripción del problema

Puede acontecer el caso en que la película se bloquee una vez terminado el proceso, problema que puede causar que la bolsa no se pueda abrir y otros problemas descritos en la sección 4.8.21.

##### Principales causas del problema

- Temperaturas muy altas
- Inapropiada formulación de la resina
- Sobretratamiento
- Excesiva tensión en la película
- Concentración muy alta de colorante
- Inapropiada formulación de la tinta o secado incompleto

##### Posibles soluciones

- Utilizar resinas formuladas adecuadamente y con propiedades de antibloqueo.
- Evitar excesivos niveles de tratamiento
- Monitorear las temperaturas en las áreas de almacenaje

- Reducir la tensión en la película
- Reducir la concentración de color
- Pudo bloquearse en el rodillo superior por lo que se recomienda revisar la sección 4.8.21.

#### **4.8.27. Película resbaladiza, rayones en dirección de máquina**

##### Descripción del problema

Se presentan rasgaduras o rayones en dirección longitudinal a la película, estos afectan la resistencia, apariencia y todas las propiedades mecánicas del producto.

##### Principales causas del problema

- Una excesiva orientación en dirección longitudinal
- Líneas en el molde
- Líneas en alguna soldadura
- Elección de resina deficiente
- Los rodillos superiores se encuentran muy apretados
- La densidad de la resina es muy alta

### Posibles soluciones

- Utilizar un molde con menor diámetro
- Limpiar el molde
- Utilizar resinas diseñadas para aplicaciones específicas
- Ajustar la presión en los rodillos superiores
- Utilizar resina de baja densidad de ser posible
- Reducir la temperatura de fundición, si la temperatura es muy alta
- Aumentar la línea de enfriamiento
- Verificar por puntos en la línea de enfriamiento debido a un flujo desparejo en el molde o el sistema de enfriamiento.

#### **4.8.28. Película decolorada**

##### Descripción del problema

La película no tiene el color deseado, es decir, que el producto está con un color muy tenue, por lo cual es objeto de rechazo en el producto final.

##### Principales causas del problema

- Calidad deficiente en los contenedores del pigmento o solvente
- Contaminación ambiental del pigmento o solvente
- Resina inapropiadamente estabilizada
- Elevadas temperaturas de almacenaje

##### Posibles soluciones

- Utilizar contenedores de buena calidad
- Proteger las materias para evitar una posible contaminación
- Utilizar estándares de alta calidad
- Almacenar en áreas de temperatura moderada
- Rotar los paquetes de producto para evitar tiempo y temperatura excesivos en el almacenaje.

#### **4.8.29. Vida útil de las navajas es muy corta**

##### Descripción del problema

Las navajas fallan constante y periódicamente después de ser cambiadas.

##### Principales causas del problema

- Las navajas no tienen una cubierta apropiada.
- La cortadora tiene un ajuste inapropiado.

##### Posibles soluciones

- Se recomienda utilizar navajas cubiertas con carbonato de tungsteno
- Emplear navajas térmicamente adecuadas
- Asegurarse que las navajas están correctamente alineadas y ajustadas.



## **5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

A continuación se presenta el análisis y la interpretación de cada uno de los datos obtenidos en los resultados planteados en la sección anterior. Además, se discute su importancia y su injerencia en el proceso de producción.

### **5.1. Interpretación de los resultados del estudio de capacidad**

En la sección de resultados del estudio de proceso, las figuras 19, 20 y 21 representan el comportamiento del área de extrusión y las figuras 22, 23, 24 y 25 representan el comportamiento en el área de corte, antes de profundizar en lo que representa cada gráfica, es importante describir el formato y características de las gráficas.

Para la realización de las gráficas se tomaron 45 muestras en un tiempo aleatorio dentro de un rango de 6 horas. Las gráficas presentan el histograma de frecuencias con sus respectivas columnas y la campana de Gauss, este se encuentra en forma vertical, es decir, que los pesos que representan las clases del histograma se encuentran en el eje de las ordenadas y la frecuencia en el eje de las abscisas.

Se presenta una línea roja que representa el peso – metro ideal (área de extrusión) y el peso ideal del fardo (área de corte), es decir, que esta sería la media que se desea alcanzar en la producción. Las líneas negras representan los límites de control del proceso de producción, estos están en función de la desviación estándar y la media obtenida de los datos y representan el control que se tiene sobre la producción.

Las líneas amarillas representan los límites específicos, directamente relacionados con las especificaciones y los criterios de producción, en este caso el 5% de variabilidad que tiene que tener el producto final con el peso – metro o el peso del fardo que se considera como ideal. Si el dato obtenido se encuentra dentro de estos límites el producto se encuentra en control y supera los requerimientos.

En el área de extrusión: al observar las figuras 19 ,20 y 21 se determinan varias similitudes que permiten inferir en el comportamiento de los extrusores de manera global.

La primera similitud es que los resultados obtenidos muestran poca continuidad en la precisión de los datos, es decir, los valores obtenidos no se repiten de forma continua, si se observan las figuras no hay más de cinco datos iguales consecutivos. Esta discontinuidad en los valores representa un aumento en la desviación estándar y ejemplifica la variabilidad en la producción.

Otra similitud, se encuentra en los límites de control, ya que estos se encuentran fuera del rango determinado por los límites específicos. Este hecho se relaciona con la desviación estándar mencionada anteriormente, ya que a medida que aumenta la desviación estándar, aumenta el valor del límite superior de control y disminuye el valor del límite inferior de control. Esta tendencia en los valores de los límites de control permite establecer un rango de aceptación en los datos que se obtienen en la producción.

Como se puede determinar en las figuras 19, 20 y 21 (área de extrusión) la mayoría de los datos obtenidos se encuentran dentro de los límites de control, lo que da espacio a considerar que el proceso se encuentra en condiciones aceptables y bajo control.

Sin embargo, el hecho de que los límites de control se encuentran fuera del rango determinado por los límites específicos, dictamina que el proceso puede estar bajo control pero este control está fuera de las especificaciones determinadas y la variabilidad en la producción puede alcanzar valores fuera del  $\pm 5\%$  (fijado por los límites específicos) y por ende, fuera de los parámetros de calidad; aunque los datos pueden estar en el rango de los límites de control estos pueden encontrarse fuera del rango de los límites específicos como se observa en estas figuras.

Como concepto ideal, los límites específicos contienen a los límites de control y los datos obtenidos se localizan dentro del rango de los límites de control. Esto significaría un proceso completamente capaz.

A pesar de esta deslocalización en los límites, la cual es consecuencia de los datos obtenidos en la producción, son estos mismos datos los que permiten generar los respectivos histogramas de frecuencia y su campana de Gauss.

Al analizar los histogramas y sus respectivas campanas de Gauss se determina que la mayoría de valores obtenidos se encuentran cerca del valor medio ideal obtenido teóricamente. Esto significa que aunque la desviación de los valores genera la deslocalización de los límites y muestran un proceso con variabilidades considerables, la mayoría de los datos de producción obtenidos se encuentran en un rango aceptable entre los parámetros de calidad, lo que permite que la planta siga funcionando de una manera satisfactoria a pesar de las variabilidades de proceso, no obstante esta no trabaja adecuadamente ni a su máximo potencial.

Los datos cuantitativos son presentados en las tablas IX, X y XI. El análisis de estos datos es con base a 8 valores finales: la media del peso metro, la desviación estándar, el límite superior específico (LSE), el límite inferior específico (LIE), el límite superior de control (LSC), el límite inferior de control (LIC), el Cp y el Cpk.

Cada uno de estos datos está íntimamente relacionado y su análisis debe ser realizado en forma secuencial, haciendo analogía a una cadena.

La media del peso metro, en el extrusor 1 el valor es de 45,43, en el extrusor 2 es de 43,04 y en el extrusor 3 es de 42,77, respecto al valor del peso metro teórico el cual es de 42,50 gramos por metro. Estos tres valores son muy distintos lo que ejemplifica que cada extrusor trabaja bajo las condiciones a las que fue calibrado y cada extrusor fue calibrado por una persona diferente. Este hecho demuestra la necesidad de establecer lineamientos generales en el momento de calibrar y de poner a funcionar un extrusor.

Pero, la premisa más importante que brindan estos datos, es el hecho de que aunque los equipos estén calibrados de manera correcta y trabajen en las mismas condiciones los resultados de producción serán distintos, en virtud de que los avíos de estos equipos, tales como los filtros, las resistencias, el dado, los rodillos, etcétera, no se encuentran en el mismo nivel de calidad, es decir, que el mantenimiento a los equipos no es periódico y controlado sino que sigue una política de arreglar y dar mantenimiento hasta después que el equipo deja de funcionar o no funciona de manera adecuada.

La desviación estándar, en el extrusor 1 tuvo un valor de 2,24, en el extrusor 2 de 2,61 y en el extrusor 3 de 2,01. Estos valores rectifican lo descrito anteriormente, ya que su similitud determina que el equipo produce a lo que sus condiciones lo permiten, debido a que no importa el valor de la media, la precisión de los datos obtenidos es similar y la dispersión respecto a su media se mantiene.

El límite inferior específico y el límite superior específico, se obtienen a partir del peso metro ideal (ver sección anexos) y de un criterio de diseño del 5%, esto significa que todos los datos de producción deben encontrarse entre un rango de  $\pm 5\%$  del peso metro ideal para ser considerados de calidad y sin ningún tipo de problema. Previamente se hizo alusión tanto a los límites específicos como a los límites de control y su comportamiento en las gráficas de los extrusores.

El dato más importante y que permite generar las ideas finales es el Cp y consecuentemente el Cpk. El Cp es el coeficiente que compara el rango de especificaciones con la fluctuación natural del proceso. Si el proceso tiene capacidad para fabricar el producto, entonces  $Cp > 1$ . En general se exige  $Cp > 1,30$  para garantizar el proceso.

El Cp obtenido del extrusor 1 es de 0,32, el del extrusor 2 es de 0,27 y el del extrusor 3 de 0,35. Con el Cp se tiene el inconveniente de que para aplicarlo, el centro de gravedad del rango de especificaciones debe coincidir con la tendencia central de las mediciones del proceso. Cuando esto no ocurre se emplea el Cpk. Los valores de Cpk obtenidos fueron de 0,12, 0,20, y 0,30.

Al discutir las razones que fundamentan los valores del Cp se determina el porqué de sus valores tan próximos. La principal razón es que los valores del Cp están en función de los límites específicos y la desviación estándar.

Los límites específicos son fijos para los extrusores y son considerados parámetros de producción y la desviación estándar observada en los datos obtenidos es muy cercana, por las razones planteadas anteriormente, como consecuencia de esto se observa la paridad en los datos del Cp.

Sin embargo, para el análisis de estos procesos el centro de gravedad no concuerda con la tendencia central de las mediciones, por lo que el coeficiente más efectivo para el análisis es el Cpk. Los valores 0,12, 0,20 y 0,30 no guardan la misma relación que los coeficientes Cp.

La diferencia entre los coeficientes radica en que el Cpk es función de la media, los límites específicos y de la dispersión de los datos representados por la desviación estándar (observar muestra de cálculo en la sección anexos).

Lo más importante son los valores de Cpk los cuales están por debajo de 1 y aún más por debajo del 1,30 ideal. Estos índices permiten concluir determinadas ideas que establecen las condiciones actuales de la planta en el proceso de extrusión.

La principal idea que se obtiene, es que el proceso está trabajando fuera de especificaciones, lo que desemboca en productos finales que no cumplen con los requerimientos básicos de calidad.

Otro concepto derivado del análisis del Cpk es que existen variabilidades, la natural y la asignable, esta última se hace notar por los bajos valores del Cpk y por causas particulares que sitúan el proceso fuera de control, tales como la suciedad en los cabezales, el fallo de las resistencias, el no cambiar los filtros, el mal calibre de los flujos de aire y de los rodillos, entre otros, que surgen de la negligencia de los operarios.

Se interpreta que, como consecuencia de los bajos valores de Cpk, para generar productos finales que cumplan el mínimo de los parámetros de calidad, el personal de la planta acude generalmente a la realización de constantes acciones correctivas a lo largo de todo el proceso de producción. Algunas de estas acciones son, la recalibración de los extrusores cuando estos empiezan a arrojar datos fuera de límites aceptables, la reutilización del material que salió fuera de especificaciones, el producto rechazado se utiliza para procesos alternos, etcétera.

En el área de corte: las figuras 22, 23, 24 y 25 representan el comportamiento de 4 cortadoras de las 16 presentes en la planta. Es vital recalcar que las ideas planteadas a lo largo de toda esta sección hasta este punto son completamente extrapolables al área de corte. Sin embargo, esta área es la continuación del proceso de extrusión y como tal el área de corte depende del área de extrusión.

A pesar de esta dependencia el área de corte representa parte fundamental del estudio porque es el paso final para fabricar las bolsas de polietileno y por esa razón su análisis es fundamental para comprender todo el proceso que se lleva a cabo en la planta.

Al analizar las figuras correspondientes a esta área se encuentra cierta paridad con el área de extrusión, tal es el caso de la deslocalización de los límites de control y los límites específicos aunque para esta área la separación entre los límites disminuye de manera apreciable, lo que favorece la correcta producción.

En estas figuras se observa que hay mayor uniformidad en los valores de las muestras, es decir, el valor del peso del fardo que se obtiene de este proceso se repite consecutivamente en muchas más ocasiones que el área de extrusión, lo que disminuye la dispersión de los datos y aumenta la precisión, esto se observa en los valores de la desviación estándar los cuales alcanzan valores de 1,51, 0,76, 1,09 y 0,90, respectivamente para las 4 cortadoras analizadas.

Al observar los histogramas de frecuencias y las campanas de Gauss, se determina que la mayoría de datos no se ubican tan cerca del peso del fardo ideal como se esperaría, no obstante, la mayoría de las muestras no se localizan en las colas de la campana (lo que significaría que se encuentran fuera de especificaciones), sino que la gran mayoría se encuentran en el centro (dentro de los límites específicos).

La media del peso del fardo obtenida para la cortadora 1 es de 40,34, en la cortadora 2 es de 39,81, en la 3 es de 39,53 y en la cortadora 4 el valor es de 40,48. Estos valores son muy cercanos al peso ideal del fardo el cual es de 40,4. Estos valores son alentadores para el proceso ya que se encuentran entre los límites específicos y determinan que el producto final cumple con los parámetros establecidos.

El análisis del Cp y del Cpk para el área de corte depende de los valores que estos índices arrojan aunque los conceptos aplicados para el área de extrusión son igualmente aplicables a esta área.

El Cp obtenido en las 4 cortadoras es de 0,44, 0,88, 0,61 y 0,75 y el Cpk obtenido es de 0,37, 0,62, 0,35 y 0,78. Como se mencionó previamente el Cp es función de los límites específicos y de la desviación estándar la que aún demuestra variaciones considerables que determinan valores bajos de Cp. El Cpk al igual que el Cp también está en función de la desviación estándar aunque también de la media y de los límites específicos, lo que realza su efectividad en el análisis de estos procesos.

Los valores de Cpk son menores que 1 y más aún del ideal 1,30, lo que es comparable con lo explicado en el área de extrusión. Sin embargo, es también de considerar que los valores para esta área de corte aumentaron respecto al área de extrusión.

El aumento tiene una explicación muy razonable es que las máquinas cortadoras están completamente automatizadas y la determinación de sus parámetros iniciales es digital, este tipo de tecnología mejora los índices de capacidad, no obstante, los valores no alcanzan los parámetros deseados en consecuencia de la desviación acarreada desde el proceso de extrusión.

Debido a las deficiencias que las bobinas procedentes de extrusión puedan traer, el área de corte también pasa a tomar acciones correctivas respecto a estas bobinas para rescatar el producto y lograr un producto final que sea aceptable ante los parámetros de calidad. Este hecho no es deseado y la solución radica en la realización de un producto de calidad en el área de extrusión.

La presentación final de estos datos representa un punto de inflexión en los métodos utilizados en la planta. Es necesaria la presentación de nuevos lineamientos que permitan mejorar los procesos de producción y es inminente la capacitación de personal y la toma de acciones de tipo preventivas que permitan el desarrollo de un proceso de producción capaz.

## **5.2. Interpretación sobre la determinación de los parámetros de calidad de la materia prima, polietileno de baja densidad**

Cuando se pretende establecer controles de calidad las primeras consideraciones hay que hacerlas sobre la materia prima, ya que si esta se encuentra en mal estado todo el trabajo subsecuente que se realiza en la planta no cumplirá los requerimientos de calidad establecidos.

Con base al producto analizado en el estudio de capacidad y como respuesta a los resultados arrojados por este, es fundamental analizar el polietileno de baja densidad, con el objeto de encontrar una respuesta a las variabilidades que se encuentran en el estudio.

Para determinar si la materia prima cumple con los estándares de calidad es necesario que esta pase por el proceso de extrusión (sin ningún tipo de mezcla o aditivo) y obtener bobinas de polietileno de baja densidad. Las pruebas se realizan sobre la película obtenida del extrusor. Las pruebas están estandarizadas y respaldadas por la ASTM y tiene validez internacional. Estas pruebas son descritas en la sección 2.12..

Las normas de medición permiten determinar la resistencia a la tensión y al impacto de dardo, el porcentaje de elongación, la resistencia al rasgado, la densidad y el coeficiente de fricción.

Todas estas características también las brinda el proveedor de la materia prima en la ficha técnica que describe el material y asegura que los datos que se obtendrán en las pruebas entrarán entre un rango determinado, lo cual garantiza la calidad de la materia prima.

Al observar la tabla XIV que presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se observa que todos los parámetros de calidad cumplen, es decir, que los resultados obtenidos se encuentran entre el rango que el proveedor determina en la ficha técnica.

Estos resultados establecen que la materia prima cumple con todas las condiciones requeridas para fabricar un producto de calidad. Y es por esto, que la materia prima no tiene injerencia alguna en los resultados obtenidos en el estudio de capacidad y se puede concluir que estas variabilidades son achacables al proceso de producción y no a la materia prima.

### **5.3. Interpretación del análisis comparativo entre el diseño de la burbuja y su comportamiento real**

La burbuja que se forma en el área de extrusión es la parte más importante del proceso de producción, es aquí que todas las variables del proceso se desarrollan y lo pueden hacer de una manera controlada y apegada al desarrollo teórico de la burbuja o se pueden desviar y generar problemas a lo largo de toda la línea de producción.

La tabla XV muestra los resultados obtenidos del diseño de la burbuja y la media (media aritmética sobre 45 datos de cada parámetro) de los parámetros medidos en la planta de producción.

Para el mejor análisis de estos valores la interpretación se desarrolla agrupando las variables que guardan una relación más íntima, sin embargo, es importante no olvidar que todas están relacionadas y tienen injerencia una sobre la otra.

La altura de enfriamiento ( $Z$ ) y el ancho de bobina (*Lay Flat*) presentan una desviación de 8,12 y 10,71%, en principio puede no parecer un rango muy amplio aunque si considerable, pero es importante mencionar que este porcentaje de desviación representa un aumento en el ancho de bobina de hasta 2,5 pulgadas (revisar datos en los apéndices) el cual representa una pérdida de material y una producción claramente fuera de especificaciones.

El diámetro de la burbuja ( $Db$ ) y la relación de soplado ( $BUR$ ) tienen prácticamente el mismo porcentaje de desviación de 3,55 y 3,50% respectivamente. Estas dos variables están relacionadas en proporcionalidad directa y cualquier variación en una se refleja en la otra. Los factores ambientales y el flujo interno de aire afectan tanto el diámetro de la burbuja como, consecuentemente, la relación de soplado.

El calibre final de la película ( $ef$ ) tiene un porcentaje de desviación de 6,67% y en los datos medidos se observa que el mínimo obtenido es de 0,0021 pulgadas y el máximo de 0,0024, es decir, que las variaciones sólo se dan hacia el aumento del calibre lo que representa un gasto extra de material. Estos valores tan dispares se ven reflejados en las variaciones del peso-metro.

La relación de halado (DDR) está en función de la velocidad de descarga (Vd) y la velocidad de halado (Vh), cada una de estas tiene un porcentaje de desviación de 9,30, 4,55 y 14,74% respectivamente.

La velocidad de descarga está en relación con la presión en el cabezal y con el funcionamiento de los filtros del extrusor, es por esto que puede variar de manera significativa cuando el extrusor no trabaja adecuadamente o no se le realiza un buen mantenimiento.

La velocidad de halado y ulteriormente la relación de halado son fundamentales para la estabilidad de la burbuja y variaciones de 14,74 y 9,30% claramente representan que la burbuja trabaja fuera de las condiciones deseadas provocando variaciones considerables en el ancho de la bobina y en el calibre final de esta, reflejando nuevamente en el peso metro analizado en el estudio de capacidad.

La tensión axial (Fz) es la fuerza con la que los rodillos superiores halan la burbuja hacia la zona de colapso y por ende tiene relación con la velocidad de halado esta condición presenta una desviación del 9,98% lo que genera que la burbuja sea halada con mucha fuerza y no dando tiempo a que se desarrolle de manera adecuada afectando las propiedades mecánicas del film.

La sobrepresión interna ( $\Delta P$ ), esta variable relaciona la diferencia de presión entre el interior de la burbuja y el exterior de esta. En este caso particular la planta trabaja a condiciones ambientales y a pesar que el porcentaje de desviación es de 13,27% los valores de  $\Delta P$  son muy pequeños, en comparación con las condiciones de presión ambientales, por lo que su injerencia en el proceso es mínima.

Este análisis comparativo permite comprender de mejor manera el estudio de capacidad ya que demuestra donde se encuentran algunas de las causas que generan los datos tan oscilantes obtenidos en el estudio.

Los parámetros aquí descritos son los principales focos de atención en el comportamiento de la burbuja y son los que determinan si un producto está o no tanto en control como dentro de las especificaciones requeridas para lograr un producto final de calidad.

#### **5.4. Interpretación de la acumulación de material en el extrusor**

Al desarrollar el balance de masa se presenta como un concepto muy sencillo y lógico que no brinda mayor información, sin embargo, al realizar las mediciones en la planta de producción se observa que se retienen en el extrusor 0,276 kilogramos de materia y 0,034 kilogramos de impureza.

Es obvio que estos datos se obtienen bajo el supuesto que la ficha técnica dada por el proveedor de materia prima en la cual asegura que esta tiene un porcentaje de pureza del 99,95% es correcta. Y aunque no lo fuera los datos no variarían en mucho, por lo tanto, las inferencias a partir de estos resultados son validas.

El hecho que se retengan 0,276 kilogramos en una hora de trabajo de extrusión representa que al día se pierden casi 7 kilogramos de producto y que tiene sus gastos económicos al final del año.

La retención de producto es un fenómeno completamente perjudicial para el proceso ya que representa un mal funcionamiento del extrusor y del cabezal, posible daño al sistema de filtros, daño al tornillo sinfín y al cañón; además de generar problemas de transferencia de calor que se reflejan en deficiencias en la fundición y en el mezclado.

El material acumulado genera una serie de problemas en el film (revisar la sección 4.8.) que se ven reflejadas en las propiedades mecánicas y en la apariencia del producto final.

#### **5.5. Interpretación de la cantidad de calor necesario para fundir y mezclar la resina de polietileno de baja densidad en el extrusor**

El balance de energía establece los lineamientos para determinar la cantidad de calor necesaria para determinar la fundición y mezcla de la resina de polietileno de baja densidad en el extrusor. Y bajo esta premisa es que se establecen los conceptos termodinámicos necesarios para determinar la cantidad de calor, este análisis se describe en la sección 2.15.

El desarrollo de los cálculos dictamina que son necesarios 555,5 kilojoule de calor por cada kilogramo de resina de polietileno de baja densidad. Este calor debe ser suministrado por el extrusor, específicamente por las resistencias.

En la figura 33 se observa el proceso de fundición basado en la capacidad calorífica ( $C_p$ ) del polietileno de baja densidad, se establece la línea recta que determina el incremento de temperatura de 25 grados Celsius hasta los 120 grados Celsius necesarios para la fundición de la resina. Después de alcanzar los 120 grados Celsius es necesario suministrar otros 293 kilojoule por kilogramo de materia para lograr la fusión completa, esto en función de la entalpía de fusión del polietileno de baja densidad. En el último tramo de la gráfica se observa un incremento lineal y de igual manera que en el primer tramo está en función del  $C_p$  de la resina, hasta que esta abandona el extrusor a 130 grados Celsius por la abertura del cabezal.

#### **5.6. Interpretación sobre la determinación de las pérdidas de calor y su valor económico**

En toda transferencia de calor se presentan los fenómenos de conducción, convección y radiación; este caso no es la excepción, sin embargo, aquí se presenta con mayor énfasis la conducción y la convección y la radiación no se compara con el calor transferido por la conducción.

Partiendo de esta idea se establece que la transferencia de calor en el extrusor está gobernada por la ley de Fourier y su ecuación, lo que permite determinar la cantidad de calor que las resistencias transfieren a la resina para lograr su fundición, el desarrollo matemático de estas ideas se realiza en la sección 2.16. de la cual se concluye que ingresan al extrusor 882,63 kilojoule por kilogramo de materia en una hora.

El extrusor también genera calor por medio de la fricción y las fuerzas mecánicas que se dan en la rotación del tornillo sinfín y su contacto con la resina, además del contacto entre la resina y el cañón pero estas cantidades de calor son despreciables en comparación con la emitida por las resistencias.

Es evidente que el proceso de extrusión no es adiabático y que existen pérdidas de calor, las cuales se pueden cuantificar mediante la relación entre el calor que ingresa al extrusor y el calor necesario de función, estas pérdidas son de 327,13 kilojoule por kilogramo de materia.

Las pérdidas siempre tienen una injerencia directa en la economía de la empresa ya que acarrearán gastos, en este caso, sabiendo el valor del kilowatt hora el cual es de 1,672 quetzales por kilowatt hora se establece que la planta de producción le genera una pérdida de Q89 321,48 anuales en términos de calor a la empresa. Es por eso que resulta necesario evaluar opciones económicas que permitan restringir esas pérdidas.

## **5.7. Interpretación de los Procedimientos Operacionales Estándar (POE's) para la calidad**

Para asegurar un producto final que cumpla con todos los requerimientos establecidos por los clientes y que sea rentable para la empresa que produce, es necesario controlar todo el proceso y asegurar una producción estandarizada.

Para confirmar lo anterior se tiene que realizar una toma de muestras de forma periódica y verificar todas las características, para mantener estos parámetros se implementan los procedimientos operacionales estándar, los cuales sirven para aumentar la uniformidad en la producción, reducir los productos defectuosos y, principalmente, para determinar los lineamientos generales que permitan controlar la calidad de los productos que surgen del proceso.

Los POE's son redactados y presentados para guiar al operario a través del proceso y que se genere una continua retroalimentación entre la información que se obtiene de cada muestra y el proceso, lo que ayuda a fomentar la mejora continua del proceso.

Estos procedimientos surgen como respuesta al estudio de capacidad, ya que sirven para mantener el equipo y el proceso en un estado de control y para reducir las variabilidades asignables.

Los POE's sirven como acciones preventivas, dado que brindan una idea sobre el comportamiento del equipo y sobre la realización de las bolsas de polietileno. Sin embargo, su simple aplicación no genera mayores resultados es fundamental apoyar estos procedimientos con los formatos de control (ver sección de apéndices), los cuales son tablas cuidadosamente diseñadas que permiten controlar y registrar las variables de los equipos y del proceso.

El registro de estas variables y la aplicación de los formatos de control generan la perfecta oportunidad para implementar mecanismos de mejora continua porque proporcionan las herramientas necesarias para la retroalimentación.

## **5.8. Interpretación del Manual de problemas, causas y posibles soluciones asociadas al equipo de producción de bolsas plásticas**

El manual contiene 29 de los problemas más comunes que se presentan en la planta de producción de bolsas plásticas. Se considera como una herramienta de contingencia que permite solucionar determinados problemas. Además de brindar información de las principales causas y las posibles soluciones a problemas particulares que se puedan dar en los productos finales.

Las causas y soluciones a los problemas surgen en función de las variables de los equipos y de las variables de proceso. Estas variables tienen una injerencia particular sobre el desarrollo del proceso, especialmente en el área de extrusión, ya que en el área de corte el proceso es completamente automatizado.



## CONCLUSIONES

1. Los valores de Cpk obtenidos de los tres extrusores y las cuatro cortadoras exhiben la existencia de variabilidades y determinan que el proceso está trabajando fuera de especificaciones.
2. El polietileno de baja densidad utilizado como materia prima cumple con todos los parámetros de calidad estipulados por las Normas ASTM y no tiene injerencia en los problemas de calidad del producto final.
3. La relación de soplado (BUR) es directamente proporcional al diámetro de la burbuja (Db).
4. Las desviaciones en la altura de enfriamiento (Z), el ancho de bobina (*Lay Flat*) y el calibre final de la película (ef) influyen en el peso metro y son una de las causas de la oscilación de los datos en el estudio de capacidad.
5. En las condiciones de proceso actuales no es necesario el uso de un sistema de enfriamiento interno (IBC).
6. El extrusor acumula 0,276 kilogramos de resina de polietileno de baja densidad en una hora de trabajo.
7. El calor necesario para fundir y mezclar el polietileno de baja densidad es de 555,5 kilojoule por kilogramo de resina.

8. El calor suministrado al extrusor por medio de las resistencias eléctricas es de 882,63 kilojoule por kilogramo de resina extruido.
9. Las pérdidas de calor son de 327,13 kilojoule por kilogramo de resina y ascienden a un costo de Q89 321,48 anuales.

## RECOMENDACIONES

1. La formación de un área de calidad en la cual una o varias personas se encargarán exclusivamente de velar por la correcta utilización del equipo, la correcta calibración de este, por la aplicación de los POE's y de los formatos de control.
2. La continua supervisión a los operarios garantizará la veracidad de los formatos de control y ayudará a determinar posibles errores de producción, además de eliminar cualquier tipo de variabilidad asignable.
3. La capacitación del personal respecto los procedimientos operacionales estándar (POE's) es fundamental para la producción controlada.
4. La documentación de los problemas, de su resolución, de datos, experiencias e información que se obtenga de todo lo que acontece en la planta, con la finalidad de la retroalimentación del proceso de producción, lo cual genera un mejoramiento continuo del proceso.
5. La implementación de sistemas de documentación respecto al funcionamiento de los equipos ayudará a establecer los tiempos de mantenimiento y limpieza, lo cual es fundamental para la calidad del producto final.

6. La revisión y estudio del manual de resolución de problemas por los operarios y una correcta instrucción respecto a este, permitirá a los operarios corregir problemas de producción inmediatamente.
7. Realizar evaluaciones económicas para determinar si es rentable el aislamiento de las resistencias eléctricas de los extrusores y así disminuir las pérdidas económicas que son consecuencia de las pérdidas de calor.
8. Realizar mantenimiento a todos los extrusores y máquinas cortadoras para llevar un control sobre su uso y su desgaste. Además el mantenimiento disminuye la acumulación de material en el extrusor.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALARCON SALAS, Xavier Alberto. *Estudio de la relación entre la estructura, procesamiento, propiedades mecánicas y transferencia de vapor de agua en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios*. Trabajo de graduación, Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, 2005.
2. BLASZCZAK, Piotr. *Rheology of low density polyethylene* [en línea]. Disponible en Web: <<http://www.unt.edu/LAPOM/publications/pdf%20articles/Kevin/Rheology%20of%20low-density%20polyethylene.pdf>>. [Consulta: en mayo de 2012].
3. CALLISTER, William D. *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Molera Solá, Pere (trad.). España: Reverté, 1997. 32 p. ISBN: 978-84-291-7254-8.
4. EMPAQUES PLÁSTICOS DE MÉXICO S.A. DE C.V. *Descripción del proceso* [en línea]. Disponible en Web: <<http://www.empaquesplasticos.com.mx/epmwbp1d.htm>>. [Consulta: en marzo de 2011].

5. FARNELL PACKING LIMITED. *Blown Film Extrusion* [en línea]. Disponible en Web: <<http://www.farnell.ns.ca/technology/blown-film-extrusion.htm>>. [Consulta: en junio de 2011].
6. FISICANET. *Tabla de conductividad térmica* [en línea]. Disponible en Web:<[http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03\\_conductividad.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php)>. [Consulta: en mayo de 2012].
7. GROOVER, Mikell. *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. México: Pearson Pretice Hall, 1997. 45 p. ISBN: 968-880-846-6.
8. HANSEN, Bertrand. *Control de calidad: teorías y aplicaciones*. Diorke, S.A. (trad.). 2a ed. España: Díaz de Santos, 1990. ISBN: 84-87189-31-8.
9. INTELECS CONTROLS INC. *Solutions for the plastic industry* [en línea]. Disponible en Web: <[http://www.intelecscontrols.com/2\\_plastics.htm](http://www.intelecscontrols.com/2_plastics.htm)>. [Consulta: en julio de 2011].
10. KUNTZMANN, Jean. *Solubilidad* [en línea]. Disponible en Web: <<http://ljk.imag.fr/membres/Bernard.Ycart/emel/cours/sd/node4.html>>. [Consulta: en agosto de 2011].
11. LYONDELL CHEMICAL COMPANY. *How to solve blown film problems* [en línea]. Disponible en Web: <<http://www.lyondellbasell.com/techlit/techlit/Handbooks%20and%20Manuals/BlownFilmProblems.pdf>>. [Consulta: en mayo de 2012].

12. MARTIENSSEN, W. *Springer Handbook of condensed matter and material data* [en línea]. Disponible en Web: <<http://www.springer.com/978-3-540-44376-6>>. [Consulta: en mayo de 2012].
13. MENDOZA CABRAL, Nestor. *Transferencia de masa* [en línea]. Disponible en Web: <<http://www.monografias.com/trabajos10/semi/semi.shtml>>. [Consulta: en agosto de 2011].
14. PLATICTECH. *Blown Film Extrusion* [en línea]. Disponible en Web: <<http://www.plasticstech.info/processes/extrusion>>. [Consulta: en julio de 2011].
15. RAMOS DE VALLE, Luis Francisco. *Extrusión de plásticos: principios básicos*. México: Limusa, 1994. 37 p. ISBN: 968-18-4889-6.
16. SOLOSTOCKS. *Venta de maquinaria de producción* [en línea]. Disponible en Web: <<http://www.solostocks.com/venta-productos/electronica/general/integrados/resistencia-de-abrazadera-5451125>>. [Consulta: en agosto de 2011].
17. URRUTIA LEAL, José Luis. *Diseño de un sistema de control de calidad en la producción de bolsas plásticas*. Trabajo de graduación, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2004.
18. WANG, Chunlong. *Grabado y cortadora plásticos duros* [en línea]. Disponible en Web: <<http://spanish.alibaba.com/product-gs/hard-plastic-engraving-and-cutting-machine-434553101.html>>. [Consulta: en julio de 2011].

19. ZHEJIANG DONG FENG PLASTIC MACHINERY FACTORY. *Máquina impresora flexográfica de 4 colores, 6 colores* [en línea]. Disponible en Web: <<http://www.bagmake.es/3-plastic-printing-machine/3-flexo-graphic-printing-3.html>>. [Consulta: en julio de 2011].
  
20. ZHONGSHAN COSTAR MACHINERY CO., LTD. *Layer extrusion blown machine* [en línea]. Disponible en Web: <[http://costar.en.alibaba.com/product/292207734-209697618/3\\_layer\\_Extrusion\\_Blown\\_Film.html](http://costar.en.alibaba.com/product/292207734-209697618/3_layer_Extrusion_Blown_Film.html)>. [Consulta: en agosto de 2011].

## **APÉNDICES**



Apéndice 1. **Formatos de control de cada área de producción**

- **Área de recepción y tratamiento de la materia prima**

**Formato de control del pedido**

<b>Formato de control del Pedido</b>	
No. de Orden	
Nombre del Material	
Cantidad de sacos a recibir	
Fecha a recibir el pedido	
Destino de almacenaje	
Observaciones especiales	
Nombre del responsable a recibir el producto	Firma del responsable a recibir el producto
Nombre del que envía la orden	Firma del que envía la orden

Continuación del apéndice 1.

**Formato de control del material recibido**

<b>Formato de control del material recibido</b>			
No. Orden		Fecha de recibido	
Nombre del Material		Hora de inicio de descargue	
Cantidad de sacos recibidos		Hora finalización de descargue	
Localización del producto		Tiempo total de descargue	
Observaciones Especiales			
Nombre del que recibe el material			
Firma del que recibe el material			

Continuación del apéndice 1.

○ **Área de extrusión**

**Formato de control del extrusor**

Datos de extrusión									
Temperatura de las camisas (°C)	Temperatura del cabezal (°C)	Capacidad de la tolva (% de llenado)	Calibre del dado	Ajuste de las guías de estabilidad	Velocidad del tornillo sin fin (RPM)	Velocidad de los rodillos de tensión (RPM)	Filtros del equipo	Flujo de aire del compresor	

Continuación del apéndice 1.

### Formato de control de extrusión

Datos del área de extrusión										
No. de maquina				Código de bobina			No. de pedido			Fecha
Hora	Ancho de la bobina (plg)	Calibre entre caras (0.001 plg)	Peso metro (g/m)	Resistencia de la bobina	Apariencia de la bobina	Bloqueo entre caras	Color de la bobina	Altura de la zona de congelamiento (m)	Diámetro de la burbuja (m)	Observaciones [verificar si lleva tratamiento corona (dina/cm)]

Continuación del apéndice 1.

- **Área de espera del producto**

### Formato de control del área de espera del producto

Datos del área de espera del producto						
Fecha			Operador		Informa a:	
Identificación de la bobina			Hora de entrada al área	Cortadora a la que se asigna la bobina	Protección sobre la bobina	Observaciones
Numero de bobina	Numero de código	Numero de pedido				

Continuación del apéndice 1.

○ **Área de corte, sellado y empaque**

**Formato de control de la cortadora**

Datos de la máquina cortadora							
Hora	Flujo de la película (Kg/h)	Tensión en el rodillo de admisión (N/m <sup>2</sup> )	Tensión en el rodillo de balance (N/m <sup>2</sup> )	Largo de la bolsa (plg)	Velocidad de la máquina (bolsas/min)	Configuración de los rodillos de la máquina	Temperatura de corte y sellado (°C)

Continuación del apéndice 1.

**Formato de control del área de corte, sellado y empaque**

Datos de corte, sellado y empaque											
Hora	Ancho de la bolsa (plg)	Largo de la bolsa (plg)	Calidad del sello	Resistencia	Calibre entre caras (0.001 plg)	Bloqueo	Apariencia	Estado de tratamiento corona (dina/cm)	Peso ideal del fardo (Lb/1000 bolsas)	Peso real del fardo (Lb/1000 bolsas)	Observaciones (reportar cualquier fallo)

Continuación del apéndice 1.

○ **Área de impresión**

**Formato de control de la impresora**

Datos de la máquina impresora							
Hora	Número de colores	Características del molde	Disposición de los rodillos	Velocidad de los rodillos (RPM)	Tensión de los rodillos (N/m <sup>2</sup> )	Flujo de aire (Kg/h)	Temperatura del calentador (°C)

Continuación del apéndice 1.

**Formato de control del área de impresión**

Datos del área de impresión							
Hora	Ancho de la bobina (plg)	Resistencia	Calibre entre caras (0.001 plg)	Bloqueo de la bobina	Apariencia	Estado de tratamiento corona (dina/cm)	Observaciones (reportar cualquier imperfección)

Fuente: elaboración propia.



## Apéndice 2. **Muestra de cálculo del estudio de capacidad de proceso**

A continuación se describen todas las ecuaciones y lógica matemática estadística utilizada para determinar los resultados expuestos en el estudio de capacidad.

### Determinación del tiempo entre cada muestra

Se utilizó la tabla de números aleatorios para establecer el tiempo que se esperó entre cada muestra, en los anexos se muestra la tabla en la cual están subrayados los números de inicio y finalización, que determinan el tiempo.

Para lo anterior se utilizó,

$$\frac{2(T*60)}{N} = R \quad [\text{Ecuación 28}]$$

Donde

T = tiempo en que se realizará la toma de datos en horas [h]

N = número de muestras que se tomará = 45 muestras por equipo

R = número máximo que se esperara entre cada muestra, (todo número menor a R se considera como un dato de tiempo de espera).

Para este caso,

$$R = \frac{2(6 * 60)}{45} = 16 \text{ min}$$

## Determinación de los datos

Mediante el uso de un calibrador se determina el calibre de las películas en el área de extrusión y por medio de una balanza se establece el peso de los fardos en el área de corte.

## Determinar el peso metro ideal y el real

Para determinar el peso – metro ideal se utiliza el calibre calculado a partir de la formulación de la mezcla de resinas y para determinar el peso – metro real se utilizo el calibre obtenido en cada muestra.

Para realizar lo anterior se utilizó la ecuación

$$\text{peso teórico} = \frac{39,37 * \text{ancho de bobina} * \text{Espesor o Calibre}}{30 * 2,2046} \quad [\text{Ecuación No.17}]$$

Determinar el límite superior y el límite inferior específicos

$$\text{LSE} = P + 0,05 P \quad [\text{Ecuación 29}]$$

$$\text{LIE} = P - 0,05 P \quad [\text{Ecuación 30}]$$

Donde

LSE = límite superior específico

LIE = límite inferior específico

P = peso – metro ideal [g/m]

El 0,05 representa el 5% de variación permisible en el peso – metro..

Establecer la media aritmética de los datos

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \text{ [Ecuación 31]}$$

Donde

$\bar{X}$  = media aritmética en relación al peso - metro

$X_i$  = peso- metro de cada muestra

N = número de muestras

Establecer la desviación estándar de los datos

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \text{ [Ecuación 32]}$$

Donde

$\sigma$  = desviación estándar

$\bar{X}$  = media aritmética en relación al peso - metro

$X_i$  = peso- metro de cada muestra

N = número de muestras

Determinar los límites superior e inferior de control

$$LIC = \bar{x} - 3,09\sigma \text{ [Ecuación 33]}$$

$$LSC = \bar{x} + 3,09\sigma \text{ [Ecuación 34]}$$

Donde

LSE = límite superior específico

LIE = límite inferior específico

X = media aritmética

El 3,09 se toma constante como las colas presentes en la campana de Gauss en el histograma de frecuencias.

Cálculo del Cp y del Cpk

Para determinar los valores cuantitativos de los coeficientes de capacidad de proceso Cp y Cpk se utilizan las ecuaciones

$$Cp = \frac{LSE-LIE}{6*\sigma} \quad [\text{Ecuación 35}]$$

$$Cpk = \frac{\Delta}{3*\sigma} \quad [\text{Ecuación 36}]$$

$\Delta$  = es el mínimo del valor absoluto entre (LSE-X) y (LSI-X)

Histograma de frecuencias, campanas de Gauss y gráficas de resultados

Para obtener las graficas presentadas en la sección de resultados se utilizan el programa de Microsoft Excel.

### Apéndice 3. Datos obtenidos y calculados

#### Datos obtenidos y calculados del extrusor 1

No. De muestra	Tiempo entre muestra (min)	Calibre: 2.1	peso metro	peso ideal	Límite inferior específico	Límite superior específico	Media	(x-x) <sup>2</sup>	Desviación	LIC	LSC	Cp	Cpk
1	12	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63	45,43	0,81	2,24	38,50	52,35	0,31626528	0,11885849
2	13	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
3	9	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
4	8	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
5	2	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
6	7	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		8,55		38,50	52,35		
7	2	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
8	1	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
9	2	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		9,91		38,50	52,35		
10	7	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
11	12	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
12	1	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		9,91		38,50	52,35		
13	0	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		9,91		38,50	52,35		
14	3	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		9,91		38,50	52,35		
15	4	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
16	11	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
17	16	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
18	12	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
19	8	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
20	7	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		9,91		38,50	52,35		
21	0	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		9,91		38,50	52,35		
22	7	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
23	7	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
24	10	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		8,55		38,50	52,35		
25	5	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		9,91		38,50	52,35		
26	9	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
27	6	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
28	11	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
29	14	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		9,91		38,50	52,35		
30	10	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		8,55		38,50	52,35		
31	8	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		8,55		38,50	52,35		
32	5	2	40,48	42,50	40,38	44,63		24,48		38,50	52,35		
33	4	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		8,55		38,50	52,35		
34	9	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
35	7	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
36	16	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
37	1	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
38	13	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		8,55		38,50	52,35		
39	14	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
40	7	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
41	9	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		9,91		38,50	52,35		
42	2	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		8,55		38,50	52,35		
43	15	2	40,48	42,50	40,38	44,63		24,48		38,50	52,35		
44	10	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		0,81		38,50	52,35		
45	6	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		1,26		38,50	52,35		
								225,75					

Continuación del apéndice 3.

### Datos obtenidos y calculados del extrusor 2

No. De muestra	Tiempo entre muestra (min)	Calibre: 2.1	peso metro	peso ideal	Límite inferior específico	Límite superior específico	Media	(x-x) <sup>2</sup>	Desviación	LIC	LSC	Cp	Cpk
1	12	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63	43,04	0,29	2,61	34,98	51,11	0,27147104	0,20252601
2	13	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
3	9	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
4	8	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
5	2	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		12,31		34,98	51,11		
6	7	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
7	2	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
8	1	1,9	38,45	42,50	40,38	44,63		21,05		34,98	51,11		
9	2	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		12,31		34,98	51,11		
10	7	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
11	12	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
12	1	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		2,20		34,98	51,11		
13	0	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		2,20		34,98	51,11		
14	3	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
15	4	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
16	11	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		30,60		34,98	51,11		
17	16	1,9	38,45	42,50	40,38	44,63		21,05		34,98	51,11		
18	12	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
19	8	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		2,20		34,98	51,11		
20	7	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
21	0	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
22	7	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		12,31		34,98	51,11		
23	7	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
24	10	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		12,31		34,98	51,11		
25	5	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		2,20		34,98	51,11		
26	9	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
27	6	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
28	11	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
29	14	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		2,20		34,98	51,11		
30	10	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		2,20		34,98	51,11		
31	8	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		2,20		34,98	51,11		
32	5	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		12,31		34,98	51,11		
33	4	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		12,31		34,98	51,11		
34	9	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
35	7	1,9	38,45	42,50	40,38	44,63		21,05		34,98	51,11		
36	16	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
37	1	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
38	13	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
39	14	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
40	7	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,29		34,98	51,11		
41	9	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		2,20		34,98	51,11		
42	2	2,4	48,57	42,50	40,38	44,63		30,60		34,98	51,11		
43	15	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		12,31		34,98	51,11		
44	10	2	40,48	42,50	40,38	44,63		6,57		34,98	51,11		
45	6	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		2,20		34,98	51,11		
								306,4					

Continuación del apéndice 3.

### Datos obtenidos y calculados del extrusor 3

No. De muestra	Tiempo entre muestra (min)	Calibre: 2.1	peso metro	peso ideal	Límite inferior específico	Límite superior específico	Media	(x-x) <sup>2</sup>	Desviación	LIC	LSC	Cp	Cpk
1	12	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63	42,77	3,08	2,03	36,50	49,04	0,34922481	0,3048788
2	13	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		14,27		36,50	49,04		
3	9	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
4	8	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
5	2	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
6	7	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
7	2	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
8	1	2	40,48	42,50	40,38	44,63		5,26		36,50	49,04		
9	2	1,9	38,45	42,50	40,38	44,63		18,64		36,50	49,04		
10	7	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
11	12	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		14,27		36,50	49,04		
12	1	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
13	0	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
14	3	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		14,27		36,50	49,04		
15	4	2,3	46,55	42,50	40,38	44,63		14,27		36,50	49,04		
16	11	2	40,48	42,50	40,38	44,63		5,26		36,50	49,04		
17	16	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
18	12	2	40,48	42,50	40,38	44,63		5,26		36,50	49,04		
19	8	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
20	7	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
21	0	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
22	7	2	40,48	42,50	40,38	44,63		5,26		36,50	49,04		
23	7	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
24	10	2	40,48	42,50	40,38	44,63		5,26		36,50	49,04		
25	5	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
26	9	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
27	6	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
28	11	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
29	14	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
30	10	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
31	8	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
32	5	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
33	4	2,2	44,53	42,50	40,38	44,63		3,08		36,50	49,04		
34	9	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
35	7	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
36	16	2	40,48	42,50	40,38	44,63		5,26		36,50	49,04		
37	1	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
38	13	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
39	14	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
40	7	2	40,48	42,50	40,38	44,63		5,26		36,50	49,04		
41	9	2	40,48	42,50	40,38	44,63		5,26		36,50	49,04		
42	2	2	40,48	42,50	40,38	44,63		5,26		36,50	49,04		
43	15	1,9	38,45	42,50	40,38	44,63		18,64		36,50	49,04		
44	10	2	40,48	42,50	40,38	44,63		5,26		36,50	49,04		
45	6	2,1	42,50	42,50	40,38	44,63		0,07		36,50	49,04		
								185,15					

Continuación del apéndice 3.

**Datos obtenidos y calculados de la cortadora 1**

No. Fardo	Peso fardo (lb)	Peso real fardo (lb)	Límite inferior específico	Límite superior específico	Media (x)	Desviación estándar	desviación	Límite inferior de control	Límite superior de control	Cp	Cpk
1	39	40,4	38,38	42,42	40,477778	2,18382716	0,90034287	37,77674917	43,17880639	0,74786324	0,77665885
2	39,5	40,4	38,38	42,42		0,956049383		37,77674917	43,17880639		
3	39,5	40,4	38,38	42,42		0,956049383		37,77674917	43,17880639		
4	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
5	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
6	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
7	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
8	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
9	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
10	40,5	40,4	38,38	42,42		0,000493827		37,77674917	43,17880639		
11	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
12	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
13	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
14	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
15	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
16	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
17	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
18	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
19	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
20	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
21	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
22	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
23	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
24	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
25	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
26	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
27	39	40,4	38,38	42,42		2,18382716		37,77674917	43,17880639		
28	38	40,4	38,38	42,42		6,139382716		37,77674917	43,17880639		
29	39	40,4	38,38	42,42		2,18382716		37,77674917	43,17880639		
30	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
31	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
32	42	40,4	38,38	42,42		2,317160494		37,77674917	43,17880639		
33	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
34	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
35	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
36	42	40,4	38,38	42,42		2,317160494		37,77674917	43,17880639		
37	42	40,4	38,38	42,42		2,317160494		37,77674917	43,17880639		
38	42	40,4	38,38	42,42		2,317160494		37,77674917	43,17880639		
39	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
40	41	40,4	38,38	42,42		0,272716049		37,77674917	43,17880639		
41	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
42	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
43	40	40,4	38,38	42,42		0,228271605		37,77674917	43,17880639		
44	42	40,4	38,38	42,42		2,317160494		37,77674917	43,17880639		
45	42	40,4	38,38	42,42		2,317160494		37,77674917	43,17880639		

Continuación del apéndice 3.

### Datos obtenidos y calculados de la cortadora 2

No. Fardo	Peso fardo (lb)	Peso real fardo (lb)	Límite inferior específico	Límite superior específico	Media (x)	Desviación estándar	desviación	Límite inferior de control	Límite superior de control	Cp	Cpk
1	42	40,4	38,38	42,42	39,5333333	6,08444444	1,08730043	36,27143205	42,79523462	0,61927073	0,35357702
2	41	40,4	38,38	42,42		2,15111111		36,27143205	42,79523462		
3	41	40,4	38,38	42,42		2,15111111		36,27143205	42,79523462		
4	42	40,4	38,38	42,42		6,08444444		36,27143205	42,79523462		
5	42	40,4	38,38	42,42		6,08444444		36,27143205	42,79523462		
6	42	40,4	38,38	42,42		6,08444444		36,27143205	42,79523462		
7	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
8	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
9	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
10	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
11	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
12	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
13	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
14	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
15	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
16	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
17	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
18	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
19	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
20	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
21	38	40,4	38,38	42,42		2,35111111		36,27143205	42,79523462		
22	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
23	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
24	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
25	38	40,4	38,38	42,42		2,35111111		36,27143205	42,79523462		
26	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
27	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
28	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
29	38	40,4	38,38	42,42		2,35111111		36,27143205	42,79523462		
30	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
31	38	40,4	38,38	42,42		2,35111111		36,27143205	42,79523462		
32	38	40,4	38,38	42,42		2,35111111		36,27143205	42,79523462		
33	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
34	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
35	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
36	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
37	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
38	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
39	40	40,4	38,38	42,42		0,21777778		36,27143205	42,79523462		
40	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
41	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
42	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		
43	38	40,4	38,38	42,42		2,35111111		36,27143205	42,79523462		
44	38	40,4	38,38	42,42		2,35111111		36,27143205	42,79523462		
45	39	40,4	38,38	42,42		0,28444444		36,27143205	42,79523462		

Continuación del apéndice 3.

### Datos obtenidos y calculados de la cortadora 3

No. Fardo	Peso fardo (lb)	Peso real fardo (lb)	Límite inferior específico	Límite superior específico	Media (x)	Desviación estándar	desviación	Límite inferior de control	Límite superior de control	Cp	Cpk
1	39,5	40,4	38,38	42,42	39,81111111	0,096790123	0,76222546	37,52443473	42,0977875	0,88337817	0,62584768
2	41	40,4	38,38	42,42		1,41345679		37,52443473	42,0977875		
3	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
4	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
5	39,5	40,4	38,38	42,42		0,096790123		37,52443473	42,0977875		
6	39,5	40,4	38,38	42,42		0,096790123		37,52443473	42,0977875		
7	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
8	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
9	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
10	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
11	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
12	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
13	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
14	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
15	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
16	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
17	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
18	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
19	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
20	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
21	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
22	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
23	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
24	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
25	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
26	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
27	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
28	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
29	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
30	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
31	41	40,4	38,38	42,42		1,41345679		37,52443473	42,0977875		
32	41	40,4	38,38	42,42		1,41345679		37,52443473	42,0977875		
33	42	40,4	38,38	42,42		4,791234568		37,52443473	42,0977875		
34	41	40,4	38,38	42,42		1,41345679		37,52443473	42,0977875		
35	41	40,4	38,38	42,42		1,41345679		37,52443473	42,0977875		
36	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
37	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
38	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
39	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
40	39	40,4	38,38	42,42		0,657901235		37,52443473	42,0977875		
41	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
42	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
43	40	40,4	38,38	42,42		0,035679012		37,52443473	42,0977875		
44	41	40,4	38,38	42,42		1,41345679		37,52443473	42,0977875		
45	41	40,4	38,38	42,42		1,41345679		37,52443473	42,0977875		

Continuación del apéndice 3.

### Datos obtenidos y calculados de la cortadora 4

No. Fardo	Peso fardo (lb)	Peso real fardo (lb)	Límite inferior específico	Límite superior específico	Media (x)	Desviación estándar	desviación	Límite inferior de control	Límite superior de control	Cp	Cpk
1	39	40,4	38,38	42,42	40,08888889	1,185679012	1,51763298	35,53598993	44,64178784	0,44367337	0,37534083
2	38	40,4	38,38	42,42		4,36345679		35,53598993	44,64178784		
3	38	40,4	38,38	42,42		4,36345679		35,53598993	44,64178784		
4	38	40,4	38,38	42,42		4,36345679		35,53598993	44,64178784		
5	37	40,4	38,38	42,42		9,541234568		35,53598993	44,64178784		
6	37	40,4	38,38	42,42		9,541234568		35,53598993	44,64178784		
7	37	40,4	38,38	42,42		9,541234568		35,53598993	44,64178784		
8	38	40,4	38,38	42,42		4,36345679		35,53598993	44,64178784		
9	38	40,4	38,38	42,42		4,36345679		35,53598993	44,64178784		
10	38	40,4	38,38	42,42		4,36345679		35,53598993	44,64178784		
11	39	40,4	38,38	42,42		1,185679012		35,53598993	44,64178784		
12	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
13	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
14	39	40,4	38,38	42,42		1,185679012		35,53598993	44,64178784		
15	39	40,4	38,38	42,42		1,185679012		35,53598993	44,64178784		
16	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
17	41	40,4	38,38	42,42		0,830123457		35,53598993	44,64178784		
18	41	40,4	38,38	42,42		0,830123457		35,53598993	44,64178784		
19	42	40,4	38,38	42,42		3,652345679		35,53598993	44,64178784		
20	42	40,4	38,38	42,42		3,652345679		35,53598993	44,64178784		
21	41	40,4	38,38	42,42		0,830123457		35,53598993	44,64178784		
22	41	40,4	38,38	42,42		0,830123457		35,53598993	44,64178784		
23	41	40,4	38,38	42,42		0,830123457		35,53598993	44,64178784		
24	42	40,4	38,38	42,42		3,652345679		35,53598993	44,64178784		
25	42	40,4	38,38	42,42		3,652345679		35,53598993	44,64178784		
26	42	40,4	38,38	42,42		3,652345679		35,53598993	44,64178784		
27	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
28	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
29	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
30	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
31	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
32	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
33	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
34	41	40,4	38,38	42,42		0,830123457		35,53598993	44,64178784		
35	41	40,4	38,38	42,42		0,830123457		35,53598993	44,64178784		
36	42	40,4	38,38	42,42		3,652345679		35,53598993	44,64178784		
37	42	40,4	38,38	42,42		3,652345679		35,53598993	44,64178784		
38	42	40,4	38,38	42,42		3,652345679		35,53598993	44,64178784		
39	41	40,4	38,38	42,42		0,830123457		35,53598993	44,64178784		
40	41	40,4	38,38	42,42		0,830123457		35,53598993	44,64178784		
41	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
42	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
43	40	40,4	38,38	42,42		0,007901235		35,53598993	44,64178784		
44	42	40,4	38,38	42,42		3,652345679		35,53598993	44,64178784		
45	42	40,4	38,38	42,42		3,652345679		35,53598993	44,64178784		

Continuación del apéndice 3.

### Datos variables del comportamiento real de la burbuja

Z (pulgadas)	Lay Flat (pulgadas)	Db (pulgadas)	BUR	ef (0.001 pulgadas)	DDR	Relación ei/ef	Peso metro	Vd (m/s)	Vh (rpm)
15,00	35,00	22,30	4,05	2,20	3,35	13,64	44,53	0,42	266,97
15,00	35,00	22,30	4,05	2,30	3,20	13,04	46,55	0,41	244,26
16,00	35,00	22,30	4,05	2,30	3,20	13,04	46,55	0,41	244,26
16,00	35,50	22,61	4,11	2,30	3,16	13,04	46,55	0,41	240,82
15,50	35,50	22,61	4,11	2,20	3,30	13,64	44,53	0,42	263,21
16,00	35,50	22,61	4,11	2,10	3,46	14,29	42,50	0,44	288,88
15,50	35,50	22,61	4,11	2,30	3,16	13,04	46,55	0,41	240,82
16,00	35,60	22,68	4,12	2,20	3,29	13,64	44,53	0,42	262,47
16,00	35,60	22,68	4,12	2,40	3,02	12,50	48,57	0,39	220,55
15,50	35,60	22,68	4,12	2,30	3,15	13,04	46,55	0,41	240,15
15,00	35,70	22,74	4,13	2,30	3,14	13,04	46,55	0,41	239,47
15,00	35,70	22,74	4,13	2,40	3,01	12,50	48,57	0,39	219,93
15,00	35,70	22,74	4,13	2,40	3,01	12,50	48,57	0,39	219,93
15,50	36,00	22,93	4,17	2,40	2,98	12,50	48,57	0,39	218,10
15,50	36,00	22,93	4,17	2,20	3,25	13,64	44,53	0,42	259,56
15,50	36,00	22,93	4,17	2,20	3,25	13,64	44,53	0,42	259,56
15,00	36,00	22,93	4,17	2,20	3,25	13,64	44,53	0,42	259,56
15,00	36,00	22,93	4,17	2,20	3,25	13,64	44,53	0,42	259,56
15,50	36,00	22,93	4,17	2,30	3,11	13,04	46,55	0,41	237,48
16,00	36,50	23,25	4,23	2,40	2,94	12,50	48,57	0,39	215,11
16,00	36,50	23,25	4,23	2,40	2,94	12,50	48,57	0,39	215,11
16,00	36,50	23,25	4,23	2,30	3,07	13,04	46,55	0,41	234,22
16,00	37,00	23,57	4,29	2,20	3,17	13,64	44,53	0,42	252,54
15,50	36,50	23,25	4,23	2,10	3,36	14,29	42,50	0,44	280,96
15,50	36,50	23,25	4,23	2,40	2,94	12,50	48,57	0,39	215,11
14,50	36,50	23,25	4,23	2,20	3,21	13,64	44,53	0,42	256,00
14,50	36,00	22,93	4,17	2,20	3,25	13,64	44,53	0,42	259,56
14,50	36,00	22,93	4,17	2,30	3,11	13,04	46,55	0,41	237,48
14,50	36,00	22,93	4,17	2,40	2,98	12,50	48,57	0,39	218,10
15,00	36,00	22,93	4,17	2,10	3,41	14,29	42,50	0,44	284,86
15,00	36,00	22,93	4,17	2,10	3,41	14,29	42,50	0,44	284,86
15,00	36,00	22,93	4,17	2,00	3,58	15,00	40,48	0,47	314,06
15,00	35,70	22,74	4,13	2,10	3,44	14,29	42,50	0,44	287,26
15,50	35,70	22,74	4,13	2,20	3,28	13,64	44,53	0,42	261,74
15,50	35,70	22,74	4,13	2,30	3,14	13,04	46,55	0,41	239,47
15,50	35,40	22,55	4,10	2,30	3,16	13,04	46,55	0,41	241,50
16,00	35,30	22,49	4,09	2,20	3,32	13,64	44,53	0,42	264,70
16,00	35,30	22,49	4,09	2,10	3,48	14,29	42,50	0,44	290,51
16,50	35,30	22,49	4,09	2,20	3,32	13,64	44,53	0,42	264,70
17,00	35,50	22,61	4,11	2,30	3,16	13,04	46,55	0,41	240,82
16,50	35,50	22,61	4,11	2,40	3,02	12,50	48,57	0,39	221,17
16,00	35,50	22,61	4,11	2,10	3,46	14,29	42,50	0,44	288,88
16,00	35,20	22,42	4,08	2,00	3,66	15,00	40,48	0,47	321,20
15,50	35,10	22,36	4,07	2,20	3,34	13,64	44,53	0,42	266,21
15,00	35,00	22,30	4,05	2,30	3,20	13,04	46,55	0,41	244,26
15,50	35,76	22,78	4,14	2,24	3,22	13,40	45,43	0,42	253,02

Continuación del apéndice 3.

### Modelos y datos obtenidos del comportamiento real de la burbuja

Z (pulgadas)	Lay Flat (pulgadas)	Db (pulgadas)	BUR	ef (0.001 pulgadas)	DDR	Relación ei/ef	Peso metro	Vd (m/s)	Vh (rpm)
15,50	35,76	22,78	4,14	2,24	3,22	13,40	45,43	0,42	253,02
Modelos plateados		BUR = 0,1818 Db			Lay Flat (ancho de bobina) = 0,8203 (Db)(ef) <sup>0,9154</sup>				
Índice de correlación R <sup>2</sup>		1			0,9387				

### Datos fijos del comportamiento real de la burbuja

Datos constantes a lo largo del proceso	
ME (Kg/h)	68,06
Dd (pulgadas)	5,50
Ho (pulgadas)	0,03

### Datos a partir de la media de los valores variables

Datos obtenidos a partir de la media de los valores medurables		
Parametros adimensionales	X	5,64
	B	0,06
	TZ	1,08
Sobrepresión interna (Pascuales)	$\Delta P$	18,09
Fuerza de tensión axial (N)	Fz	5,16
Velocidad específica de enfriamiento (Kg/cm h)	VE	1,55
Necesidad de sistema interno de enfriamiento	IBC	No es necesario

Fuente: datos obtenidos y calculados por el software Microsoft Excell 2007.



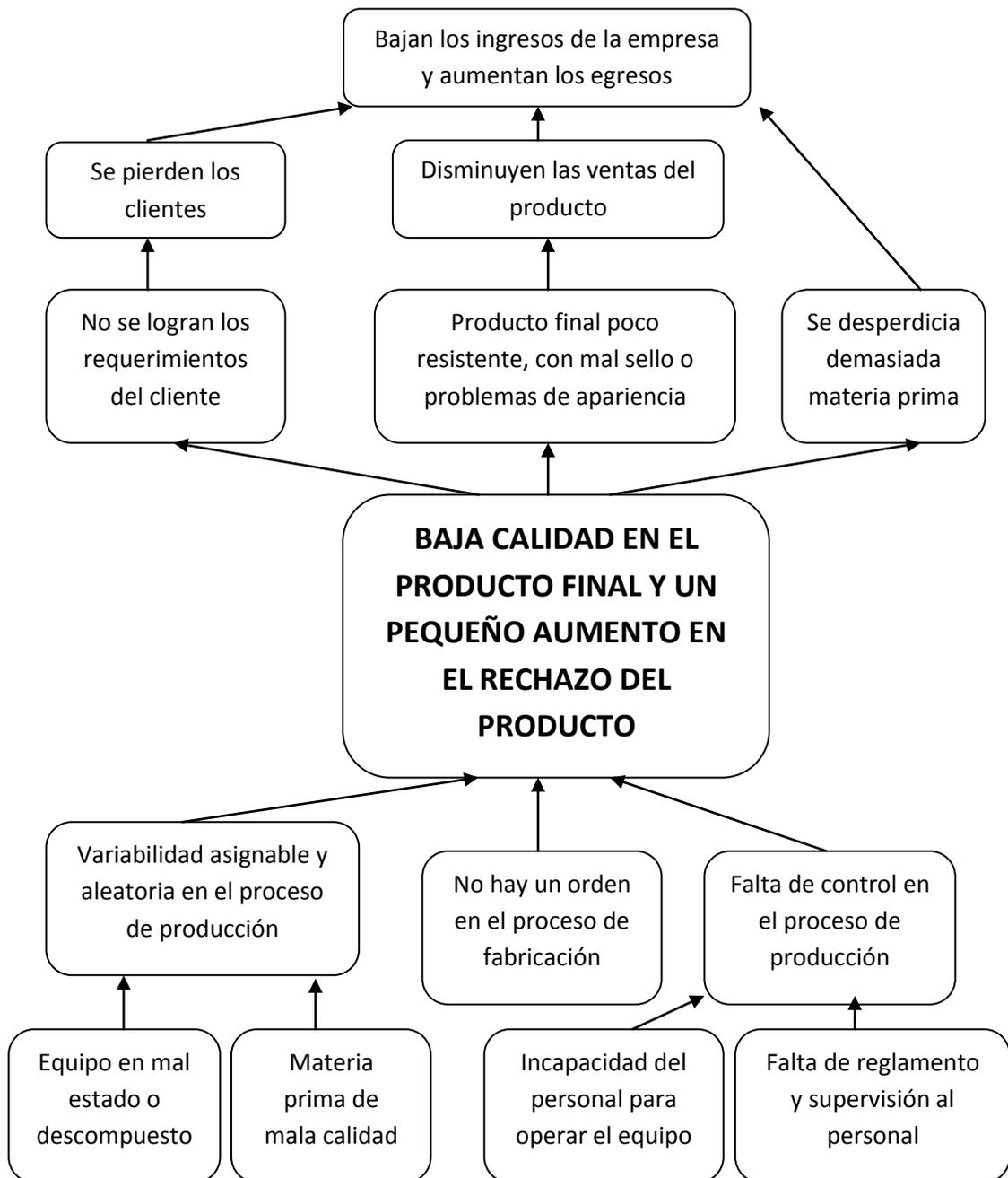
Apéndice 4. **Tabla de requisitos académicos**

<b>Área de Estudio</b>	<b>Cursos</b>	<b>Temas Particulares</b>
Área de Química	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Química 3</li> <li>• Química 4</li> <li>• Análisis Cuantitativo</li> <li>• Química orgánica 1</li> <li>• Química orgánica 2</li> </ul>	Nomenclatura química Propiedades de la materia Mezclas Estequiometría Disoluciones Métodos analíticos Compuestos orgánicos Polímeros
Área de Operaciones Unitarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balance de Masa y Energía</li> <li>• Flujo de fluidos</li> <li>• Transferencia de calor</li> <li>• Transferencia de masa</li> <li>• Transferencia de masa en unidades continuas</li> </ul>	Balance de masa y energía en los equipos de producción. Perdidas de energía por calor Transferencia de calor por conducción, convección y radiación Transferencia de masa
Área de Operaciones complementarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operaciones unitarias complementarias</li> <li>• Procesos Químico Industriales</li> </ul>	Manejo de sólidos Transporte de sólidos Mezcladores Proceso Estudio de capacidad Sistemas de calidad
Área de Físicoquímica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Físicoquímica</li> </ul>	Propiedades fisicoquímicas
Área de ciencias básicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matemática</li> <li>• Estadística</li> </ul>	Desviación lineal Medidas de tendencia central

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 5. Diagrama de Ishikawa “árbol de problemas”



Fuente: elaboración propia.



## **ANEXO**



## Anexo 1. Tabla de números aleatorios

60187	61616	01429	07970	05517	52925	24104	78607	54766	81929	64989	70598
92235	65438	43635	33491	76225	22874	32949	53458	33228	45994	68244	39277
12179	71549	35520	18410	09560	49352	18799	62691	64569	63562	67390	83020
96758	03754	49321	87936	05413	46398	59110	89617	45552	09502	08042	64503
81941	00413	92880	14720	15730	62752	49866	59884	96847	00547	51754	71767
35083	25609	52866	05053	40544	02404	82240	24555	18246	99256	35920	54700
39795	55189	63958	00523	68412	40072	22616	88596	25564	80705	60824	26050
04684	48679	83415	37955	65891	01837	83777	80313	00016	44514	36851	82946
95281	22927	92719	81129	38087	75798	34156	26179	64881	64855	04107	77566
61761	72165	93396	24129	57458	02172	99906	48923	58897	10583	55176	42035
89158	23935	85897	17489	96832	74511	10503	38772	75055	60701	49418	22027
87659	49248	75616	55824	70556	60477	49051	95471	54228	45660	34622	53346
61290	29451	81591	71628	69040	24177	00937	14660	43365	81714	26704	07688
22969	39863	79240	69571	06134	07533	11463	67761	19585	32654	46391	25845
88341	53728	54030	57746	38350	59710	07233	02859	18183	29955	37665	51931
76125	84080	57750	44663	65413	52483	16579	28744	59485	29756	10142	65481
57259	72786	58410	09819	21147	35495	36026	04003	53607	73773	59021	21844
78566	78103	72208	95789	90762	58178	98995	29343	25884	64372	91624	00007
98613	40645	38460	72468	57198	12609	59809	56698	64823	42148	33746	65625
24818	22024	90561	66690	10909	24874	00407	39525	45822	06386	39067	91438
16756	20883	99623	18549	48874	79505	07836	64706	86492	43209	66736	02764
58026	16213	45300	99666	30045	33612	71236	32466	14378	77303	53584	82449
92318	78135	77401	05432	80591	01808	06575	19772	18409	62345	48777	52879
79913	64612	46873	29419	94288	43852	96845	07705	56612	49021	59375	54988
47849	82163	92766	91118	43332	00205	73493	31010	64403	60476	71086	11561
65684	90076	46499	99961	04640	65348	62136	60955	20674	37175	12953	96211
85182	02165	00222	79531	88275	32814	05581	57854	07131	98399	27174	34986
93372	81526	44197	77082	39869	27952	63894	62859	07997	02961	70235	33056
69281	06032	02737	31736	33836	03687	16198	33692	08045	81293	55733	22027
05182	73514	43106	08667	06729	58118	52900	85188	47180	91082	06920	67812
33036	62571	36110	24001	54241	04768	77200	26255	01273	91475	07766	54361
54274	46169	71217	95137	10393	81874	95444	03204	25117	44843	51911	28472
64770	80383	57006	16244	07391	18143	32847	65513	77654	36712	12892	35158
88963	89783	95292	58789	28952	25140	79045	74550	88692	88266	43953	78395
66496	15950	48691	87224	02908	36236	26872	28073	94726	00038	69420	73307
92684	52059	10623	90081	24393	97230	75743	88153	65886	66036	82653	71506
27802	21872	12534	50258	54590	11102	13500	24100	31779	84086	50011	62043
65323	09748	84002	47292	03963	44708	36373	28247	38510	04319	42977	29398
16068	46960	93170	14690	48202	16681	02606	52528	21671	90897	27346	00489
12277	52468	37647	95714	56936	58653	27709	57958	51261	11305	69391	21469
33591	95745	52924	24746	85429	12795	49179	34693	23400	64321	66840	28311
97913	92870	94060	54543	13067	08226	03552	31939	30547	76205	92949	34667
28460	07667	82973	50836	80117	89671	94457	53871	30010	95490	53393	51668
77765	80720	19097	23378	85256	47852	86389	42395	64323	00360	28498	75145
56455	09554	41277	94829	32407	83852	45307	33502	43459	93587	65021	51088
09340	81273	50194	49264	84016	77208	94425	82524	89131	45144	04900	22490
43427	44132	40201	71909	81544	95475	38893	94075	06065	84857	34524	67346
81452	15910	27522	66755	31080	45973	96723	26980	91803	11635	81915	02134
42060	31261	47032	52807	17822	88687	89641	69164	23536	74493	57168	09503
64625	25286	92781	54268	37993	35873	20539	79859	51385	09655	87352	66894

Fuente: <<http://aportacionesalconocimiento.blogspot.com/2011/01/tabla-de-numeros-aleatorios.html>>. [Consulta: julio de 2011].