



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

OPTIMIZACIÓN DE UN PROCESO
DE COEXTRUSIÓN PARA PRODUCIR PELÍCULA PLANA
DE POLIETILENO - POLIETILENO

POLÍMEROS
(COEXTRUSIÓN DE PELÍCULAS EN TRES CAPAS)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

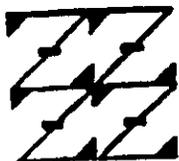
INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A

MARIO ALBERTO GARCÍA SOLORJO

DIRECTOR DE TESIS

ALEJANDRO ROGEL RAMÍREZ



LO HUMANO
ES
DE NUESTRA REFLEXIÓN

MÉXICO, D.F. A 2000.

278625



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



VIZCENAL NACIONAL
AZIENMATE
MEXICO

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/006/99

ASUNTO: Asignación de Jurado

C. MARIO ALBERTO GARCÍA SOLORIO

Presente

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

Presidente: *I.Q. Eduardo Loyo Arnaud*
Vocal: *I.Q. Alejandro Rogel Ramírez*
Secretario: *Q. Francisco Silva Flores*
Suplente: *Q. José Nuñez Flores*
Suplente: *M. en I. Néstor Noé López Castillo*

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F., 25 de Enero de 1999

EL JEFE DE LA CARRERA

[Firma manuscrita]
I.Q. ARTURO E. MÉNDEZ GUTIÉRREZ

Irm

A MI HIJO:

JESUS ANTONIO

POR SER PUNTA DE LANZA EN SUEÑO

NUNCA RENUNCIES A LO QUE
EN REALIDAD QUIERES HACER.
LA PERSONA QUE TIENE
GRANDES SUEÑOS ES MÁS
PODEROSA QUE LA QUE
TIENE TODOS LOS HECHOS

A MI ESPOSA:

GRISELDA MERCEDES

POR SU AMOR Y CARIÑO.

JUZGA SIEMPRE EL ÉXITO
CONFORME A LO
QUE TUVIMOS QUE
RENUNCIAR PARA
ALCANZARLO.

A MIS PADRES:

MARIO ALBERTO

MARIA DE LOS ANGELES

A MIS ABUELOS:

LUCIANO

ESTHER

SALVADOR

EVANGELINA

POR CREER EN MÍ,
POR ESTAR SIEMPRE CONMIGO,
POR SU CULTURA,
POR ORGULLO
Y POR TODO CON TODO EL CORAZON,
GRACIAS.

A MIS HERMANOS:

MARIA GUADALUPE

VERONICA SUSANA

IVAN LUCIANO

JESUS ENRIQUE

CESAR ABEL

EL COMPARTIR LOS EXITOS, FRACASOS, SU APOYO Y TIEMPO
SOLO DA COMO RESULTADO ESTO:

GRACIAS.

A MI FACULTAD

A MIS PROFESORES

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

POR COMPARTIR ENSEÑANZAS Y EXPERIENCIAS QUE
PARA SIEMPRE SERAN BASE FIRME DE MI PERSONA.

GRACIAS.

CONTENIDO

RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	ii
JUSTIFICACIÓN	iii
OBJETIVOS	iv
ABREVIATURAS	v
1. GENERALIDADES	2
1.1 INTRODUCCIÓN A LA EXTRUSIÓN	2
1.2 DEFINICIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN	3
1.3 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS	3
1.3.1 PELÍCULA TUBULAR	4
1.3.2 PELÍCULA PLANA	5
1.3.2.1 IMPRESIÓN DE LA PELÍCULA	5
1.3.2.2 TRATAMIENTO CON FLAMA	5
1.3.2.3 TRATAMIENTO ELÉCTRICO DE ALTA TENSIÓN ..	6
1.3.3 LAMINACIÓN	6
1.3.4 MOLDEO POR SOPLADO	7
1.3.5 RECUBRIMIENTO DE CABLE Y ALAMBRE	8
1.3.6 FABRICACIÓN DE TUBERÍA	9
1.3.7 MOLDEO POR INYECCIÓN	10
1.3.8 MOLDEO POR ROTACIÓN	11
1.4 ESPECIFICACIONES Y NORMALIZACIÓN	12
1.5 GUÍA PARA SELECCIONAR UN EQUIPO DE EXTRUSIÓN	13
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	17
2.1 TORNILLOS Y CILINDROS	17
2.1.1 DISEÑO DE TORNILLOS ESPECIALES	19
2.2 EL CABEZAL	21
2.2.1 PORTAMALLAS	21
2.2.2 MALLAS	21
2.2.3 CAMBIADOR DE MALLAS	22
2.2.4 ABRAZADERAS	22
2.2.5 MEDICIÓN DE TEMPERATURAS	22
2.2.6 MEDICIÓN DE PRESIÓN	23
2.2.7 ADAPTADOR	23
2.2.8 VÁLVULA	23
2.2.9 MEZCLADOR ESTÁTICO	23
2.2.10 MEZCLADOR DINÁMICO	24
2.2.11 CABEZALES DE COEXTRUSION	24
2.3 BOQUILLAS DE EXTRUSIÓN	24
2.4 FUNCIONAMIENTO DE LAS ZONAS DEL CILINDRO	28
2.5 CALENTAMIENTO, ENFRIAMIENTO Y ENERGÍA	31
2.6 AJUSTE DE CODICIONES	33
2.7 CONTROL DE PROCESO	35

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	37
3.1 CONSIDERACIONES REÓLOGICAS	37
3.1.1 VARIACIÓN DEL ESPESOR EN CAPAS	42
3.1.2 INESTABILIDAD INTERFACIAL ELÁSTICAS	44
3.2 ESPECIFICACIONES GENERALES DE DISEÑO	47
3.3 DIAGRAMA DE FLUJO EXPERIMENTAL	49
3.3.1 PELÍCULA NATURAL DE POLIETILENO A 37.5 MICRAS	49
3.3.2 PELÍCULA NATURAL DE POLIETILENO A 38.1 MICRAS CON 50% DE LINEAL EN EL EXTRUSOR A	50
3.3.3 PELÍCULA PIGMENTADA DE POLIETILENO A 25.5 MICRAS	51
3.3.4 PELÍCULA NATURAL DE POLIPROPILENO A 38.1 MICRAS	52
3.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN	53
3.4.1 HOJA DE CHEQUEO PRUEBA 1 A. PELÍCULA DE POLIETILENO A 37.5 MICRAS	53
3.4.2 HOJA DE CHEQUEO PRUEBA 2 A. PELÍCULA DE POLIETILENO A 37.5 MICRAS	54
3.4.3 HOJA DE CHEQUEO PRUEBA 1 B. PELÍCULA DE POLIETILENO A 38.1 MICRAS CON 50% DE LINEAL EN EL EXTRUSOR A	55
3.4.4 HOJA DE CHEQUEO PRUEBA 2 B. PELÍCULA DE POLIETILENO A 38.1 MICRAS CON 50% DE LINEAL EN EL EXTRUSOR A	56
3.4.5 HOJA DE CHEQUEO PRUEBA 1 C. PELÍCULA PIGMENTADA A 25.5 MICRAS	57
3.4.6 HOJA DE CHEQUEO PRUEBA 2 C. PELÍCULA PIGMENTADA A 25.5 MICRAS	58
3.4.7 HOJA DE CHEQUEO PRUEBA 1 D. PELÍCULA DE POLIPROPILENO A 38.1 MICRAS	59
3.4.8 HOJA DE CHEQUEO PRUEBA 1 D. PELÍCULA DE POLIPROPILENO A 38.1 MICRAS	60
3.5 ELABORACIÓN DE MEZCLAS	61
3.6 CARGA DE LAS HOJAS DE CHEQUEO PARA PRUEBAS	61
3.7 SECUENCIA EXPERIMENTAL	61
3.7.1 CALCULO DE FLUJO DE CAPA	62
3.8 DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO DE SUPERFICIE	70
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	72
4.1 RESULTADOS PRUEBA 1 A.	74
4.1.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 1 A.	78
4.2 RESULTADOS PRUEBA 2 A.	79
4.2.2 ANÁLISIS DE PRUEBA 2 A.	83
4.3 RESULTADOS PRUEBA 1 B.	84
4.3.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 1 B.	88

4.4 RESULTADOS PRUEBA 2 B	89
4.4.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 2 B	93
4.5 RESULTADOS PRUEBA 1 C	94
4.5.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 1 C	98
4.6 RESULTADOS PRUEBA 2 C	99
4.6.2 ANÁLISIS DE PRUEBA 2 C	103
4.7 RESULTADOS PRUEBA 1 D	104
4.7.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 1 D	108
4.8 RESULTADOS PRUEBA 2 D	109
4.8.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 2 D	113
CONCLUSIONES	115
BIBLIOGRAFIA	

RESUMEN

En el presente trabajo, se pretende manipular tecnología de punta dentro del área de la coextrusión, para el procesamiento de película cast plana, en dos modalidades diferentes de resina como lo son el polietileno y el polipropileno, todo esto dentro del desarrollo de estructuras complejas en tres capas destinadas para empaque de productos alimenticios con estándares de calidad elevada en sus atributos.

El equipo propuesto por la empresa Converflex S.A. de C.V., es una coextrusora de dos ó tres capas en la estructura de la película, ya sea polietileno ó polipropileno lo que hasta ahora en novedad en nuestro país, por lo que normalmente requieren diseños diferentes de tornillos y cabezales. Se propone el arranque, procesamiento y estabilización de los sistemas sujetos en las pruebas que ha continuación son citadas y que son parte de los productos de línea de la empresa, para obtener estándares altos de calidad, manteniendo como objetivo principal la optimización y desarrollo de sistemas potencialmente hábiles con respecto a sus límites de frontera con 6 sigmas de confianza, apoyándose en las reglas heurísticas para el mejor manejo de las variables de cada sistema.

Desarrollando la optimización de los cuatro sistemas sobre el procesamiento de película, son propuestos los diseños de condiciones de operación (dos por cada prueba).

Los sistemas propuestos en las pruebas fueron:

Prueba A: Consta del procesamiento de polietileno de baja densidad en las tres capas a 37.5 micras en 98.8 cm.

Prueba B: Consta del procesamiento de polietileno de baja densidad en las capas exteriores más 50% de polietileno lineal de baja densidad en el extrusor A (capa central) a 38.1 micras en 98.8 cm.

Prueba C: Consta del procesamiento de polietileno de baja densidad en las capas exteriores más 9% de pigmento blanco en el extrusor A (capa central) a 25.5 micras en 94.0 cm.

Prueba D: Consta del procesamiento de copolímero de polipropileno en las tres capas a 38.1 micras en 104 cm.

dentro de las cuales en ninguna prueba se logró desarrollar un sistema hábil con respecto a sus límites, pero fueron lo suficiente hábiles con respecto a sus estándares específicos de producto para las pruebas A, B, C, mientras que la prueba D no resulta satisfactoria, requiriendo un estudio más profundo del fenómeno de inestabilidad interfacial y el mejor manejo de las variables para poner en control el sistema.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo presenta los resultados experimentales de un estudio comparativo de el arranque, procesamiento, estabilización y optimización de una coextrusora de película plana en tres capas, con dos extrusores de diámetro igual a 3.5 y 2.5 pulgadas respectivamente con una relación L/D igual a 30 con zona de alimentación convencional y husillos de barrera respectivos. Siendo los materiales de proceso mezclas de polietileno de baja densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno pigmentado ó de polipropileno destinadas para empaque de productos alimenticios con estándares de calidad elevada en sus atributos.

Partiendo de las cuatro etapas generales en toda investigación :

- I. Diseño de la investigación. Determinando el perfil de temperaturas más adecuado para cada una de las cuatro pruebas a desarrollarse con los materiales antes mencionados, así como, el intervalo de velocidad mas seguro que permita desarrollar un sistema lo suficiente hábil con respecto a sus límites de frontera
- II. Recopilación del material. Recopilando generalidades del proceso de extrusión, desde su definición, descripción de procesos, descripción del sistema cast en estudio, ajuste de condiciones de operación, control de proceso, consideraciones reológicas, especificaciones generales de diseño del coextrusor, que representan las mínimas bases para abordar el desarrollo de las cuatro pruebas en estudio.
- III. Análisis y ordenamiento de datos. Dentro de esta es generada la metodología para poder alcanzar los objetivos propuestos en el trabajo, y así, ser generados los diagramas de flujo y desarrollo experimental que se proponen para dar solución, a la culminación de la optimización y desarrollo de un sistema hábil en cada una de las cuatro pruebas realizadas.
- IV. Exposición de los resultados. Los resultados obtenidos muestran intervalos óptimos de operación en cada prueba, recopilados en tablas junto con sus diagramas X-S, diagramas P, diagramas de suma acumulativa y estadístico de suma acumulativa, además de la casi eliminación de bloqueo en las superficies del las películas y una aceptable retención del tratamiento corona. Esto depende del tipo de material plástico (prueba en cuestión) y de el diseño de las condiciones de operación respectivamente.

JUSTIFICACIÓN

La generación de este trabajo surge por el grado de interés que han tenido en estos últimos años las películas coextruidas, involucrando en especial al sector de empaque de alimentos , en el cual se registran altas tasas de crecimiento.

Este desarrollo se debe no solo a una difusión masiva de las películas al afirmar un estilo de vida distinta entre los consumidores, sino también a un empleo más tecnológico del producto, al cual se le exigen con rigor siempre mayores propiedades específicas para satisfacer los distintos sectores aplicativos. Mientras los pedidos se hacen más voluminosos desde el punto de vista cuantitativo, aumenta la variedad de productos solicitados y se extiende en los usuarios la exigencia de:

- * Utilizar estructuras complejas, incluso las de tres y cinco capas.
- * Disponer de una amplia gama de materiales que se pueden extruir.
- * Tener películas caracterizadas por un estándar de calidad elevada.

La modernización introducida en los últimos años ha revolucionado totalmente el desempeño de estas máquinas, haciéndolas extremadamente ventajosas, o esenciales en la producción de coextruidos técnicos y en particular de las películas con barrera.

Debido a la importancia generada por la aplicabilidad de estas películas y con el fin, de manipular tecnología de punta, se propone el arranque, procesamiento y estabilización del mismo sistema, con el fin de obtener un producto con un alto estándar de calidad, considerando como meta un sistema potencialmente hábil con respecto a sus límites de frontera con 6 sigmas de confianza, siendo este el estándar para los países de primer mundo. Es necesaria la generación del diseño de condiciones de operación, para el equipo propuesto por Black - Clawson , apoyándose en todo momento por las reglas heurísticas, ya que el éxito de esta misión depende de cuatro variables que consideramos generales tales como:

* MAQUINARIA

* RESINAS Y ADITIVOS

* PERSONAL OPERATIVO

*DISEÑO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

Sabiendo de antemano que una mala relación entre estas variables dará desviaciones significativas en los objetivos de este trabajo.

Es altamente motivante el reto de introducirse al campo de oportunidad de puesta en marcha de dicho equipo, ya que hasta ahora es dominado en su totalidad por los ingenieros extranjeros, cobrando honorarios elevados.

OBJETIVOS

- 1. PROPONER PERFIL DE TEMPERATURAS A LOS CAÑONES, CAMBIADOR DE MALLAS, ADAPTADORES Y DADO, ACORDES PARA PRODUCIR PELÍCULA DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO CUMPLIENDO ESPECIFICACIONES DE EMPAQUE EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS.**
- 2. DETERMINAR CUAL SERÁ EL MEJOR PERFIL NORMAL (AUMENTA CONFORME EL MATERIAL VIAJA EN EL EXTRUSOR), UN PERFIL INVERTIDO (MAS CALIENTE EN LA PRIMERA ZONA) Y UN PERFIL CON TEMPERATURAS MÁXIMO EN EL CENTRO.**
- 3. DETERMINAR EL RANGO DE VELOCIDAD SEGURO PARA CADA UNA DE LAS PRUEBAS, SI ES QUE LO PRESENTA; MANTENIENDO CONTROL EN PROCESO, ASEGURANDO LA CALIDAD DE LAS PELÍCULAS.**
- 4. OBTENER UN SISTEMA POTENCIALMENTE HÁBIL A 6 SIGMAS (EQUIVALENTE AL 99.999% DEL CUMPLIMIENTO SOBRE EL OBJETIVO EN LOS ATRIBUTOS DE LA PELÍCULA) DE CONFIANZA CON RESPECTO A SUS FRONTERAS, O POR LO MENOS CON RESPECTO A LA ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO.**
- 5. EVITAR LA PRESENCIA DE BLOQUEO Y DISMINUCIÓN DE TRATAMIENTO EN UN PERIODO DE ALMACENAJE DE 4 MESES, LO CUALES SON ATRIBUTOS PERJUDICIALES EN PROCESOS AUTOMATIZADOS POSTERIORES, EN EL EMPAQUE DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS.**

ABREVIATURAS

MFI.	Índice de fluidez del fundido.
RPM.	Revoluciones por minuto.
FPM.	Pies por minuto.
ID.	Diámetro interno.
TBA.	Alimentación de mezcla tratada
FPA.	Flujo por arrastre
TZA.	Temperatura de la zona de alimentación.
LDPE.	Polietileno de baja densidad
LLDPE.	Polietileno lineal de baja densidad.
PP.	Polipropileno.
PVDC.	Cloruro de polivinilideno (saran).
ABS.	AcrilonitriloButadienoEstireno
PET.	PolietilénTereftalato.
ELVAX.	Resina de alto sello para polietileno.
AB/T.	Resina Antibloqueante para Polietileno.
SS/DX.	Resina Deslizante para Polietileno.
AE.	Resina Antiestatico para Polietileno.
PIGTO.	Resina Master batch (Pigmento blanco) para Polietileno.
VALTEC.	Resina de Polipropileno.
CPP.	Resina de Copolímero de Polipropileno.
ABPP.	Resina Antibloqueante para Polipropileno.
SPER.	Resina Deslizante para Polipropileno.
ASPA.	Resina Antiestatico para Polipropileno.
LCL.	Límite inferior de control.
UCL.	Límite superior de control.
PROM.	Promedio codificado
Cp.	Capacidad ó habilidad potencial de proceso.
Cpk.	Habilidad real de proceso.
St.	Diagrama de Suma Acumulativa.
St-min Sm.	Diagrama Estadístico de Suma Acumulativa.
HP.	Caballo de potencia.
Kw.	Kilowatts.
CD.	Corriente directa.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1. GENERALIDADES.

1.1 INTRODUCCIÓN A LA EXTRUSIÓN.

Un extrusor es un tornillo que gira en un cilindro. Hay una tolva que alimenta la materia prima en el extremo del cilindro y un agujero de forma específica (la boquilla, el dado) al otro extremo.

Los plásticos para extrusión son " termoplásticos ", se ablandan por la acción del calor y se endurecen de nuevo cuando se enfrían. Cuando un material de este tipo se alimenta a la tolva, es atrapado por el tornillo y empujado a través del cilindro, donde se funde lo suficiente para continuar su viaje hasta la boquilla. El calor se genera por fricción cuando el tornillo gira y el plástico roza con las superficies del cilindro y del tornillo. De esta manera, la energía para fundir el material proviene mayormente del motor, el cual hace girar el tornillo. Algunas veces se suministrará más calor mediante calentadores externos o precalentamiento del material.

Cuando el material fundido sale de la boquilla, toma la forma de la salida, una rendija larga hace una película plana o lamina, una abertura circular hace tubos, muchos agujeros pequeños hacen filamentos, etc. Ya fuera del cabezal, el plástico es enfriado (con aire, agua por contacto con rodillos metálicos), estirado, y al fin enrollado o cortado a las dimensiones requeridas.

El tornillo, cuando gira, trata de desenroscarse y salir del cilindro hacia atrás. No puede irse porque un cojinete grande lo mantiene en su posición. El empuje del tornillo provoca que el material salga a través del cabezal.

Todo el cabezal actúa como una resistencia al flujo. El tornillo debe trabajar para empujar el material (se requiere más fuerza para girar el tornillo).

El operador del extrusor controla las temperaturas del cilindro, cabezal y boquillas, y a veces también las temperaturas del tornillo y del material en la tolva. El cilindro se divide en zonas, cada una con sus controles de calefacción y enfriamiento. Las temperaturas de estas zonas no tienen que coincidir con las temperaturas del material adentro, pero se selecciona según se necesite en cada zona. Las temperaturas de la zona de alimentación del extrusor es esencialmente importante ya que afecta la velocidad de alimentación de materia prima y por lo tanto puede controlar la producción. Las temperaturas del cabezal y la boquilla normalmente son más o menos iguales a la temperatura del material fundido adentro.

La temperatura del material fundido se mide dentro del cabezal. Está normalmente entre 175-230°C (350-450 °F) pero es mayor para ciertos plásticos. Si es demasiado caliente habría problemas de degradación del material o enfriamiento insuficiente.

La presión del material fundido también se mide al fin del tornillo, y refleja la resistencia del cabezal. La presión está típicamente entre 35 - 350 Kg/cm² (300 - 5000 psi), y en algunos casos es mayor.

La velocidad del tornillo se selecciona tan alta como lo permita la calidad del producto. Las velocidades típicas están entre 50 y 200 rpm. Las máquinas más grandes operan a velocidades más bajas, pero las muy pequeñas también giran lento para permitir suficiente tiempo de residencia.

La potencia del motor normalmente se mide en amperaje, indicando el límite de operación del sistema, indica pulsación (variación de espesor = " surging "), e indica cambios en la viscosidad del material. El amperaje y la energía del motor varía mucho con el tamaño de la máquina, p. ej., 5 HP (3.5 Kw) para una pequeña hasta 1000 HP (750 Kw) o más para una muy grande. La producción es normalmente entre 2 y 7 Kg/ hr (5 - 15 lb/hr) por cada HP usado (75 % de estas cifras por Kw), según el tipo de polímero extruido.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

La extrusión es un proceso continuo en el cual una resina es fundida por acción de temperatura y fricción, forzada a pasar por un dado que le proporciona una forma definida y enfriada finalmente para evitar deformaciones permanentes posteriores. Se fabrican por medio de este proceso: tubos, perfiles, películas, manguera, lámina, filamentos, granulados, etc.

1.3 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS.

Dentro del proceso de extrusión, varias partes deben identificarse, con el fin de aprender sus funciones principales, identificar sus características para el momento en que se necesite elegir un equipo y detectar en donde se puede estar generando un problema en el momento de la operación.

La extrusión por su versatilidad y amplia aplicación suele dividirse en varios tipos, dependiendo de la forma del dado y, por lo tanto, del producto extruido. Así la extrusión puede ser:

De tubos y perfil.

De película tubular.

De dado plano.

Recubrimiento de cable.

De monofilamento.

Para granulación y fabricación de compuestos (Compounding)

Sin embargo, se puede establecer que independientemente del tipo de extrusión que se quiera analizar, todos guardan gran similitud hasta llegar al dado extrusor.

Básicamente, una máquina de extrusión consta de un eje metálico central con alabes helicoidales llamado husillo, instalado dentro de un cilindro también metálico, revestido con una camisa de resistencias eléctricas.

En un extremo del cilindro se encuentra un orificio de entrada de materia prima donde se instala una tolva de alimentación, generalmente de forma cónica, y en ese mismo extremo se encuentra el sistema de accionamiento del husillo, compuesto por un motor y un sistema de reducción de velocidad. En el extremo contrario, esto es la punta del tornillo, se encuentra la salida del material extruido y el que da forma final al plástico.

1.3.1 PELÍCULA TUBULAR.

En el proceso de película tubular, el material fundido, es extruido a través de un dado anular, donde se expande al salir, para formar una burbuja mediante la introducción de aire a presión a través del torpedo y finalmente es atrapada por unos rodillos de presión.

Después del dado, gracias a un anillo de enfriamiento con aire, la resina del fundido empieza a solidificar. A esta zona, se le llama: línea de enfriamiento.

La extrusión vertical y hacia arriba es la más conveniente y usual. La cantidad de aire inyectado regula el diámetro de la burbuja, por lo que se puede obtener película de diferentes medidas con el mismo dado.

El espesor de la película depende del gasto del extrusor, de la relación de soplado (diámetro de la burbuja / diámetro del dado) y de la intensidad del estirado, o "jalado", de los rodillos. Finalmente, la película plegada se enrolla bajo tensión constante en un sistema de dos rodillos intercambiables (bobinas).

El proceso de película tubular es el más popular, debido a la facilidad de fabricar bolsas con un sencillo equipo de sellado.

Una de las variables de mayor influencia en la extrusión de película tubular es la llamada *relación de soplado*. Las fórmulas que vinculan la relación de soplado con el ancho de la película doble y el diámetro del dado son las siguientes:

$$1. \text{ Relación de soplado } = \frac{\text{diámetro de la burbuja}}{\text{diámetro del dado}}$$

$$2. \text{ Ancho de la película (doble) } = 1.57 \times \text{diámetro de la burbuja}$$

$$3. \text{ Relación de soplado } = \frac{0.637 \times \text{ancho de la película (doble)}}{\text{diámetro del dado}}$$

$$4. \text{ Ancho de la película (doble) } = 1.57 \times \text{diámetro del dado} \times \text{relación de soplado}$$

Esta relación de soplado puede variar de 1:1 hasta 6:1. Los valores comprendidos entre 2.5:1 y 3.5:1 se considera como límites para un control seguro del espesor de la película y del diámetro de la burbuja, obteniéndose ante todo buenas propiedades mecánicas como consecuencia de una adecuada orientación de la película.

La relación de soplado, la altura de la línea de enfriamiento y la velocidad de producción, son los factores que deben balancearse para obtener buenas propiedades físicas y espesores uniformes a velocidades económicas.

1.3.2 PELÍCULA PLANA.

En la elaboración de la película plana se utiliza un dado diferente al empleado para la película tubular, ya que éste como se describió es en forma de anillo y el de la película plana es recto.

El enfriamiento de esta película es por contacto con un rodillo enfriado interiormente por agua. Las temperaturas a lo largo del rodillo enfriador no debe presentar entre sí diferencias mayores de 2 ó 3 °C. Un buen enfriamiento mejora las cualidades ópticas de la película: claridad, brillo y baja nebulosidad.

Para obtener una película de espesor uniforme, el dado debe tener tornillos de ajuste a fin de controlar su abertura. La distancia comprendida entre el dado y el medio de enfriamiento debe fijarse adecuadamente, para disminuir la tendencia al encogimiento lateral de la película (" neck in ") y al mismo tiempo evitar la oxidación de la película. Se controla de este modo el estrechamiento lateral al mínimo y evita un sellado deficiente de la película.

Si la distancia entre el dado y el medio de enfriamiento es muy pequeña, se corre el riesgo de que se rompa la película de salida del dado. Un aumento en esa distancia favorece la desaparición de defectos superficiales, y mejora la orientación de la película, beneficiando las propiedades mecánicas de las mismas. Por lo que en el encogimiento lateral de la película se forman bordes que deben eliminarse con cuchillas, antes del embobinado.

1.3.2.1 IMPRESIÓN DE LA PELÍCULA.

Debido a que el polietileno y el polipropileno son químicamente inertes, no es posible obtener una buena adhesión de la tinta por impresión directa a la superficie de la película, por lo que es necesario modificar la superficie, para hacer factible la retención de las tintas.

Existen dos métodos predominantes para efectuar este proceso: tratamiento con flama y tratamiento eléctrico de alto voltaje. Ambos métodos oxidan ligeramente la superficie, permitiendo con ello la adhesión de la tinta.

1.3.2.2 TRATAMIENTO CON FLAMA.

En este método ya obsoleto, la flama toca la superficie de la película durante su paso sobre un tambor cromado, enfriado interiormente con agua. Es importante realizar el tratamiento inmediatamente después de la extrusión, primordialmente cuando se trabaja con película que lleva aditivos antibloqueo y deslizante, debido a que éstos, con el tiempo, afloran a la superficie, dificultando la obtención de un tratamiento satisfactorio para la impresión.

1.3.2.3 TRATAMIENTO ELÉCTRICO DE ALTA TENSIÓN.

El equipo para el tipo de tratamiento eléctrico de alta tensión se adapta fácilmente, en las operaciones de línea, a las velocidades normales de extrusión. La película de polietileno se desplaza sobre un tambor con aislamiento eléctrico con alto tensión. La diferencia de potencial entre los electrodos y la superficie de la película, ocasiona una descarga eléctrica, provocando una ligera oxidación.

Para una película con alto contenido de aditivos será necesario un tratamiento a menor velocidad y con alto nivel de tensión. Un tratamiento excesivo ocasiona secciones debilitadas en la película, dificultad en el sellado por calor, bloqueo y problemas en la impresión. Este método es el más práctico y el que usualmente se emplea.

1.3.3 LAMINACIÓN.

La aplicación por extrusión de polietileno sobre el papel, telas, aluminio y otros sustratos flexibles, es un método económico para producir revestimientos de laminados.

El proceso de laminación consiste en unir una película de polietileno a dos o más sustratos, con el fin de mejorar las propiedades de estos materiales. Se emplea en varios usos:

1. **Papel Kraft** Para la manufactura de sacos industriales de varias capas, para contener el fertilizante y productos varios
2. **Cartón**. En el empaque de leche, jugos y alimentos congelados
3. **Hojas de aluminio**. Para proveer un buen sellado en la manufactura de empaques para alimentos en polvo y aplicaciones similares, donde la ausencia del oxígeno es importante.
4. **Celofán**. El aspecto importante es proporcionar un buen sellado a los empaques y la retención del sabor en los alimentos.

Este proceso es similar al descrito en película plana, por lo que respecta al extrusor y al dado. El polietileno procesado que sale del dado a alta temperatura, se deposita sobre la superficie del sustrato por recubrir, antes de tocar el rodillo de enfriamiento. El sustrato es alimentado continuamente sobre un rodillo de hule, el cual lo presiona contra el rodillo de enfriamiento, de tal manera que se produzca un contacto perfecto entre el sustrato, el polietileno depositado y el rodillo de enfriamiento.

El espesor del recubrimiento de polietileno se controla por el gasto del extrusor y por la velocidad del material por recubrir.

Algunos sustratos, exigen un tratamiento superficial, para asegurar posteriormente una buena adhesión al polietileno. Este tratamiento se efectúa antes del revestimiento con el polímero, ya sea en forma separada o en línea al recubrimiento con la resina. La resina adecuada para este proceso debe tener las siguientes características: bajo desprendimiento de humo y olor, bajo encogimiento lateral, alta velocidad de producción y estabilidad a altas temperaturas de operación.

1.3.4 MOLDEO POR SOPLADO.

Este proceso consiste en inflar con aire una pieza tubular de polietileno fundido, la cual se produce en un extrusor después de pasar por un dado anular. Esta pieza tubular llamada "párison", o preforma, es atrapada entre las dos secciones huecas de que se compone el molde y al inyectársele aire a presión, se obliga al material procesado a tomar la forma del referido molde. Después la pieza es enfriada y es expulsada, al abrir el molde. Del espesor de la preforma depende el espesor de la pared del artículo que se obtiene.

Para obtener la preforma requerida en este proceso, se utiliza:

El extrusor debe tener una relación L/D de 20:1 y una relación de compresión de 4:1. A la salida del extrusor, se utiliza un cabezal en ángulo recto para dirigir el material fundido hacia abajo, sobre el dado que forma el "párison". Los cabezales pueden ser simples o múltiples; cuando son múltiples se van alimentando de un cabezal a otro. En otros casos, con un cabezal simple, la preforma se alimenta continuamente a un mecanismo rotatorio provisto de varios moldes.

En el cabezal se encuentra el torpedo y el dado; la punta del torpedo debe terminar con paredes paralelas a las internas del dado, para obtener un flujo laminar uniforme, que no cause distorsiones.

Cuando el objeto por moldear es de gran tamaño, es necesario adaptar al extrusor un acumulador, para reunir al polietileno plastificado que sale continuamente, y desalojarlo después, para formar un "párison" apropiado, por el impulso de la carrera del pistón.

El dado de forma anular se ajusta por medio de tornillos, con el fin de obtener el espesor necesario de la preforma y centrar al torpedo con respecto al dado.

Los moldes se fabrican con materiales de buena conductividad térmica. Constan de dos mitades, las cuales se enfrían por circulación de agua.

Las variables principales del proceso, de las cuales depende la calidad del producto obtenido, son las siguientes:

1. **Temperatura de fundición o extrusión.** Es la temperatura a la cual sale el material fundido del dado, y de ella dependerá el tiempo necesario para enfriar el objeto, antes de que salga del molde. Influye también en la velocidad de extrusión, el grado de tersura del "párison", así como el alargamiento del mismo, debido a su propio peso. De dicho alargamiento depende a su vez el espesor de la pared del objeto moldeado.
2. **Presión de soplado.** Es la fuerza/área ejercida por el aire dentro del molde, de la presión de soplado depende llenar correctamente todas las cavidades del molde.
3. **Velocidad de soplado.** Es la velocidad necesaria del flujo de aire suministrado al molde; este puede afectar tanto a la superficie del producto terminado, como a la resistencia de las líneas de unión provenientes del molde. En efecto, a velocidades altas de soplado, el aire residual no logra salir y queda atrapado en forma de burbujas entre la pared del molde y el producto.
4. **Duración del tiempo de soplado.** Es el tiempo de residencia del flujo de aire, a una presión y velocidad de soplado establecidas, este deberá ser el máximo posible dentro de los límites económicos, para asegurar un buen enfriamiento y la ausencia de distorsiones en la conformación del artículo moldeado.

La duración del ciclo de fabricación de artículos moldeados por soplado, debe fijarse tomando en cuenta dos factores opuestos la economía de operación y la calidad y/o aspecto del artículo terminado, por ejemplo, al incrementar variables tales como la temperatura de extrusión y el ciclo de moldeado, aumenta el brillo de los artículos moldeados, pero disminuye la economía de la operación. Es necesario encontrar un término medio entre la economía del proceso y las buenas características deseadas

El buen resultado del servicio de los artículos soplados depende del polímero empleado en su elaboración, del diseño del artículo, de las condiciones adoptadas en su fabricación y el manejo al cual se someta posteriormente. En el diseño de botellas y recipientes, deben evitarse los ángulos agudos y todas las esquinas deben ser redondeadas ampliamente. Hay que evitar los sistemas de manejo o llenado de botellas que sometan a éstas a cargas o esfuerzos en sus cuellos. También el diseño de los tapones debe ser tal, que minimice los esfuerzos en el cuello de la botella.

1.3.5 RECUBRIMIENTO DE CABLE Y ALAMBRE.

Debido a su baja constante dieléctrica, resistencia a la humedad, flexibilidad y tenacidad, el polietileno se emplea extensamente como aislante y forro protector de cable y alambre. El polietileno destinado a este uso lleva antioxidante invariablemente y otros aditivos, para obtener las propiedades requeridas por las normas establecidas.

El proceso de recubrimiento de cable o alambre, consiste esencialmente del paso de éste a través de un torpedo montado en un cabezal especial, el cual lo orienta hacia el orificio del dado. Ahí, el alambre o el cable entra en contacto con el polietileno procesado, efectuándose su recubrimiento

a) RECUBRIMIENTO DE ALAMBRE.

Para este proceso se requiere de un extrusor con una relación de L/D entre 15:1 y 20:1 con una relación de compresión de 4:1. Es necesario que el extrusor cuente con sistemas eficientes de calentamiento y enfriamiento que garanticen la más alta calidad del recubrimiento de polietileno

A la salida del extrusor se tiene un adaptador, en el que se encuentra el torpedo, que sirve de guía al alambre antes de pasar por el polietileno fundido y por el dado. El alambre antes de recubrirse, proviene de un rollo de entrega que se mantiene en un sistema de desenrollado con velocidad y tensión constantes, pasa poco antes del revestimiento, por un precalentador para obtener una mejor adherencia del polímero procesado y la eliminación de impurezas. La parte final del torpedo que guía y centra el alambre, deben ser paralelas a las paredes internas del dado, con el objeto de impartir un flujo laminar uniforme y obtener continuidad del espesor requerido. A la salida del dado, el material pasa a través de un recipiente con agua para su enfriamiento, lo que es importante para tener un mejor acabado en el producto terminado.

El conductor después del enfriamiento en la tina, pasa através de equipos de control:

1. **Dispositivo para el ensayo de chispa.** Para controlar la presencia de rupturas en el recubrimiento aislante del alambre.
2. **Calibrador de diámetro.** Tiene por objeto controlar el espesor del recubrimiento y en caso de variaciones, se ajusta en forma manual o automática la velocidad de enrollado. Además, las fluctuaciones en el diámetro exterior del recubrimiento pueden ser ocasionadas por obstrucción en las mallas o variaciones de voltaje en el extrusor.
3. **Calibrador de excentricidad.** Se emplea cuando se requiere obtener conductores perfectamente bien centrados dentro del recubrimiento. Estos funcionan sobre principios electromagnéticos, o a base de rayos X.

Todos los dispositivos descritos, en caso de alguna falla, hacen funcionar una alarma visual o auditiva. El conductor, una vez que pasa los dispositivos del control descrito, llega a un cabrestante que lo jala, del cual depende el espesor del recubrimiento, de acuerdo a la velocidad lineal impartida. Así mismo, depende también de la velocidad del tornillo extrusor. Así se puede aumentar o disminuir el espesor del recubrimiento, haciendo cambios en las velocidades del estiramiento o del extrusor.

b) RECUBRIMIENTO DE CABLE.

Las diferencias que existen en el proceso de recubrimiento de alambre y cable, se deben a que el cable está formado por varios conductores protegidos por una cinta de aluminio o de acero, que después de soldarse, se recubre exteriormente por el polietileno procesado. Este revestimiento se hace con el polímero a menor temperatura, para evitar un mal proceso de recubrimiento de los conductores. Además, el enfriamiento se hace en forma rápida en un recipiente con agua, colocado inmediatamente a la salida del dado. El cable pasa por un calibrador de diámetro, luego a una unidad controladora de tensión y finalmente al enrollado.

1.3.6 FABRICACIÓN DE TUBERÍA.

El proceso utilizado para la fabricación de tubo, se basa en la extrusión del polímero, para obtener una masa fundida, que es forzada a pasar a través de un dado anular. El tubo formado es enfriado en su superficie externa, con el objeto de que retenga su forma hasta alcanzar la temperatura ambiente.

El extrusor trabaja con una relación de L/D mínima de 16:1, el cabezal, el sistema de enfriamiento y el equipo de tiraje y enrollado. El enfriamiento del tubo se logra generalmente por inmersión en un baño de agua.

Los equipos de tiraje y enrollado gobiernan la velocidad lineal a la que el tubo es retirado del dado y de esta manera influye en el espesor del tubo a velocidades constantes del tornillo del extrusor.

1.3.7 MOLDEO POR INYECCIÓN.

Es un sencillo proceso ciclico en que los gránulos de polietileno se calientan hasta que se funden en un cilindro. El material plastificado es forzado a pasar a un molde por medio de un pistón, o bien, impulsado por el avance del tornillo del extrusor. En el molde enfriado con agua, el polietileno vuelve al estado sólido, obteniéndose así una pieza con la forma deseada, la cual es eyectada al abrirse el molde.

El polietileno es indicado para este tipo de proceso debido a que fluye fácilmente dentro de las cavidades del molde, por complicadas que sean. Para la selección adecuada del polímero en este proceso, es necesario conocer el tipo de producto que se desea obtener y el uso final del mismo.

Las condiciones de moldeo para obtener una producción de buenos artículos con excelente apariencia son:

1. La temperatura para fundir la resina debe ser lo suficientemente alta (el intervalo dependerá de tipo equipo utilizado en la manufactura del artículo) para conferir un brillo aceptable al artículo.

2. Asimismo, la temperatura del molde debe estar entre 30 y 50°C, ya que un enfriamiento irregular al polietileno fundido, originan que unas capas se enfrien más rápidamente que otras, sin dar la oportunidad de formar una masa compacta, por lo que quedarían capas estratificadas o " laminadas ". Un molde muy caliente alargaría demasiado el ciclo de inyección.

3. Con una presión de inyección lo más baja posible (esto lo dictara el diseño del artículo a fabricar) y un tiempo de residencia del polietileno dentro del molde lo más corto posible (esto depende del tipo de equipo), se evitan deformaciones y otros defectos del producto terminado, lo que ayuda a la economía de la operación.

4. La velocidad adecuada de llenado del molde se debe fijar según el tipo de artículo que se moldee.

Por ejemplo, si el objeto presenta paredes delgadas, la velocidad de inyección será alta, para llenar completamente el molde, lo cual se logrará con aumento de la presión de inyección y la temperatura.

En el caso de los objetos con paredes gruesas, se recomienda reducir la velocidad de llenado, para evitar turbulencias en el flujo del material fundido, que puede afectar el acabado del producto.

1.2.8 MOLDEO POR ROTACIÓN.

Los moldes deben diseñarse tratando de redondear en el artículo toda esquina, evitando ángulos agudos, a fin de conferirle la mayor resistencia al objeto moldeado.

La impresión en artículos moldeados se efectúa sin dificultad después del tratamiento adecuado, por medio de flama o electricidad de alta tensión, similar al ya descrito, de impresión de película de polietileno y al que se usa también en moldeo por soplado.

El polietileno de baja densidad se utiliza en el proceso de rotomoldeo, debido a que llena mejor ciertas cavidades o lugares del molde, lo que no se logra con otros procesos. El polímero que se emplea en este proceso debe estar en forma de polvo, para lograr una fundición más rápida.

Este proceso se utiliza principalmente para la producción de recipientes y artículos de gran tamaño, los que por moldeo, por inyección o soplado resultarían a costo muy elevado debido al alto costo del molde y equipo necesario para elaborar objetos de gran tamaño.

Consiste en introducir el polietileno pulverizado a uno o más moldes, cerrándolo; después se introduce a un sistema de calentamiento, donde el molde deberá girar en dos ejes perpendiculares entre sí al mismo tiempo, a diferentes velocidades. El polietileno en polvo, por el calor suministrado, empieza a fundirse, adhiriéndose paulatinamente a toda la superficie del molde. La temperatura, el tiempo de calentamiento, la cantidad de polvo introducida al molde y la rotación, son específicas para cada tipo de polímero, molde y máquina empleada, al igual que el tiempo de enfriamiento.

La cantidad de polvo que se coloca dentro del molde depende del artículo por obtener y principalmente del espesor de pared deseado. Para elegir el tipo de polímero para esta aplicación, se debe considerar lo siguiente :

1. Mientras más alto es el MFI (índice de fluidez del fundido) de la resina, mejor será su procesabilidad.
2. A menor tamaño de partícula del polvo, es mejor su moldeo, debido a que se llenan más fácilmente los espacios críticos y obtiene su fundición.

El ciclo de este proceso depende de :

- 1) El espesor del molde;
- 2) La conducción térmica del metal de que esta hecho el molde;
- 3) La eficiencia del mismo sistema de calentamiento;
- 4) El espesor requerido en el objeto moldeado;
- 5) El acabado de la superficie exterior del objeto moldeado;
- 6) El tamaño de partícula del polvo de polietileno;
- 7) El tipo de polietileno empleado; dependiendo especialmente de su MFI.

1.4 ESPECIFICACIONES Y NORMALIZACIÓN.

La normalización es un disciplina de calidad, porque es la reglamentación de propiedades, dimensiones y funcionamiento en materiales y productos, de tal forma que su fabricación sea más fácil de realizar.

La reglamentación de estas características y en la forma de medirlas la realizan Instituciones o Asociaciones que están presentes en cada país y que unifican sus conceptos por medio de la regulación de la Institución base.

La principal Institución que regula las normas de medición y que incluye 89 países, de los cuales 72 poseen Institutos Nacionales de Estandarización es la ISO - International Standardization Organization que se apoya en la ICE - International Electrothechnical Commision para las normas correspondientes a las propiedades eléctricas.

Algunos de los Institutos Nacionales que regula la ISO son los siguientes:

- ASTM** American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
- DIN** Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán para la Normalización).
- AFNOR** Association Francaise de Normalisation (Asociación Francesa de Normalización),
- ANSI** American National Standards Institute (Instituto Americano para Estándares Nacionales)
- BSI** British Standards Institution (Institución Britanica de Estándares).
- IRANOR** Instituto Español de Normalización.
- SNV** Association Suisse of Normalisation (Asociación Suiza de Normalización)

Existen otros institutos que regulan propiedades muy especiales como son el grado de flamabilidad, la inocuidad al contacto con alimentos y la seguridad que presenta los materiales al ser utilizados en condiciones críticas, ellos son :

- UL** Underwriters Laboratory (Laboratorios de Seguridad).
 - FDA** Foods and Drugs Administration (Asociación de Alimentos y Medicamentos).
- Cada uno de los Institutos y Asociaciones antes mencionados poseen una norma debidamente codificada para regular las propiedades de materia prima y producto terminado. Dentro de las más utilizadas para estandarización internacional son las de ASTM, ISO y DIN, por lo que serán a estas las que se referirán los métodos cuando sean mencionados. En los plásticos existen pruebas en 3 puntos del ciclo de producción y que son importantes para cada área:

- * **Materia Prima.**
- * **Procesamiento.**
- * **Producto Final.**

1.5 GUÍA PARA SELECCIONAR UN EQUIPO DE EXTRUSIÓN.

a) MERCADO.

1. Definir los clientes y materiales de empaque a considerar en el proyecto.
2. Definir y entender las necesidades del cliente.
3. Averiguar la estrategia de los principales competidores y la posición competitiva que guardan.
4. Investigar las tendencias del empaque de los productos de interés.
5. Investigar la posición en la curva de vida del empaque de los productos de interés.

b) ESTRUCTURAS REQUERIDAS POR EL MERCADO.

1. Volúmenes.
2. Construcción actual, caracterización y desempleo.
3. Precios de venta actuales.
4. Costos de las materias primas.
5. Impacto del empaque en las estructuras de costos del producto del cliente.

c) INGENIERÍA CONCEPTUAL DEL PROYECTO.

1. Definir las estructuras de interés.
2. Establecer los volúmenes esperados de producción.
3. Establecer las necesidades de construcción de las estructuras.
 - 3.1. Calibres.
 - 3.2. Capas.
 - 3.3. Resinas y Aditivos.
 - 3.4. Anchos.
 - 3.5. Análisis de los procesos viables de fabricación.
 - 3.6. Definición del proceso de fabricación.

PARA COEXTRUSIÓN.

4. Establecer los requerimientos del equipo.
 - 4.1. Número de capas.
 - 4.2. Número de extrusores, sistemas de enfriamiento de los extrusores.
 - 4.3. Intervalo de espesores.
 - 4.4. Formulación de resinas y aditivos a procesar.

d) EXTRUSOR.

1. La selección del número de extrusores esta en función de .

- * Necesidades funcionales de la película.
- * Resinas y aditivos a usar
- * Flexibilidad de la línea
- * Estructuras dominantes.

2. Cuanto más especializada sea la línea es generalmente:

- * Más barata
- * Más eficiente
- * Más fácil de operar.

3. En un sistema versátil los criterios para seleccionar los extrusores son:

Extrusor primario.- El más grande debe producir el 210 % de la máxima producción esperada / número de capas

El siguiente extrusor debe producir el 150 % de la producción esperada entre el número de capas como un porcentaje de la producción esperada entre el número de capas como un porcentaje de la producción esperada total

EXTRUSORES

No. de capas	Primario	Secundario	Terciario
2	1	1	-
3	1	1	1
4	2	1	1
5	2	2	1

El uso de los bloques distribuidores permiten menores números de extrusores y un amplio rango de productos sin excesivo tiempo de paro para hacer los cambios.

Las desventajas que tiene es que se eleva la contrapresión.

e) LOS FABRICANTES DEBEN CONSIDERAR PARA LA RECOMENDACIÓN DEL EXTRUSOR.

1. Producciones deseadas.
 2. Materias primas a usar : Tipo y fabricantes.
 3. Temperaturas del fundido.
 4. Tiempo de residencia
 5. Aditivos.
 6. Proporciones de los materiales en la estructura.
- Y en función de estos recomendar para cada extrusor :

6.1 Tornillos.

- : Materiales a procesar.
- : L / D.
- : Diámetro.
- : Material de los tornillos.
- : Elementos de mezclado
- : Tipo de tornillo : Normal ó de barrera.
- : Rango de velocidad del tornillo.
- : Torqué máximo.

6.2 Cilindro.

- : Material.
- : Sección de alimentación : Lisa o ranurada.

6.3 Transmisión.

- : Potencia de motor, tipo, marca, tensión, frecuencia.
- : Potencia del reductor, relación.
- : Sistema de lubricación.
- : Balero de compresión : B - 10

6.4 Sistema de enfriamiento del extrusor.

- : Agua , aire.

6.5 Sistema de calefacción.

- : Tipo de resistencias.
- : No. de zonas.

7. Rango de ancho de los materiales.

8. Tipo de película : tubular ó plana.

CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

2.1 TORNILLOS Y CILINDROS

La longitud del tornillo normalmente se expresa como la relación de la longitud al diámetro, o L/D. Una longitud 20 : 1 es muy común, un 24 : 1 es muy largo pero también común, mientras que un tornillo extra largo (normalmente con venteo) puede ser hasta 36 : 1. Una mayor longitud puede representar una mayor producción para algunos materiales.

La mayoría de los tornillos son de paso cuadrado, la distancia de una hélice a la otra es igual al diámetro. Esto facilita medir el L/D simplemente contando los pasos. Los pasos debajo de la abertura de alimentación no se incluyen en el L/D.

Los tornillos algunas veces se describen por su relación de compresión, la cual es la relación de volúmenes de la primera a la última hélice. Si el paso es cuadrado, ésta es la relación de las profundidades del canal a ambos extremos del tornillo, típicamente entre 2 y 4. La relación de compresión es útil pero no es suficiente para describir adecuadamente un tornillo, a menos que una de las profundidades del canal también se especifique.

El espesor de la hélice es normalmente el diez por ciento del diámetro. Si fuera mayor, habría demasiado calor en el claro entre el cilindro y la hélice, también el volumen reducido bajaría la producción. Si éste espesor fuera mucho menor del 10 % se podría deformar y romper. Algunos tornillos tienen hélices con espesor variable -- más gruesa en la zona de alimentación -- y hay otros con hélices afiladas.

La parte de las hélices que está en contacto con el cilindro se trata para prevenir el desgaste. Para trabajo ligero, un tratamiento de llamas basta, pero es mejor poner una capa de metal muy duro.

Algunas veces todo el tornillo se endurece con tratamiento químico.

Los cilindros están hechos de acero, con una capa interna de una aleación dura. Algunos cilindros, principalmente para extrusores de doble tornillo, son de acero nitrurado.

Las tolerancias típicas entre los hélices del tornillo y el cilindro son 0.10 - 0.15mm. (0.004 - 0.006 pulgada) para un extrusor nuevo. Un ajuste más preciso sería muy difícil de fabricar y desarrollaría demasiado calor. Tolerancias mayores son comunes en máquinas usadas. Los tornillos desgastados a veces bajan la producción por rpm (se conviene llevar un registro). Esto es importante solamente si no hay otros factores que alimentan la producción y si no se puede aguantar un aumento en la temperatura del material procesado. El costo de reconstrucción de un tornillo es entre 50 - 75 % del costo del mismo tornillo nuevo.

Los tornillos son de acero, pero algunos plásticos corrosivos como PVDC requieren materiales especiales en todo el sistema. Para los otros, el cromado no es necesario si el tornillo se mantiene continuamente limpio.

Muchos tornillos están perforados axialmente para enfriarlos. Los tipos de tornillos que se emplean en la industria son como se observa en la figura 2.1 y 2.2 :

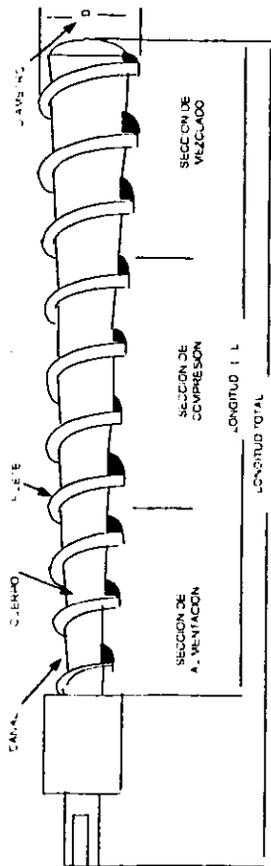
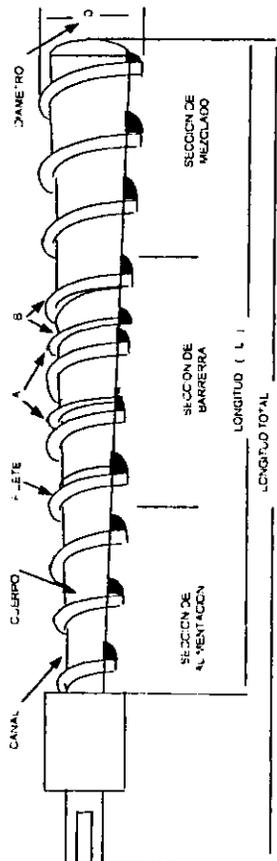


FIGURA 2.1 TORNILLO CON MEZCLADO SIMPLE.



A BARRERA DEL PITCH
B PITCH

FIGURA 2.2 TORNILLO DE BARRERA (POSEE MEJOR MEZCLADO, QUE EL TORNILLO SIMPLE).

2.1.1 DISEÑO DE TORNILLOS ESPECIALES

Sección Maddock. Una porción del tornillo, normalmente 2 diámetros de largo, con pares de canales grandes paralelos al tornillo, en vez de hélices. El material entra por los canales de entrada y todo el material fundido pasa sobre una barrera a los canales de salida. Si hay gránulos no fundidos, se comprimen y extienden (y así se funden más rápido) durante su paso sobre la barrera a los canales de salida. Este dispositivo se utiliza al o cerca del final del tornillo.

Tornillo de barrera. Es un tornillo convencional con una hélice adicional en la zona de compresión. Esta hélice divide el canal del tornillo en dos. La altura de esta hélice es menor que la altura de las hélices normales. El material fundido pasa sobre esta barrera al canal posterior, mientras que el material no fundido permanece en el canal principal, haciendo la fundición más fácil. Conforme el material se mueve a lo largo del tornillo, el canal del material no fundido se hace más pequeño y el canal del fundido más grande.

Picos mezcladores. Anillos de picos que salen de la base del tornillo y modifican el flujo normal, mejorando de esta manera el mezclado. Normalmente se colocan en la última cuarta parte del tornillo.

Tornillos para cilindros ranurados. Los cilindros ranurados normalmente contienen ranuras axiales o helicoidales en las secciones de alimentación. Este tipo de extrusores se utiliza mucho con polietileno de alta densidad y algunas otras poliolefinas. La "mordida" (cantidad alimentada por rpm.) se aumenta mucho y se necesita un tornillo especial para evitar una compresión excesiva. Normalmente se añade una sección de mezclado al fin del tornillo para compensar el mal mezclado que ocurre en canales profundos.

Tornillos para extrusión en dos etapas (con venteo). Es muy largo y los primeros dos tercios del tornillo son un tornillo típico de tres zonas. Después viene una zona donde el canal es muy profundo, la cual reduce la presión y permite eliminar humedad o volátiles mediante vacío a través de una perforación (venteo) hecha en el cilindro. Después, el fundido se recomprime antes de salir del cilindro. Se pueden inyectar aditivos por el venteo, aún si hay vacío.

Un sistema con venteo se puede solamente alimentar contra una resistencia baja o media, hasta 170 Kg/cm^2 (2500 psi). Con un cabezal de alta resistencia o con mallas tapadas o con una muy buena alimentación, la segunda zona de mezclado no puede bombear lo suficiente y el material se sale por el venteo. La solución a este problema depende de su origen (calentar el cabezal, cambiar las mallas, reducir la alimentación, instalar una bomba de engranes en el cabezal). Lo que debe hacerse de inmediato es suspender el vacío, abrir la cubierta del venteo y remover el material con una varilla de madera o bronce.

Tornillo de doble hélice. Este tiene dos canales paralelos en una parte del extrusor. En la zona final ayuda a la transferencia de calor, si se necesita una alta temperatura en el fundido (recubrimiento de papel ó plásticos con una gran demanda de calor). En la zona de compresión, evita fuerzas laterales excesivas, que pueden provocar desgastes. El tornillo ondulatorio (" wave screw ") de HPM tiene una zona de doble hélice con una barrera entre los dos canales, el fundido pasa sobre la barrera de un canal al otro y de vuelta, mejorando así el mezclado. Se encuentra en la zona de compresión o la zona final.

Tornillo Dray. En este tornillo, hay un canal pequeño en la superficie de la hélice en los primeros pasos. Los gránulos que caen en este canal se funden rápidamente y así revisten el interior del cilindro. Los otros granos pegan mejor al cilindro y uno al otro, por eso la producción por rpm. mejora y es posible trabajar a temperaturas más bajas.

Extrusión de doble tornillo. (tornillos gemelos). Los dos tornillos se colocan en una sola camisa, normalmente entrelazados. En algunas máquinas, los tornillos giran en la misma dirección (corrotatorios) y en otras giran en direcciones opuestas (contrarrotatorios). Los tornillos son normalmente del mismo diámetro, con ejes paralelos, pero algunos son cónicos y sus ejes divergen hacia atrás, lo cual permite los cojinetes más grandes. Por lo tanto, pueden bombear contra mayor presión, utilizándose sobre todo para perfiles y tubos de PVC rígido.

Los tornillos gemelos mezclan principalmente rompiendo las líneas de corriente, en lugar de utilizar altos esfuerzos cortantes como en un extrusor de tornillo simple. Existe un alto esfuerzo cortante en la holgura entre los dos tornillos, pero es muy pequeño en el resto del tornillo y el canal, y el esfuerzo cortante total es bajo. Así, se permite temperatura más baja del fundido, lo cual es deseable para PVC rígido y otros plásticos sensibles al calor. La temperatura baja también reduce los costos del material (se utiliza menor cantidad de estabilizador), lo cual compensa la más alta relación de costo / producción en extrusores de doble tornillo.

Muchos extrusores de doble tornillo usan alimentadores, los cuales controlan la producción. Facilitan también la alimentación del polvo y por eso las máquinas de doble tornillo se usan frecuentemente para compuestos de PVC.

2.2 EL CABEZAL

2.2.1 PORTAMALLAS

Es un disco con agujeros, de espesor del 20 % del diámetro aproximadamente, el cual soporta las mallas y sirve como un sello entre el cilindro y el cabezal. Los agujeros a veces son abocardados en las dos caras para evitar zonas " muertas " (de baja velocidad) entre ellos. Las superficies del sello deben mantenerse limpias y sin abolladuras para evitar fugas durante la operación.

2.2.2 MALLAS

Filtran la contaminación, tal como trocitos de concreto, piedra, metales, madera, papel, plástico degradado, etc. El paquete de tres o más mallas se coloca en el portamallas al lado del tornillo, con la malla más fina hacia el tornillo; por ejemplo, 8+16+24 hilos por cm (20 + 40 + 60 hilos por pulgada).

Las mallas gruesas apoyan a las mallas finas para evitar una rotura, lo cual puede dañar la boquilla o la superficie de los rodillos enfriadores. Los paquetes tipos " emparedado ", con las mallas más finas en el centro y las mallas más gruesas a los dos lados, son más caros, pero aseguran que se colocan bien porque no importa en que dirección se instala.

Las mallas a veces se usan para aumentar la presión en el cabezal y de esta manera mejoran el mezclado, pero lo que ocurre realmente es que la contaminación tapa las mallas y así aumenta la presión. Esto es difícil de controlar y no es un método recomendable.

Una presión alta en sí no rompe las mallas, pero se romperán si hay una diferencia de presión muy grande a través de las mallas. Un problema serio es la cinta adhesiva de poliéster que se encuentran en muchas fabricas, la cual no funde a las temperaturas de extrusión más comunes y puede tapar las mallas si entra el sistema.

Las mallas se desechan después de cierto tiempo de usarse. Se pueden limpiar, pero esto representa mucho trabajo y problemas. Muchas veces se desgarran al retirarlas y entonces su uso dejaría pasar la contaminación. Además, siempre hay partículas de contaminación encerradas entre los hilos, y si las mallas usadas se instalan en la dirección opuesta al uso anterior, pueden contaminar el producto.

2.2.3 CAMBIADOR DE MALLAS

Este dispositivo permite cambiar las mallas sin retirar el cabezal, ahorrando tiempo y desperdicio. Los más simples requieren que la línea se interrumpa, el cabezal se afloje y entonces un nuevo portamallas se coloca desplazando al interior. Los modelos mejorados tienen un sistema sellado que permiten que la línea no se suspenda. Algunos de estos facilitan la producción al llenar la cavidad con material fundido poco antes del cambio; así elimina el aire caliente el portamallas. Sin embargo, el cambio brusco en la presión puede afectar las dimensiones del producto y se necesita atención durante el cambio para evitar un desperdicio mayor.

La malla continua arrastra continuamente una malla en forma de tira a través de la dirección de flujo, manteniendo la presión relativamente constante, porque se mueve más rápido a mayor contaminación y viceversa.

2.2.4 ABRAZADERAS

Es una piedra gruesa de acero que amarra el cabezal al final del cilindro. El diseño básico tiene cuatro tornillos en las esquinas, los cuales deben apretarse uniformemente para evitar fugas. Estos tornillos están unidos al extremo del cilindro y pueden abrirse cuando se aflojan las tuercas. Las tuercas deben permanecer en los tornillos para evitar que se pierdan. Los tornillos pueden unirse al cilindro mediante unos pernos que se pueden romper si la presión se eleva demasiado. Es importante conocer los límites de presión de estos pernos y saber donde se encuentran los repuestos.

Abrazaderas de apertura rápida tienen sólo uno o dos tornillos, los cuales unen ciertas partes de la abrazadera. Este tipo de abrazadera es útil para PVC, porque la limpieza tiene que hacerse rápidamente para evitar la descomposición del material.

Muchas abrazaderas tienen bisagras que facilitan el cambio rápido de las mallas. El perno de la bisagra debe estar al lado opuesto al operador y debe poder quitarse para retirar toda la abrazadera junto con el cabezal, si aquello tiene su propio soporte.

Las abrazaderas tienen calefacción para compensar las pérdidas por radiación, pero raramente se aíslan.

2.2.5 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

En cada zona del cilindro, cabezal y boquillas se mide la temperatura del proceso, normalmente con termopares. También, en el cabezal hay un termopar que penetra en la corriente de material fundido alrededor de 5 mm (0.2 in). Casi nunca se usan para retroalimentar el sistema de control, pero aún es útil, ya que la temperatura del fundido tiene relación con la resistencia en el cabezal y el enfriamiento del producto y además puede indicar una posible degradación.

Si no hay un termopar en el cabezal, se puede medir la temperatura del material con un pirómetro de aguja sumergido en el material cuando sale, o con una " pistola " que responde a rayos infrarrojos.

2.2.6 MEDICIÓN DE PRESIÓN

Los manómetros consisten en un diafragma metálico el cual transmite la presión a una columna de mercurio, grasa ó a una varilla. Esta señal va al indicador, el cual puede generar una señal eléctrica para mostrar la presión, para recordarla, para mantenerla constante, o para cambiar las mallas, según se necesite. La presión refleja directamente la pulsación (surging) con los correspondientes cambios dimensionales en el producto.

Algunos manómetros de grasa, abiertos a la corriente del material plastificado, aún se usan; son los más baratos, pero causan problemas cuando la grasa se fuga al plástico, o cuando el plástico entra al depósito de grasa. Deben montarse debajo de la corriente de material plastificado.

Dos manómetros, antes y después del portamallas, pueden indicar la cantidad de contaminación retenida por las mallas y pueden indicar cuando cambiar las mallas, o aún hacerlo automáticamente.

2.2.7 ADAPTADOR

Es la pieza que conecta el cabezal al cilindro, en el cual se localizan el termómetro del fundido, el manómetro y la válvula, si la hay.

2.2.8 VÁLVULA

Es una barrera ajustable al flujo, la cual incrementa la presión sin taparse (no como las mallas). Un incremento en la presión es útil para llenar canales parcialmente vacíos o para mejorar el mezclado. La válvula es normalmente una flecha de acero con un extremo en forma de esfera, ajustando al adaptador. La esfera es móvil hacia arriba ó abajo, manual o automáticamente. El control del flujo es grande sólo cuando la válvula está cerrada. Se encuentran las válvulas raramente excepto con sistemas de venteo.

2.2.9 MEZCLADOR ESTÁTICO

Es una extensión del adaptador en el cual el material fundido se reparte muchas veces para mezclar y dispersar. Siempre aumenta la resistencia al pasar a través de estos dispositivos, lo cual puede aumentar la temperatura. Algunos son más fáciles de limpiar que otros. Los mezcladores normalmente exigen un soporte para el cabezal si no se dispone de uno.

2.2.10 MEZCLADOR DINÁMICO

Es un dispositivo colocado al final del tornillo, el cual se mueve para romper las líneas de flujo del material fundido igual que el mezclador estático. Algunos mezcladores dinámicos son extensiones del tornillo, mientras que otros se mueven con sus propios motores.

2.2.11 CABEZALES DE COEXTRUSIÓN

Son dispositivos que unen dos o más corrientes de plástico y las alimentan a una sola boquilla para fabricar un producto de multicapas. Los flujos deben ser similares para producir capas uniformes, y algunas veces se necesitan capas adhesivas para unir polímeros incompatibles. El uso del producto recuperado puede ser un problema.

2.3 BOQUILLAS DE EXTRUSIÓN

La boquilla (el dado) es la parte final del cabezal que forma el perfil deseado. Una rendija larga produce película plana o lámina, una rendija circular produce tubos o película tubular, y muchos agujeros producen hilos como spaghetti para ser cortado en gránulos. A continuación se presentan los principios básicos que aplican a todas las boquillas.

Resistencia. La resistencia al flujo a través del cabezal y la boquilla (incluyendo el portamallas y las mallas) debe ser vencida por el extrusor. Se ve como presión desarrollada al fin del tornillo, también llamada contrapresión.

Esta resistencia puede ser muy alta o muy baja y depende de las dimensiones interiores del cabezal y del material extruido. Es una de las demandas de energía del motor (las otras son para girar el tornillo y funde el material), por eso, un cambio en la resistencia al flujo en el cabezal y sobre todo por la boquilla puede influir en todo el proceso. En general, más resistencia aumenta la temperatura del fundido y baja la producción por HP, pero da mejor mezclado.

En la sección del cabezal / boquilla, casi toda la resistencia proviene de las siguientes fuentes:

- a) Mallas, especialmente si están tapadas.
- b) Válvula ajustada a presión elevada.
- c) Restricciones de flujo dentro del cabezal, como los mandriles espirales.
- d) La abertura de los labios de la boquilla, ya que la resistencia se genera en proporción inversa al cubo de la abertura. Así, una abertura de 1mm (40 mil) produce un octavo de la resistencia de una de 0.5 mm (20 mil), todo lo demás manteniéndose igual.

La abertura de la boquilla es el factor más importante en muchos casos y además es el que se puede ajustar más fácilmente por la magnitud de la abertura y por su temperatura (mayor temperatura en los labios = a menor resistencia).

Hidrodinámica. El camino por el cabezal y boquilla debe ser tan hidrodinámica como sea posible, en parte para reducir la presión en el extrusor ó bien para evitar zonas de baja velocidad.

Estas zonas provocan que un cambio de resina o color tome más tiempo, o peor aún, promueve la degradación del material, aparición de tono amarillento, formación de geles y en casos severos carbonización del material y corrosión de las superficies internas del sistema. La degradación se llama “quemado”, no obstante que no hay llamas.

Este material carbonizado puede romperse en pequeños trozos y mezclarse con el fundido, contaminando el producto. También, estas partículas pueden acumularse en los labios, donde causan rayas en el producto. Con PVC la degradación es autocatalítica; una vez que comienza se extiende rápidamente y la producción debe suspenderse.

No es necesario tener un diseño completamente hidrodinámico, pero se prefiere tener ángulos pequeños como en boquilla A; 30 grados o menos es normalmente suficiente. En boquilla B, la descomposición del fundido es muy probable en los rincones fuera de las líneas de flujo. Además, los cambios bruscos de dirección aumenta la resistencia y así calienta más el fundido. Diseños en “B” a veces se hacen para bajas cantidades o pruebas.

Calefacción. El cabezal siempre tiene calefacción por las siguientes razones:

- a) Para arrancar con seguridad a presión razonable.
- b) Para compensar las pérdidas por radiación (los calentadores funcionan también como aislantes).
- c) Para controlar la temperatura, manteniéndola uniforme o variable si se desea (p. ej., calentar los extremos de la boquilla larga para promover el flujo hacia ellos)
- d) Para reducir la viscosidad sobre las paredes interiores del cabezal, reduciendo la resistencia (labios calientes en la boquilla)
- e) Para obtener un mejor brillo y menor hinchamiento

La calefacción del cabezal no afecta mucho la temperatura promedio del material fundido, menos en los muy grandes. En los otros, el tiempo de pasaje es muy corto y no basta para que pase mucho calor.

Materiales de Construcción. La mayoría de los cabezales de extrusión se fabrican con acero. Algunas veces los labios y los insertos se endurecen para reducir el desgaste y algunos tienen labios de baja fricción hechos de metal impregnado de fluoroplástico. Algunas veces se usan tornillos de ajuste de bronce (no se corroen, menor fricción, se rompen si la presión excede ciertos límites). El cromado se usa para prevenir corrosión (PVC) y para reducir la fricción, pero debe ser una capa gruesa. Con una buena purga y buenos procedimientos de limpieza, el cromado puede no ser necesario, aún para PVC rígido.

Algunos plásticos como el PVDC necesitan metales anticorrosivos, no solamente para los cabezales, sino también para los tornillos y los cilindros.

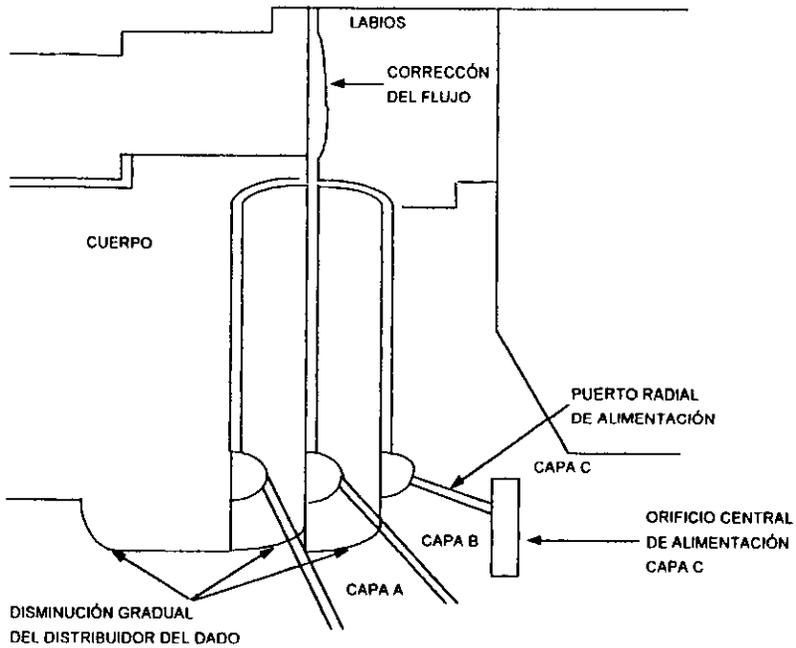


FIGURA 2.3 DADO DE COEXTRUSION CON TRES CAPAS.

Control de Dimensiones. El producto final nunca es exactamente igual a la abertura. Lo que sale de la boquilla se encoge, más en las esquinas y aberturas pequeñas que las partes centrales o más gruesas. El diseño del interior también tiene sus efectos. Se diseñan los cabezales y boquillas teniendo estos factores en mente y para algunos perfiles se requiere mucho esfuerzo de prueba y error.

Para productos planos y largos, una hilera de tornillos de ajuste corre a través de los labios, a veces con otra hilera en el interior (barra obturadora). Los tornillos de los labios y de la barra se ajustan manualmente según se necesite. Algunas boquillas planas tienen hileras de resistencias eléctricas, las cuales se regulan automáticamente (por expansión de los tornillos de ajuste) fabricando el espesor del producto a lo largo de la boquilla. Un medidor de espesores recorre la lámina o película y retroalimenta a las resistencias correspondientes.

Para otros productos, hay tornillos de centrado o de ajuste en el cabezal ó todo es construido con dimensiones fijas. El espesor total promedio depende de la velocidad de estirado, un mayor estiramiento adelgaza el extruido.

Todos los plásticos al salir de la boquilla se hinchan entre 5 - 75 % ; lo cual depende de :

- a) Material: las poliolefinas hinchan más y hay variaciones entre ellos.
- b) Temperatura más frío, más hinchamiento.
- c) Diseño interno de la boquilla; el hinchamiento es menor si las longitudes de las pistas (lands) son mayores y si el diseño es más hidrodinámico. Las pistas son las superficies internas de los labios normalmente paralelas y su longitud está en la dirección de flujo.

Orientación. Cuando el extruido empieza a enfriarse sus moléculas se extienden en la dirección del estirón. Esta orientación produce un esfuerzo direccional (una dirección más fuerte que la otra). Normalmente no es deseable excepto para las cintas y filamentos donde se aplican maquinaria y condiciones especiales, para que el mejoramiento de propiedades sea el máximo. Es posible estirar en dos direcciones (ancho y largo, simultáneamente ó una después de la otra) y así producir películas y láminas biorientadas.

En los otros casos, para minimizar la orientación no deben abrirse los labios de la boquilla más de lo necesario (no estirar demasiado), y mantener la temperatura del extruido más alta, teniendo en cuenta la capacidad del enfriamiento y la posibilidad de la degradación.

Diseños por computadora. Los diseños de los cabezales / boquillas se prueban en programas de computadora ya desarrollados. Esta tecnología cambia día a día, y cualquiera que se interese en estos deben consultar con los proveedores de equipo y resinas para los últimos acontecimientos.

También hay ecuaciones que necesitan una calculadora solamente. Estas relacionan la producción, la resistencia (presión), las dimensiones, y la viscosidad del material. Si se conocen tres de estas, es posible obtener la cuarta. Para obtener buenos resultados confiables de la viscosidad a varias temperaturas y velocidades.

2.4 FUNCIONAMIENTO DE LAS ZONAS DEL CILINDRO

1. Zona de alimentación. En la mayoría de los casos, los gránulos en la tolva cae por la gravedad al tornillo, a través del agujero en la tolva pared del cilindro (este pasaje vertical es la garganta, muchas veces enfriado por agua para evitar que el material se pegue y se bloquee) La zona de alimentación ocupa de 3 a 10 pasos del tornillo mientras que la profundidad del canal se mantiene constante. Cuando los gránulos llegan al cilindro, son empujados hacia adelante por las hélices del tornillo. La capacidad de esta zona para capturar los gránulos (la mordida) depende de la forma de la partícula, su lubricidad y la interacción de la temperatura de la superficie de los gránulos con la temperatura del interior del cilindro. Esta temperatura controla la fricción de los gránulos sobre la pared del interior del cilindro. Típicamente una pared más caliente en esta zona produce más, pero no es cierto, porque a altas temperaturas la capa fundida sirve como lubricante y se opone a la adherencia. Existe mucha información sobre la variación de la fricción con la temperatura, pero generalmente es más fácil y más confiable averiguar cada uno con su propio material, probando diferentes temperaturas de la zona de alimentación para observar el efecto en la producción.

Esta información puede ser útil para comprender y controlar el proceso.

La mordida es normalmente del 20 al 40 % de la mordida ideal o “ perfecta “ , en la cual el primer paso completamente se vacía para cada revolución

El tornillo se diseña tomando en cuenta esta ineficiencia, es decir, el canal en la zona de alimentación es 2 a 4 veces más profundo que el requerido solamente para la compresión.

Mordida perfecta = $6.126 (D-h) DNhF$ lb/hora, D y h en pulgadas
 = $0.129 (D-h) DNhF$ Kg/hora, D y h en centímetros.

Donde :

D = Diámetro del cilindro.
 h = Profundidad del canal.
 N = Número de revoluciones por minuto, rpm.
 F = Densidad del material del material alimentado, g/cm^3 .

Esta relación de mordida, no es siempre la más adecuada, porque el extrusor puede “morder” más de lo que puede “masticar” , produciendo sobrecalentamiento y posible degradación del material, normalmente al fin de la zona de compresión. Una mordida pequeña provoca una producción más baja, lo cual puede indicar deslizamiento en la pared del cilindro o adherencia en la base del tornillo, posible bloqueo en la tolva o en la garganta, o un tornillo con longitud insuficiente.

Para las formas normales de los plásticos -- cilindros o cubos o productos molidos -- la alimentación por gravedad es suficiente. Al contrario, con el polvo y las películas, filamentos y espumas trituradas, la gravedad no sirve. Aún si se dejan caer los pedazos por la tolva directamente sobre el tornillo, un tornillo hecho para gránulos no es suficiente, con una producción baja y no uniforme. Esto puede evitarse con:

- a) Máquinas especiales, como el extrusor de doble tornillo. También extrusores de un tornillo sirven con un gran diámetro en la zona de alimentación que permite canales más profundos ó un tornillo normal con paso más grande en la zona de alimentación.
- b) Compresión de la alimentación en la tolva.
- c) Compactación antes de poner en la tolva.
- d) Alimentación continua de la película o filamentos sin trituración directamente a la garganta o el venteo del extrusor, a veces con ayuda de rodillos.

Cilindros rugosos. Tienen ranuras axiales o helicoidales en la zona de alimentación y pueden mejorar la mordida (hasta 70 - 80 % de la ideal). Esto permite girar el tornillo más lento para producción equivalente, tal vez reduciendo la temperatura del plastificado. Una velocidad más baja implica un mayor torque con una sobrecarga posible del motor o el engranaje o la ruptura del tornillo, si no es previsto en el diseño y construcción del sistema. El desgaste de las ranuras y hélices en estas zonas pueden ser severo a menos que se usen metales muy duros. El control de la temperatura en la zona rugosa es crítico. Por estas razones, la alteración de una máquina ya disponible no es recomendable

Obstrucciones. Algunas veces la producción se detiene bruscamente sin razón aparente. La garganta no está obstruida pero los gránulos simplemente dan vueltas en el primer paso del tornillo. Esta situación se produce sea por a) un bloque de material parcialmente fundido, situado normalmente a la entrada de la zona de compresión ó b) material pegado a la base del tornillo

En el primer caso la producción se normaliza en poco tiempo pero el bloqueo vuelve a aparecer más tarde.

Remedios posibles: aumentar la temperatura de la alimentación (se funde más rápidamente), ó aumentar la temperatura de la segunda zona (pega mejor) ó cambiarla en la tercera y/ó el cabezal (baja la resistencia y así facilita que el bloque salga hacia adelante)

En segundo caso (cuando pega el tornillo) es difícil manejar sin parar la máquina. A veces una mordida mejor puede abrir el canal ó un tornillo más caliente derrite el material pegado. Si está bien pegado, se necesita una purga, tal como una mezcla del mismo material con carga, abrasivo o diluyente.

Si estas medidas son insuficientes, se debe parar y limpiar el tornillo y después evitar las condiciones que pueden producir tal problema: no deje nada en los primeros pasos sin girar el tornillo ó enfríe el tornillo si es posible.

2. Zona de compresión. En la zona de alimentación el canal tiene profundidad constante. Ahora, en la zona de compresión, el canal se hace más pequeño conforme el plástico viaja los gránulos se calientan, principalmente por la fricción entre gránulos y entre el plástico y el metal, y el material fundido se junta en la superficie de la hélice que empuja. Una parte del fundido se fuga por la holgura al canal anterior. El aire entre los gránulos no puede moverse hacia el cabezal (no tiene lugar donde ir) mientras que la "cama" de sólidos es comprimida más y más conforme el canal se hace más pequeño. Esta cama actúa como tronco en un río, rompiéndose irregularmente y causando cambios en la presión, amperaje y producción. Esta variación se llama pulsación (surging) Algunas veces ayuda un cambio en la temperatura del cilindro ó material. Otras causas de pulsación son variación en la temperatura de la alimentación, en el tamaño de partícula y/ó lubricidad de la superficie. En casos extremos solamente una bomba de engranes puede eliminar el problema. Se sabe si hay pulsación por la variación del amperímetro sobre un minuto o más : 1 % es bueno, 5 % no muy bueno y 10 % o más es muy malo. La presión en el cabezal también muestra pulsación.

3. Zona de mezclado. Al final de la zona de compresión, idealmente el plástico está fundido, esto nunca pasa realmente y se necesita una zona final de mezclado para obtener uniformidad del material y de la temperatura. Los canales son de profundidad constante, el material se adhiere a las superficies y el movimiento del tornillo arrastra el plástico hacia adelante para vencer la resistencia del cabezal, el tornillo puede recibir ayuda por la presión originando por sobrealimentación ó puede perder producción por alimentación deficiente.

La producción de esta zona será, de no tener cabezal, presión excesiva en el cilindro, alimentación deficiente, calculada por:

$$\text{Flujo por arrastre} = 2.6420 D^2 H n p \text{ lb / h, } D \text{ y } H \text{ en pulgadas}$$

$$= 0.0732 D^2 H n p \text{ Kg / h, } D \text{ y } H \text{ en centímetros}$$

donde:

- D = diámetro del tornillo.
- n = número de rpm del tornillo.
- H = profundidad del canal en esta zona
- p = densidad del material fundido, g / cm³

Note que se usa la densidad del fundido y no la del sólido. Altas densidades de los fundidos son

ABS-----	1.00
Nylon 6 ó 66-----	0.98
PET Poliéster-----	1.21
Poliestireno-----	1.00
Polietileno AD-----	0.78
Polietileno BD-----	0.76
Polipropileno-----	1.27
Ver referencia bibliográfica no 24	

Se puede usar el flujo por arrastre (FPA) para identificar problemas. Si la producción real está muy por arriba del FPA, hay sobrecalentamiento al final de la zona de compresión, una muy alta presión ahí, tal vez un desgaste en la misma zona. Si la producción real está muy por debajo del FPA (más de 20%), habría gran resistencia en el cabezal o problemas en la zona de alimentación.

2.5 CALENTAMIENTO, ENFRIAMIENTO Y ENERGÍA

Los calentadores se necesitan en toda la máquina durante el arranque. También son útiles durante la operación -- en la primera sección del extrusor para obtener la mordida, en las otras secciones para añadir calor cuando se necesite y en el cabezal para compensar las pérdidas por radiación y para controlar espesor. La precalificación de la materia prima también es deseable para controlar la mordida, para obtener una temperatura uniforme en la alimentación y para reducir la carga en el motor, así como un uso común para el secado.

Los calentadores del cilindro son normalmente bloques de aluminio fundido con alambres en el interior (aislado), ó anillos de segmento de cerámica cubriendo los alambres, con una cubierta aislante sobre todo. Los calentadores del cabezal pueden ser de esos tipos, ó cartuchos colocados en agujeros en el cuerpo de acero ó bandas de mica (emparedados de mica y acero con alambre, ajustados a la forma deseada). Los bloques de aluminio, los cartuchos y las bandas de mica necesitan una buena superficie de contacto mientras que los segmentos de cerámica no requieren.

El enfriamiento se usa para contrarrestar el sobrecalentamiento, el agua es lo más eficiente y corre a través de los tubos en el interior de los bloques o localizado en los canales en la superficie exterior del cilindro. El enfriamiento por aire, el calor se va a la atmósfera alrededor del extrusor. Con agua, el calor se va por las cañerías. El enfriamiento se actúa o se apaga por controladores, pero su magnitud es además controlada por válvulas ajustadas a mano (para agua) o compuertas en los sopladores (para aire)

“ Control de temperatura “ normalmente significa control de las superficies metálicas internas y no del plástico. Hay muchos desarrollos en este campo, tales como controladores autoajustables que buscan la mejor combinación de las constantes, termopares gemelos que toman en cuenta la masa térmica entre el calentador y la superficie del cilindro y los instrumentos a base de circuitos semiconductores, baratos y durables.

Los calentadores son importantes, pero normalmente el motor es la fuente del calor más importante a través de la fricción en el cilindro, con excepción de algunas máquinas pequeñas o de doble tornillo. La precalificación también puede proporcionar hasta 25% de la energía. Los extrusores normalmente muy eficientes: utilizan de un 30 al 70% de la energía usada para fundir el plástico. Por lo tanto, los cambios para ahorrar energía deben ser siempre, justificarse con dinero ahorrando, no solamente el porcentaje de ahorro.

Un cálculo útil es la eficiencia aparente, = la producción horaria por HP o Kw usado por el motor.

Este valor permite la estimación de la capacidad de una línea y el costo de electricidad, y puede indicar cambios en la materia prima para los sistemas CD (corriente directa), se pueden calcular los amperios y rpm. si se sabe los máximos de rpm. y voltaje:

$$\text{rpm. actual} / \text{rpm. máximo} * \text{voltaje} = \text{voltios}$$

$$\text{voltios} * \text{amperios} = \text{vatios}$$

$$\text{vatios} / 1000 = \text{Kilovatios} \dots \text{vatios} / 746 = \text{HP}$$

eficiencia aparente = producción por hora, potencia en libras por hora, caballos (HP) ó Kilogramos por hora, Kilovatios

El valor en Kg/h por Kw es alrededor de 60% de lb/h por HP. A veces se ve una unidad mixta, Kg / h-HP. No importa cual se usa, se debe usar la misma cuando se compara.

Los valores entre 2.7-3.6 Kg/h por Kw (4.5 y 6 lb/h por HP) son bajos pero normales para el polietileno de alta densidad o ABS. Polietileno de baja densidad y poliestireno alcanzan hasta 6 Kg/h por Kw (10 lb / h por HP) y aún más con precalificación.

Con PVC y PET se ve más de 6 Kg/h por Kw (10 lb/h por HP) ya que son muy pesados, con densidades de casi 1.4 g / cm³.

2.6 AJUSTES DE CONDICIONES

Se refiere a las condiciones del cilindro y del cabezal, a veces llamadas “ el perfil “. la mayoría de la gente sabe cómo seleccionarlas a través de los operarios más experimentados ó través de la literatura de un fabricante del material. Sin embargo, es bueno entender las razones detrás de los números, porque siempre hay nuevos materiales y también la manera más usual no es siempre la mejor .

La importancia del perfil algunas veces se sobrestima, es claro que estas temperaturas afectan al proceso, pero otras cosas lo afectan también, tales como la selección del material, el porcentaje del reprocesado, condiciones de estirado, etc. No hay perfil ideal y un perfil adecuado no puede eliminar muchos problemas. No se debe olvidar tampoco que son las temperaturas del cilindro que controlamos, no las plástico. Es posible controlar la temperatura del fundido también, pero no es usual.

Aún más importante que los valores de las temperaturas es la variabilidad. Las variaciones, especialmente aquellas en la primera zona del cilindro, producen variaciones en el espesor de los productos.

¿ Como ajustar las temperaturas si no hay información disponible ?

¿ Es un perfil normal que la temperatura aumente conforme el material viaja en el extrusor?

¿ Que pasa con un perfil invertido (más caliente en las primeras zonas) ?

¿ Que pasa con un perfil con temperatura máxima en el centro ?

No hay un perfil mejor que otro; cada temperatura debe ajustarse con base en lo que acontece en su zona.

En la primera zona; la temperatura de la zona de alimentación (TZA) controla la adherencia del material al cilindro. De esta manera afecta la mordida y es normalmente la temperatura más importante. Demasiada adherencia produce una sobrealimentación, con un sobrecalentamiento al final de la zona de compresión. Una adherencia muy pequeña implica condiciones de sobrealimentación, con una menor producción por rpm. No es posible decir con exactitud el efecto de la TZA, aunque muchas veces una TZA más alta mejora la mordida. Lo mejor es hacer una prueba y variar la TZA en intervalos amplios para ver lo que pasa. El perfil de temperatura debe ser acorde con el material alimentado y las propiedades de la película a obtener, por lo que no existen sistemas iguales para generalizar temperaturas de zona de alimentación.

En la primera mitad de la zona de compresión se origina el fenómeno de pulsación con frecuencia, al presentar perfiles de temperatura inadecuados.

Deber existir una adherencia mínima para favorecer la circulación de las partículas y así evitar taponamientos. Como en la zona de alimentación, es fácil predecir la mejor temperatura. La experiencia o algunas pruebas son las mejores guías.

La segunda mitad de la zona de compresión es el lugar donde se encuentra presión y temperatura excesiva bajo condiciones de sobrecalentamiento. En tal caso, la tercera zona (mezclado) tiene una temperatura mayor que la deseada. Si esto ocurre, las condiciones de alimentación podrían cambiarse para reducir la mordida además de (ó en lugar) enfriar dicha zona.

La zona de compresión normalmente no necesita calefacción cuando el extrusor trabaja ya que el calor producido por fricción es suficiente. La última zona de (mezclado) puede también no necesitar calor, excepto para algunos plásticos especiales y para películas planas para recubrimientos. Hay que usar el enfriamiento con precaución ya que a veces se puede eliminar el origen del sobrecalentamiento en vez de enfriar -- estos orígenes pueden ser sobrealimentación, plásticos inadecuados, cabezal demasiado frío, exceso de fricción por el diseño del tornillo, RPM muy altas, etc. Con máquinas pequeñas se necesitan calentar todas las zonas, porque ellas trabajan a bajas RPM y hay poca fricción.

El cabezal casi nunca se enfría, pero se calienta para arrancar, para compensar las pérdidas por radiación y algunas veces para controlar la temperatura de la superficies internas. Esto puede afectar la producción, algunas veces con el resultado extraño de que un cabezal más caliente produce un producto más frío, ya que la presión baja y se necesita menos energía en el proceso.

La calefacción del cabezal en ciertas zonas puede favorecer o impedir el flujo en dichas zonas (mayor temperatura, mejor flujo). Además, más temperatura en los labios de la boquilla produce mejor brillo con menos hinchamiento y orientación.

La temperatura del tornillo se ajusta manualmente; un termómetro en la línea mide la temperatura del aceite ó agua. ¿Porqué enfriar un tornillo?

1. Para evitar degradación en la punta del tornillo con PVC rígido. Una temperatura de 125 - 150 °C, si es más fría habría una mayor resistencia a la punta y por eso más calor en la última zona del tornillo.

2. Para un mejor mezclado. Se necesitan temperaturas por debajo de 100°C para tener un efecto apreciable.

3. El enfriamiento del tornillo en la zona de alimentación evita que el material se adhiera a la base del tornillo, un problema que se presenta con algunos plásticos.

2.7 CONTROL DE PROCESO

Los micros procesadores facilitan e integran muchas operaciones de control, tales como:

1. medición del espesor en la línea con retroalimentación al tornillo ó jalador para mantener el espesor constante.
2. Medición de presión en el cabezal, con retroalimentación al cambiador de mallas .
3. Arranque con condiciones preestablecidas y mantenimiento de dichas (u otras) condiciones durante la operación.
4. Alarmas y acciones correctivas cuando ciertas variables medidas exceden límites preestablecidos.
5. Captura de datos continua y eficiente así como análisis de los mismos.
6. Transmisión de datos a larga distancia.
7. Control del material, incluyendo sensores en los ductos y tolvas para saber que se mueve, cuanto y donde.

No hay que confundir el control del microprocesador con el control de temperaturas, el cual es solo parte de un sistema más completo. La captura de datos, su análisis y su transmisión son igualmente importantes. Algunas veces el mejor conocimiento del proceso por este medio puede pagarse por sí mismo.

CAPITULO 3

DESARROLLO EXPERIMENTAL

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 COSIDERACIONES REOLÓGICAS

La reología del polímero es importante en el diseño de dados, tornillos y distribuidores. El control de la viscosidad es muy importante como característica reológica, siendo esta una herramienta de correlación para la ejecución de la extrusión. Algunas de las observaciones del problema de fabricación, pueden estar relacionados por la viscosidad del flujo del polímero incluyendo lo siguiente:

1. Defectos en la superficie del material causados por fractura en el fundido.
2. Diferentes niveles de ajuste en el dado.
3. Diferentes orientaciones en la película.

En coextrusión, los fenómenos correlacionados con el control de la viscosidad, incluyen problemas como el espesor de las capas, variación de calibre a través de lo ancho de la película, inestabilidad interfacial ó inestabilidad elástica.

La influencia de la viscosidad sobre el polímero extruido requiere la introducción de algunos nuevos términos. La figura 3.1, ilustra un flujo de material con forma de emparedado entre laminas estacionarias de flujo en la parte inferior y movimiento de las laminas superiores a una velocidad (V). El movimiento de las laminas aplica a la fuerza del fluido en la dirección de las laminas en movimiento. El esfuerzo cortante (S) es definido como la fuerza dividida entre el área de superficie (F / A), lb / in^2 . La velocidad cortante (G) es definida como el cambio en la velocidad del perfil, como una función de la distancia a través de la abertura entre las laminas (dV / dY), $1 / \text{seg}$. La viscosidad (N) es definida por la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad cortante (S / G), $\text{lb} \cdot \text{seg} / \text{in}^2$.

Cuando el valor del esfuerzo cortante y la velocidad cortante son determinados con instrumentos tales como reómetros capilares y los resultados son puntos introducidos en los diagramas $\ln (S)$ vs $\ln (G)$, dos tipos de estas curvas son mostradas en la figura 3.2. La primera es una función lineal, este fluido es nombrado como fluido newtoniano. El segundo ejemplo es una línea curva y es nombrado como fluido no newtoniano. Este valor puede pertenecer a un punto dentro de un diagrama $\ln (N)$ vs $\ln (G)$.

La viscosidad de un polímero es determinada por un número de parámetros moleculares, incluyendo peso molecular (melt index), distribución de peso molecular, cadenas de peso molecular largas y cortas en la estructura del polímero.

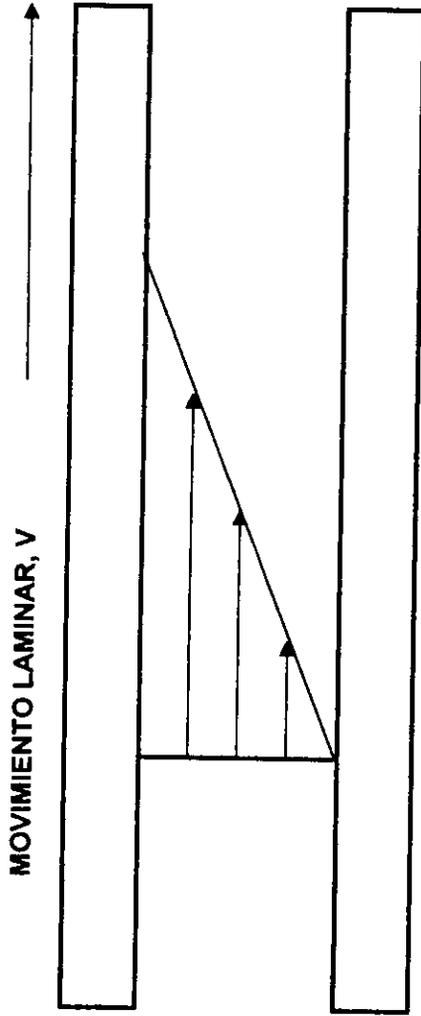
Primeramente, un ejemplo que deberá dar el flujo en forma de emparedado, entre una pared estacionaria y una en movimiento, notando en el perfil de velocidades un incremento en la parte superior de la pared. En el dado, el flujo ocurre entre dos paredes estacionarias, como se muestra en la fig. 3.3. Aquí la velocidad de las paredes es cero y un máximo en el centro del flujo.

Renombrando la velocidad cortante como proporcional a el declive del perfil de velocidad, es máxima en el centro del canal y mínima en las dos paredes. La viscosidad de los polímeros determina la forma del perfil de velocidad.

La viscosidad de algunos polímeros termoplásticos es compleja cuando sufre cambios la velocidad cortante. También, la velocidad cortante del polímero depende de la localización del flujo en el canal. Dentro de la coextrusión, la localización del polímero entre sus interfaces son dependientes de la viscosidad del polímero, las temperaturas, las velocidades de flujo y la geometría del canal del flujo.

El control de la viscosidad debe ser correlacionada con el flujo inestable con espesores de capas no uniformes provocando la inestabilidad interfasial entre los polímeros.

FLUJO NEWTONIANO



EL MOVIMIENTO LAMINAR APLICA UNA FUERZA AL FLUIDO

ESFUERZO CORTANTE (S) = F / A , PSI

VELOCIDAD CORTANTE (G) = dv / dy , 1/SEG.

VISCOSIDAD (N) = S / G , LBF - SEG / IN²

FIGURA 3.1. PRINCIPIO DE FLUJO DEL POLÍMERO - FLUIDO NEWTONIANO.

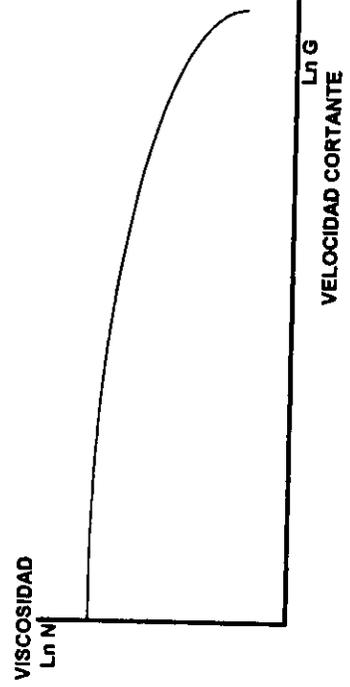
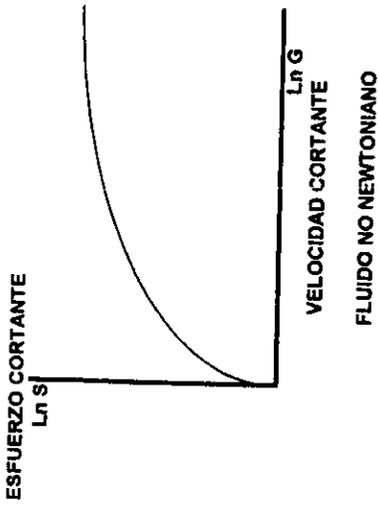
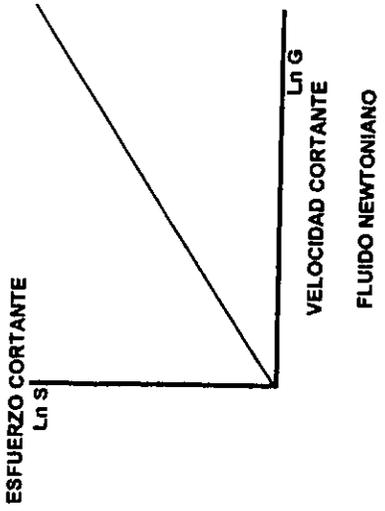
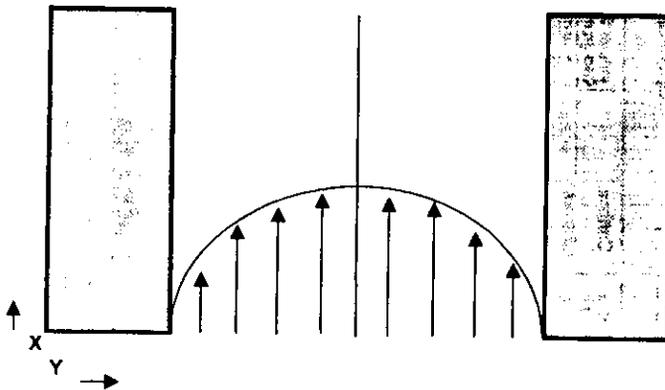


FIGURA 3.2 PRINCIPIO DEL FLUJO DEL POLÍMERO - FLUIDO NO-NEWTONIANO.

PRINCIPIOS DEL FLUJO DEL POLÍMERO
FLUJO DEL POLÍMERO A TRAVÉS DEL DADO
PERFIL DE VELOCIDAD



VELOCIDAD EN LA PARED ES 0

VELOCIDAD EN EL CENTRO ES MÁXIMA

VELOCIDAD CORTANTE ES MÁXIMA EN LA PARED

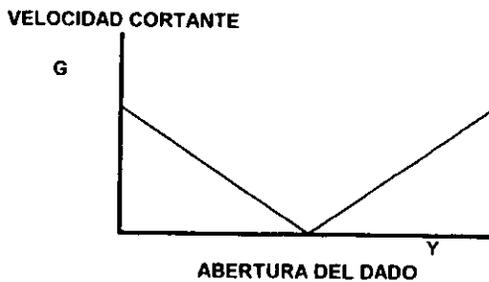


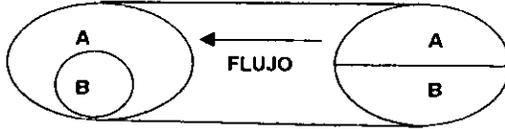
FIGURA 3.3 PRINCIPIO DE FLUJO DEL POLÍMERO A TRAVÉS DEL DADO - PERFIL DE VELOCIDAD.

3.1.1 VARIACIÓN DEL ESPESOR EN CAPAS

La importancia del control de la viscosidad, da como resultado capas uniformes. La figura 3.4 muestra el resultado de la distorsión entre los polímeros que son introducidos en un tubo capilar donde la viscosidad del polímero A es menor que la viscosidad del polímero B. La alta viscosidad del polímero A tiende a ser encapsulada por el polímero B. El grado de distorsión interfacial depende de la diferencia entre las viscosidades, la velocidad cortante y el tiempo de residencia del flujo dentro del canal. Este problema es particularmente común dentro de los dados, como son los dados anulares que tienden a ser más tolerantes a la viscosidad. Sin embargo, un buen diseño es requerido para obtener capas concéntricas en sistemas anulares.

Si las diferencias entre viscosidades causan distorsión entre las capas, esta reducción en la diferencia ayuda en la corrección de los problemas. Esto puede ser completado con el siguiente control:

1. Cambiar las temperaturas del proceso (disminuyendo la temperatura del polímero A, ó incrementando la temperatura del polímero B).
2. Cambiando polímeros (bajo índice de fluidez para el polímero A, o alto índice de fluidez para el polímero B).
3. Cambiando la relación de capa, por el incremento del espesor del polímero A, hasta incrementar la velocidad cortante del polímero B.
4. Reduciendo la viscosidad y reduciendo la velocidad cortante del polímero A, hasta incrementar la viscosidad.
5. Cambiando el diseño del equipo para recortar el flujo sobre el canal, reduciendo el tiempo de residencia ó reposicionando para disminuir las no uniformidades del dado. En el sistema de distribución (feedblock), aplica la destreza de formas en el diseño de los puertos de alimentación para poder compensar las no uniformidades.



VISCOSIDAD DE A < VISCOSIDAD DE B

VISCOSIDADES DIFERENTES

CAMBIO DE TEMPERATURAS DE PROCESO

DISMINUIR TEMPERATURA DE LA CAPA A

AUMENTAR TEMPERATURA DE LA CAPA B

CAMBIO DE RESINA

MENOR $M I$ PARA LA CAPA A

MAYOR $M I$ PARA LA CAPA B

CAMBIO DE RELACION DE CAPA

DISMINUIR CAPA A

CAMBIO EN EL DISEÑO DEL EQUIPO

FIGURA 3.4 DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE LAS CAPAS

3.1.2 INESTABILIDAD INTERFACIAL ELÁSTICA

Las distorsiones entre las capas son variaciones dentro del espesor a través de lo ancho de la película. La inestabilidad interfacial es resultado de un incremento de la rugosidad entre las caras de las capas como se muestran en la figura 3.5.

Como el grado (ó amplitud) de un incremento en la rugosidad de la capa, provoca la ocurrencia de una posible mezcla entre las interfases.

Entre polimeros la inestabilidad interfacial puede resultar un gran problema, tanto entre el polímero y la interfase del metal (melt fracture) dentro de las capas de la coextrusión.

El grado de inestabilidad entre los polimeros depende de las viscosidades de los polimeros, la estructura de la película, el diseño del equipo y las condiciones de operación.

Las inestabilidades interfaciales pueden generarse a bajas velocidades de salida, pero no se pueden detectar fácilmente y no interfieren con el funcionamiento de la película coextruida.

Para altas velocidades, la amplitud de la inestabilidad, pueden llegar a ser más severa. Si una larga amplitud de onda es desarrollada por el flujo a través del canal del dado, el gradiente de velocidad puede ser incrementado y doblado. Niveles extremos de doblaje pueden resultar en una mezcla de interfaces de las capas.

La reología del polímero tiene gran influencia en la inestabilidad interfacial, sin embargo, es posible la presencia de este fenómeno dentro de la coextrusión cuando corremos algunos de los polimeros con capas adyacentes.

La inestabilidad no tiene que ser definida por una condición reológica. Intentar relacionar la viscosidad ó esfuerzos cortantes entre las interfases de los polimeros para disminuir la inestabilidad interfacial es un buen propósito. Desafortunadamente los cálculos de estas variables son muy complejos y requieren de programas de simulación computarizada para determinarlas.

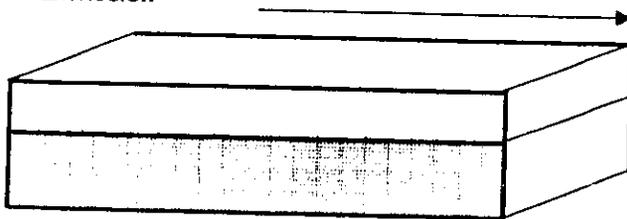
La fractura en el fundido es debida a la inestabilidad en el flujo posiblemente causada por un esfuerzo cortante crítico, alcanzado por la interfase polímero - metal.

El mecanismo actual para la inestabilidad interfacial o fractura en el fundido, es un fenómeno que debe estar identificado cuando ocurre en el área del dado, y la influencia de la geometría es severa.

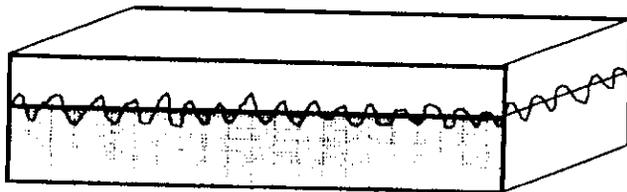
La inestabilidad interfacial puede ser reducida ó eliminada por los siguientes métodos figura 3.6 :

1. Incrementar el espesor de la capa del polímero.
2. Disminuir la viscosidad de la capa del polímero.
3. Disminuir la velocidad de salida total.
4. Incrementar la abertura en el dado.

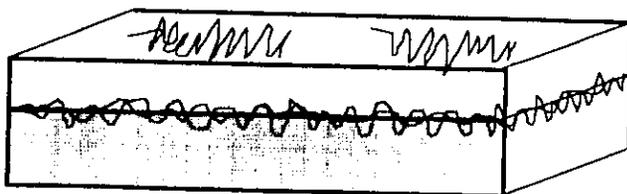
DIRECCIÓN DE EXTRUSION



FLUJO ESTABLE



PRINCIPIO DE INESTABILIDAD



INESTABILIDAD SEVERA

FIGURA 3.5 INESTABILIDAD INTERFACIAL ELÁSTICA.

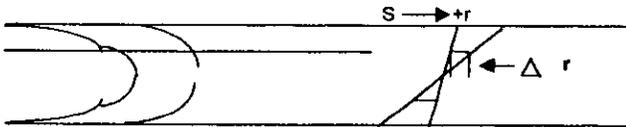
PERFIL DE VELOCIDAD



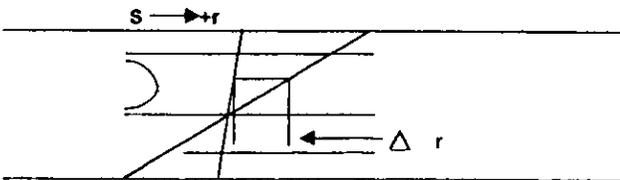
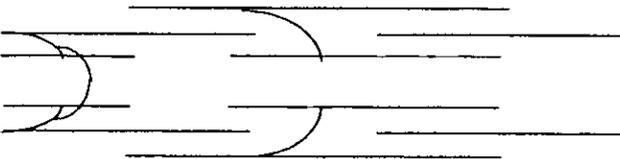
INCREMENTANDO ESPESOR DE CAPA



DISMINUYENDO LA VISCOSIDAD DE CAPA



DISMINUYE VELOCIDAD TOTAL



INCREMENTANDO ABERTURA DEL DADO

FIGURA 3.6 REDUCCIÓN DE INESTABILIDAD INTERFACIAL.

3.2 ESPECIFICACIONES GENERALES DE DISEÑO

Ancho máximo de película :	1422 mm (56 pulgadas)
Ancho nominal de rodillos :	1524 mm (60 pulgadas)
Velocidad de línea :	305 m / min (1000 FPM)
Ajuste de velocidad en línea :	15 m / min (50 FPM)
Tiempo de aceleración / desaceleración :	15 segundos
Rango de tensión en proceso :	0.125 PLI min - 1.25 PLI máx.
Tensión de embobinado :	3.17 - 31.7 Kg (7 a 70 lb)

CORTADOR LATERAL

Adaptador de orilla deslizable : 2 uno de cada lado.

EMBOBINADORES

Diámetro máximo de rollo :	1000 mm (40 pulgadas)
Peso máximo de rollo :	1088 Kg (2400 lb)
Tamaño de flechas :	3" ID & 6" ID
Materiales para core :	Fibra
Longitud de core :	1422 mm (56 pulgadas)
Rango de tensión de película :	11 a 70 lb total para todo el rollo

RODILLOS LOCOS

125 mm (4.9 in diámetro).
Capa de aluminio, con ventilación de aire
en surcos grabados, con movimiento libre

MATERIALES DE PROCESO

Tipo de material :	LDPE	LLDPE	LLDPE	PP
Manufactura de material :	TBA	TBA	TBA	TBA
Número de grado :	TBA	TBA	TBA	TBA
Índice de fluidez :	TBA	TBA	TBA	TBA
Temperatura de alimentación :	Ambiente	Ambiente	Ambiente	Ambiente
Densidad (Gravedad Esp.) :	0.92	0.92	0.92	TBA
Alimentación de material :	Pellets	Pellets	Pellets	Pellets
Densidad de vol / alimentación :	35 / ft ³			
Material reciclado :	21 %	21 %	21 %	21 %
Reciclado : pelusa :	6.0 / ft ³			
Tipo de aditivos :	Ti O / 4%	Ti O / 4%	Ti O / 4%	Deslizante
Temp. nominal de fundido :	500° F	500° F	500° F	TBA
Presión nominal de fundido :	3500 psi	3500psi	3500psi	TBA
Velocidad nominal (lb/hr) :				
Extrusor 3 ½ :	550-600	550-600	550-600	400
Extrusor 2 ½ :	250-300	250-275	250-300	200

EXTRUSOR

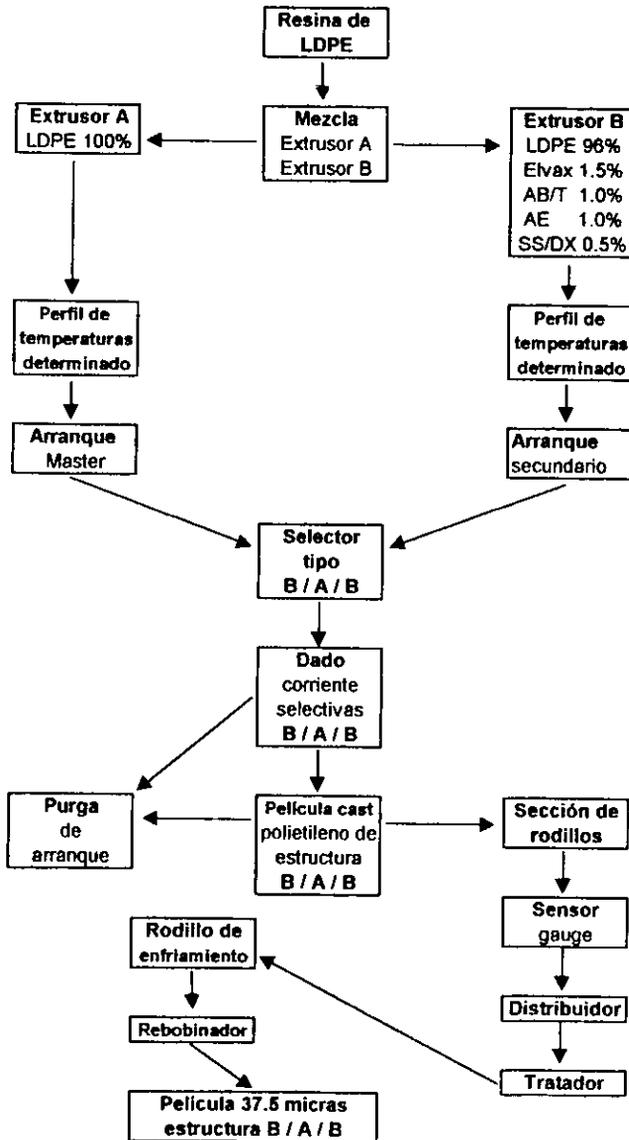
Diámetro de tornillo :	8.89 cm y 6.35 cm (3 ½ in , 2 ½ in)
Relación efectiva de L/D :	30 : 1
Tipo de filtros :	Deslizador manual de platos.
Tipo de adaptador :	Válvula en línea.

DADO

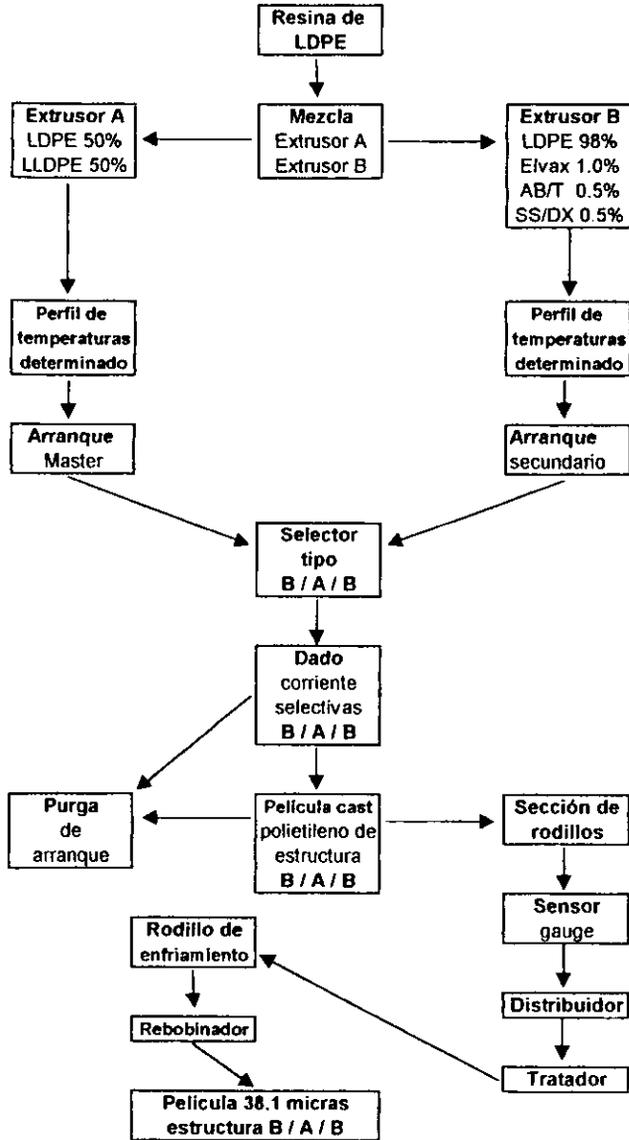
Tipo :	Automático.
Ancho :	185.42 cm (73 in)
Espesor de película :	0.6 - 3.0 mil (15 - 75 Micrón)

3.3 DIAGRAMA EXPERIMENTAL

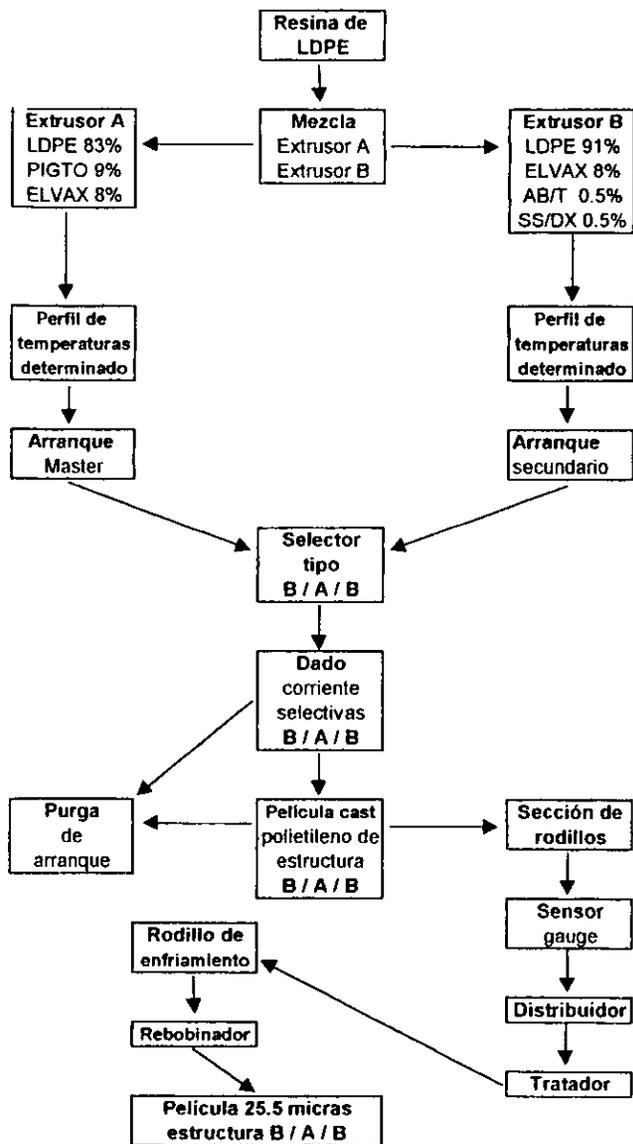
3.3.1 PELÍCULA NATURAL DE POLIETILENO DE 37.5 MICRAS



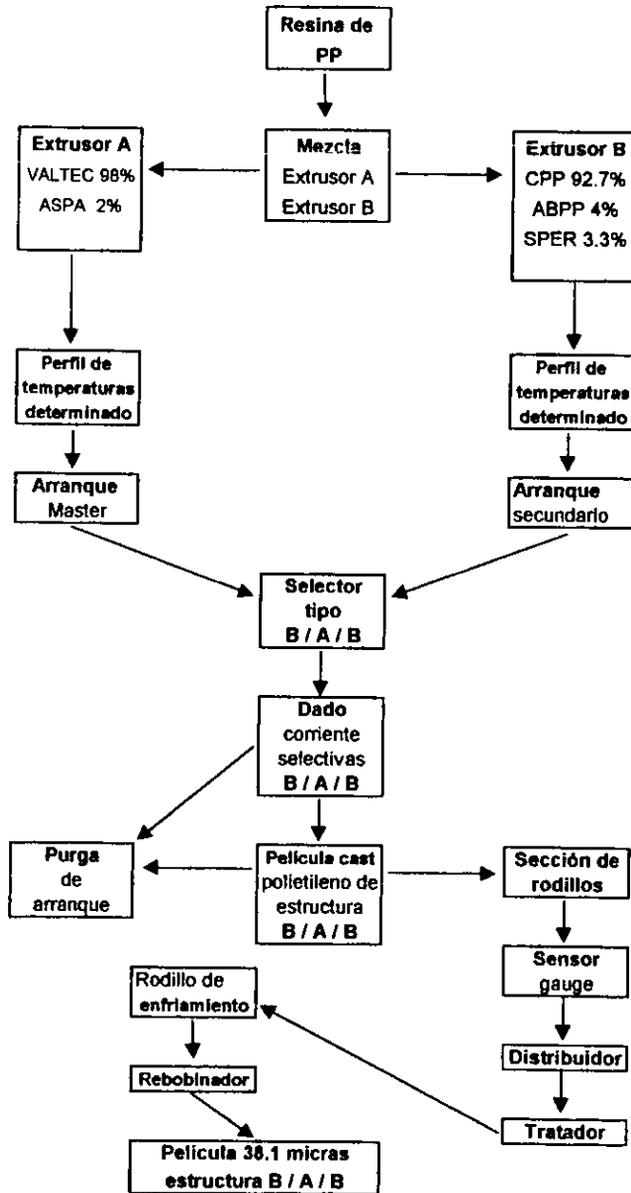
3.3.2 PELÍCULA NATURAL DE POLIETILENO DE 38,1 MICRAS CON 50% LINEAL EN EXTRUSOR A



3.3.3 PELÍCULA PIGMENTADA DE POLIETILENO DE 25.5 MICRAS



3.3.4 PELÍCULA NATURAL DE POLIPROPILENO 38.1 MICRAS



3.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN

3.4.1 HOJA DE CHEQUEO: PELÍCULA DE POLIETILENO 37.5 MICRAS

EXTRUSOR A		TEMP. °C	VELOCIDAD		P R U E B A 1A	
CAÑÓN	ZONA 1	200	EXTRUSOR A	VEL.RPM		112
	ZONA 2	240		% FLC		53
	ZONA 3	260		EST. RPM		112
	ZONA 4	265		REL. LÍNEA		46.5
	ZONA 5	270		EST. LÍNEA		46.5
	ZONA 6	280		VEL.RPM		116
CAMBIADOR DE MALLAS		280	EXTRUSOR B	% FLC		34
CUERPO DE VÁLVULA		270		EST. RPM		121
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	270		REL. LÍNEA		100
	ZONA 2	270	EST. LÍNEA	100		
	ZONA 3	270	SECCIÓN DE RODILLOS	VEL. LÍNEA	111	
	ZONA 4	270	RODILLO DE	% FLC	18	
	ZONA 5	270		CÉLO. EST.	61.1	
	ZONA 6	270	ENFRIAMIENTO	ENF. MPM.	111	
EXTRUSOR B			% FLC	7		
CAÑÓN	ZONA 1	175	SCRAP	% DRAW	0.3	
	ZONA 2	210		VELOCIDAD	9	
	ZONA 3	225		% LOAD	92	
	ZONA 4	230		% SPEED	111	
	ZONA 5	240		Kg. PRESS	2.4	
	BRIDA	240		EST. Kg	2.6	
CAMBIADOR DE MALLAS		240	EMBOBINADOR	VEL. MATCH	17	
CUERPO DE VÁLVULA		240		% FLC	-7	
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	240		%MEM.EST	0.8	
	ZONA 2	240	%RED.PRE	11		
	ZONA 3	240	PRESION			
	ZONA 4	240	VACÍO EN DADO	4		
	ZONA 5	240	DISTRIBUIDOR	2		
	ZONA 6	240	TRATADO	CORRIENTE	3	
ADAPTADOR 1		255	CORONA	PRESION 1	3.4	
ADAPTADOR 2		255		PRESION 2	3.4	
D A D O	ZONA 1	260	ALIMENTACION			
	ZONA 2	255	SILO A	100%		
	ZONA 3	250	SILO B	100%		
	ZONA 4	250	RESINAS			
	ZONA 5	250	LDPE EXXON			
	ZONA 6	255	DESILIZANTE SS/DX			
	ZONA 7	260	ANTIBLOQUEANTE AB/T			
FUNDICIÓN A		281	ELVAX 3200			
FUNDICIÓN B		242				
ENFRIAMIENTO	ROD. PRIM.	15				
	MONITOR 1	14				
	ROD. SEC.	25				
	MONITOR 2	28				

3.4.2 HOJA DE CHEQUEO: PELICULA DE POLIETILENO 37.5 MICRAS

EXTRUSOR A		TEMP. °C	VELOCIDAD		P R U E B A 2A	
CAÑÓN	ZONA 1	175	EXTRUSOR A	VEL.RPM		101
	ZONA 2	215		% FLC		48
	ZONA 3	225		EST. RPM		101
	ZONA 4	235		REL. LÍNEA		42
	ZONA 5	240		EST. LÍNEA		42
	ZONA 6	245		VEL.RPM		105
CAMBIADOR DE MALLAS		245	EXTRUSOR B	% FLC		23
CUERPO DE VÁLVULA		245		EST. RPM		102
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	245		REL. LÍNEA		100
	ZONA 2	245		EST. LÍNEA	100	
	ZONA 3	245	SECCIÓN DE RODILLOS	VEL. LÍNEA	111	
	ZONA 4	245	RODILLO DE	% FLC	18	
	ZONA 5	245		CELO. EST.	61.1	
	ZONA 6	245	ENFRIAMIENTO	ENF. MPM.	111	
EXTRUSOR B				% FLC	7	
CAÑÓN	ZONA 1	175	SCRAP	% DRAW	0.3	
	ZONA 2	210		VELOCIDAD	9	
	ZONA 3	225		% LOAD	92	
	ZONA 4	230		% SPEED	111	
	ZONA 5	240		Kg. PRESS	2.4	
	BRIDA	240		EST. Kg	2.6	
CAMBIADOR DE MALLAS		240	EMBOBINADOR	VEL. MATCH	17	
CUERPO DE VÁLVULA		240		% FLC	-7	
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	240		%MEM.EST	0.8	
	ZONA 2	240	%RED.PRE	11		
	ZONA 3	240	PRESION			
	ZONA 4	240	VACÍO EN DADO	4		
	ZONA 5	240	DISTRIBUIDOR	2		
	ZONA 6	240	TRATADO	CORRIENTE	3	
ADAPTADOR 1		245	CORONA	PRESION 1	3.4	
ADAPTADOR 2		245		PRESION 2	3.4	
D A D O	ZONA 1	260	ALIMENTACION			
	ZONA 2	255	SILO A	100%		
	ZONA 3	250	SILO B	100%		
	ZONA 4	250	RESINAS			
	ZONA 5	250	LDPE EXXON			
	ZONA 6	255	DESILIZANTE SS/DX			
	ZONA 7	260	ANTIBLOQUEANTE AB/T			
FUNDICIÓN A		255	ELVAX 3200			
FUNDICIÓN B		242				
ENFRIAMIENTO	ROD. PRIM.	15				
	MONITOR 1	14				
	ROD. SEC.	25				
	MONITOR 2	28				

**3.4.3 HOJA DE CHEQUEO: PELÍCULA DE POLIETILENO 38.1 MICRAS
CON 50% DE LINEAL EN EXTRUSOR A**

EXTRUSOR A		TEMP. °C	VELOCIDAD		P R U E B A 1B	
CAÑÓN	ZONA 1	180	EXTRUSOR A	VEL.RPM		112
	ZONA 2	230		% FLC		52
	ZONA 3	270		EST. RPM		112
	ZONA 4	270		REL. LÍNEA		46.5
	ZONA 5	270		EST. LÍNEA		46.5
	ZONA 6	270		VEL.RPM		97
CAMBIADOR DE MALLAS		270	EXTRUSOR B	% FLC		25
CUERPO DE VÁLVULA		260		EST. RPM		102
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	260		REL. LÍNEA		100
	ZONA 2	260	EST. LÍNEA	100		
	ZONA 3	260	SECCIÓN DE RODILLOS	VEL. LÍNEA	111	
	ZONA 4	260	% FLC	18		
	ZONA 5	260	RODILLO DE	CELO. EST.	61.1	
	ZONA 6	260	% FLC	7		
EXTRUSOR B			ENFRIAMIENTO	ENF. MPM.	111	
CAÑÓN	ZONA 1	175		% DRAW	0.3	
	ZONA 2	220		VELOCIDAD	9	
	ZONA 3	235		SCRAP	% LOAD	92
	ZONA 4	240			% SPEED	111
	ZONA 5	245	Kg. PRESS		2.4	
BRIDA		245	EST. Kg	2.6		
CAMBIADOR DE MALLAS		245	EMBOBINADOR	VEL. MATCH	17	
CUERPO DE VÁLVULA		245		% FLC	-7	
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	245		%MEM.EST	0.8	
	ZONA 2	245		%RED.PRE	11	
	ZONA 3	245	PRESION			
ADAPTADOR 1	ZONA 4	245	VACIO EN DADO		4	
	ZONA 5	245	DISTRIBUIDOR		2	
	ZONA 6	245	TRATADO CORONA	CORRIENTE	3	
ADAPTADOR 2		250	CORONA	PRESION 1	3.4	
		250		PRESION 2	3.4	
D A D O	ZONA 1	255	ALIMENTACION			
	ZONA 2	250	SILO A	100%		
	ZONA 3	245	SILO B	100%		
	ZONA 4	245	RESINAS			
	ZONA 5	245	LDPE EXXON			
	ZONA 6	250	DESILIZANTE SS/DX			
	ZONA 7	250	ANTIBLOQUEANTE AB/T			
FUNDICIÓN A		272	ELVAX 3200			
FUNDICIÓN B		247	LLDPE EXXON			
ENFRIAMIENTO	ROD. PRIM.	15				
	MONITOR 1	14				
	ROD. SEC.	25				
	MONITOR 2	26				

**3.4.4 HOJA DE CHEQUEO: PELÍCULA DE POLIETILENO 38.1 MICRAS
CON 50% DE LINEAL EN EXTRUSOR A**

EXTRUSOR A		TEMP. °C	VELOCIDAD			P R U E B A 2B
CAÑÓN	ZONA 1	180	EXTRUSOR A	VEL.RPM	112	
	ZONA 2	240		% FLC	55	
	ZONA 3	265		EST. RPM	112	
	ZONA 4	265		REL. LÍNEA	46.5	
	ZONA 5	270		EST. LÍNEA	46.5	
	ZONA 6	275		VEL.RPM	97	
CAMBIADOR DE MALLAS		275	EXTRUSOR B	% FLC	23	
CUERPO DE VÁLVULA		265		EST. RPM	102	
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	265		REL. LÍNEA	100	
	ZONA 2	265	EST. LÍNEA	100		
	ZONA 3	265	SECCIÓN DE RODILLOS	VEL. LÍNEA	111	
	ZONA 4	265		% FLC	18	
	ZONA 5	265	RODILLO DE	CELO. EST.	61.1	
	ZONA 6	265		ENF. MPM.	111	
EXTRUSOR B			% FLC	7		
CAÑÓN	ZONA 1	180	ENFRIAMIENTO	% DRAW	0.3	
	ZONA 2	220		VELOCIDAD	9	
	ZONA 3	250	SCRAP	% LOAD	92	
	ZONA 4	250		% SPEED	111	
	ZONA 5	250		Kg. PRESS	2.4	
	BRIDA	250		EST. Kg	2.6	
CAMBIADOR DE MALLAS		250	EMBOBINADOR	VEL. MATCH	17	
CUERPO DE VÁLVULA		250		% FLC	-7	
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	250		%MEM.EST	0.8	
	ZONA 2	250	%RED.PRE	11		
	ZONA 3	250	PRESION			
	ZONA 4	250	VACÍO EN DADO	4		
	ZONA 5	250	DISTRIBUIDOR	2		
	ZONA 6	250	TRATADO CORONA	CORRIENTE	3	
ADAPTADOR 1		255		PRESION 1	3.4	
ADAPTADOR 2		255	PRESION 2	3.4		
D A D O	ZONA 1	255	ALIMENTACION			
	ZONA 2	250	SILO A	100%		
	ZONA 3	245	SILO B	100%		
	ZONA 4	245	RESINAS			
	ZONA 5	245	LDPE EXXON			
	ZONA 6	250	DESILIZANTE SS/DX			
	ZONA 7	255	ANTIBLOQUEANTE AB/T			
FUNDICIÓN A		277	ELVAX 3200			
FUNDICIÓN B		247	LLDPE EXXON			
ENFRIAMIENTO	ROD. PRIM.	15				
	MONITOR 1	14				
	ROD. SEC.	25				
	MONITOR 2	26				

3.4.5 HOJA DE CHEQUEO: PELÍCULA PIGMENTADA 25.5 MICRAS

EXTRUSOR A		TEMP. °C	VELOCIDAD		P R U E B A 1C	
CAÑÓN	ZONA 1	145	EXTRUSOR A	VEL.RPM		84
	ZONA 2	205		% FLC		39
	ZONA 3	250		EST. RPM		84
	ZONA 4	255		REL. LÍNEA		34.9
	ZONA 5	255		EST. LÍNEA		34.9
	ZONA 6	255		VEL.RPM		78
CAMBIADOR DE MALLAS		255	EXTRUSOR B	% FLC		20
CUERPO DE VÁLVULA		255		EST. RPM		82
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	255		REL. LÍNEA		100
	ZONA 2	255	EST. LÍNEA	100		
	ZONA 3	255	SECCIÓN DE RODILLOS	VEL. LÍNEA	84	
	ZONA 4	255		% FLC	18	
	ZONA 5	255	CELO. EST.	61.1		
	ZONA 6	255	RODILLO DE ENFRIAMIENTO	ENF. MPM.	84	
EXTRUSOR B			% FLC	7		
CAÑÓN	ZONA 1	145	SCRAP	% DRAW	0.3	
	ZONA 2	205		VELOCIDAD	9	
	ZONA 3	255		% LOAD	92	
	ZONA 4	255		% SPEED	84	
	ZONA 5	255		Kg. PRESS	2.4	
	BRIDA	255		EST. Kg	2.6	
CAMBIADOR DE MALLAS		255	EMBOBINADOR	VEL. MATCH	17	
CUERPO DE VÁLVULA		255		% FLC	-7	
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	255		%MEM.EST	0.8	
	ZONA 2	255	%RED.PRE	11		
	ZONA 3	255	PRESION			
	ZONA 4	255	VACIO EN DADO	4		
	ZONA 5	255	DISTRIBUIDOR			
	ZONA 6	255	TRATADO	CORRIENTE	3	
ADAPTADOR 1		260	CORONA	PRESION 1	3.4	
ADAPTADOR 2		260		PRESION 2	3.4	
D A D O	ZONA 1	267	ALIMENTACION			
	ZONA 2	260	SILO A	100%		
	ZONA 3	255	SILO B	100%		
	ZONA 4	255	RESINAS			
	ZONA 5	255	LDPE EXXON			
	ZONA 6	261	DESILIZANTE SS/DX			
	ZONA 7	265	ANTIBLOQUEANTE AB/T			
FUNDICIÓN A		262	ELVAX 3200			
FUNDICIÓN B		257	MASTERBACH			
ENFRIAMIENTO	ROD. PRIM.	15				
	MONITOR 1	14				
	ROD. SEC.	25				
	MONITOR 2	26				

3.4.6 HOJA DE CHEQUEO: PELÍCULA PIGMENTADA 25.5 MICRAS

EXTRUSOR A		TEMP. °C	VELOCIDAD		P R U E B A 2C	
CAÑÓN	ZONA 1	165	EXTRUSOR A	VEL.RPM		73
	ZONA 2	195		% FLC		34
	ZONA 3	205		EST. RPM		73
	ZONA 4	225		REL. LINEA		30.4
	ZONA 5	230		EST. LINEA		30.4
	ZONA 6	235		VEL.RPM		62
CAMBIADOR DE MALLAS		235	EXTRUSOR B	% FLC		16
CUERPO DE VALVULA		235		EST. RPM		82
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	235		REL. LINEA		100
	ZONA 2	235		EST. LINEA	100	
	ZONA 3	235		SECCIÓN DE RODILLOS	VEL. LINEA	84
	ZONA 4	235		RODILLO DE	% FLC	18
	ZONA 5	235	ENFRIAMIENTO	CELO. EST.	61.1	
	ZONA 6	235	SCRAP	ENF. MPM.	84	
EXTRUSOR B			DE	% FLC	7	
CAÑÓN	ZONA 1	165	EMBOBINADOR	% DRAW	0.3	
	ZONA 2	205	EMBOBINADOR	VELOCIDAD	9	
	ZONA 3	215		% LOAD	92	
	ZONA 4	225		% SPEED	84	
	ZONA 5	235		Kg PRESS	2.4	
	BRIDA	235		EST. Kg	2.6	
CAMBIADOR DE MALLAS		235		VEL. MATCH	17	
CUERPO DE VÁLVULA		235	% FLC	-7		
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	235	%MEM. EST	0.8		
	ZONA 2	235	%RED.PRE	11		
	ZONA 3	235	PRESION			
	ZONA 4	235	VACIO EN DADO	4		
	ZONA 5	235	DISTRIBUIDOR	2		
	ZONA 6	235	TRATADO	CORRIENTE	3	
ADAPTADOR 1		234	CORONA	PRESION 1	3.4	
ADAPTADOR 2		234		PRESION 2	3.4	
D A D O	ZONA 1	244	ALIMENTACION			
	ZONA 2	244	SILO A	100%		
	ZONA 3	234	SILO B	100%		
	ZONA 4	234	RESINAS			
	ZONA 5	234	LDPE EXXON			
	ZONA 6	244	DESGLIZANTE SS/DX			
	ZONA 7	244	ANTIBLOQUEANTE AB/T			
FUNDICIÓN A		241	ELVAX 3200			
FUNDICIÓN B		237	MASTERBACH			
ENFRIAMIENTO	ROD. PRIM.	15				
	MONITOR 1	14				
	ROD. SEC.	25				
	MONITOR 2	26				

3.4.7 HOJA DE CHEQUEO: PELÍCULA DE POLIPROPILENO 38.1 MICRAS

EXTRUSOR A		TEMP. °C	VELOCIDAD			P R U E B A 1D
CAÑÓN	ZONA 1	185	EXTRUSOR A	VEL.RPM	117	
	ZONA 2	200		% FLC	31	
	ZONA 3	210		EST. RPM	117	
	ZONA 4	225		REL. LÍNEA	22.2	
	ZONA 5	240		EST. LÍNEA	22.2	
	ZONA 6	255		VEL.RPM	61	
CAMBIADOR DE MALLAS		255	EXTRUSOR B	% FLC	17	
CUERPO DE VÁLVULA		255		EST. RPM	121	
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	255		REL. LÍNEA	50	
	ZONA 2	255	EST. LÍNEA	50		
	ZONA 3	255	SECCIÓN DE RODILLOS	VEL. LÍNEA	56.5	
	ZONA 4	255		% FLC	13	
	ZONA 5	255	CELO. EST.	75		
	ZONA 6	255	RODILLO DE	ENF. MPM.	57	
EXTRUSOR B			ENFRIAMIENTO	% FLC	7	
CAÑÓN	ZONA 1	185	SCRAP	% DRAW	-4	
	ZONA 2	200		VELOCIDAD	7.8	
	ZONA 3	215		% LOAD	50	
	ZONA 4	220		% SPEED	100	
	ZONA 5	230		Kg. PRESS	4.2	
	BRIDA	245		EST. Kg	4.5	
CAMBIADOR DE MALLAS		250	EMBOBINADOR	VEL. MATCH	1.2	
CUERPO DE VÁLVULA		250		% FLC	-7	
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	250		%MEM.EST	11	
	ZONA 2	250		%RED.PRE	20	
	ZONA 3	250	PRESION			
	ZONA 4	250	VACIO EN DADO	3.5		
ZONA 5	250	DISTRIBUIDOR	3			
ZONA 6	250	TRATADO	CORRIENTE	3.5		
ADAPTADOR 1		260	CORONA	PRESION 1	4.1	
ADAPTADOR 2		260		PRESION 2	4.1	
D A D O	ZONA 1	260	ALIMENTACION			
	ZONA 2	262	SILO A	100%		
	ZONA 3	255	SILO B	100%		
	ZONA 4	255	RESINAS			
	ZONA 5	255	PP VALTEC			
	ZONA 6	262	COPOLIMERO DE PP			
	ZONA 7	262	ASPA			
FUNDICIÓN A		262	ABPP			
FUNDICIÓN B		252	SPER			
ENFRIAMIENTO	ROD. PRIM.	15				
	MONITOR 1	14				
	ROD. SEC.	25				
	MONITOR 2	26				

3.4.8 HOJA DE CHEQUEO: PELÍCULA DE POLIPROPILENO 38.1 MICRAS

EXTRUSOR A		TEMP. °C	VELOCIDAD		P R U E B A 2D	
CAÑÓN	ZONA 1	180	EXTRUSOR A	VEL.RPM		117
	ZONA 2	200		% FLC		31
	ZONA 3	210		EST. RPM		117
	ZONA 4	220		REL. LÍNEA		16
	ZONA 5	230		EST. LÍNEA		16
	ZONA 6	245		VEL.RPM		61
CAMBIADOR DE MALLAS		245	EXTRUSOR	% FLC		17
CUERPO DE VALVULA		245	EXTRUSOR B	EST. RPM		121
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	245		REL. LÍNEA		50
	ZONA 2	245		EST. LÍNEA	50	
	ZONA 3	245	SECCIÓN DE	VEL. LÍNEA	40.7	
	ZONA 4	245	RODILLOS	% FLC	5	
	ZONA 5	245	RODILLO	CELO. EST.	75	
	ZONA 6	245	DE	ENF. MPM.	41	
EXTRUSOR B			DE	% FLC	8	
CAÑÓN	ZONA 1	180	ENFRIAMIENTO	% DRAW	1.1	
	ZONA 2	200	SCRAP	VELOCIDAD	5.5	
	ZONA 3	210		% LOAD	50	
	ZONA 4	220		% SPEED	111	
	ZONA 5	230		Kg. PRESS	4.3	
	BRIDA	245		EST. Kg	4.5	
CAMBIADOR DE MALLAS		245		VEL. MATCH	1.2	
CUERPO DE VÁLVULA		245	EMBOBINADOR	% FLC	-5	
TUBO ALIMENTADOR	ZONA 1	245	%MEM.EST	11		
	ZONA 2	245	%RED.PRE	20		
	ZONA 3	245	PRESION			
	ZONA 4	245	VACIO EN DADO	5		
	ZONA 5	245	DISTRIBUIDOR	2.5		
	ZONA 6	245	TRATADO	CORRIENTE	3.3	
ADAPTADOR 1	250	CORONA	PRESION 1	4.1		
ADAPTADOR 2	250	PRESION 2	4.1			
D A D O	ZONA 1	250	ALIMENTACION			
	ZONA 2	247	SILO A	100%		
	ZONA 3	247	SILO B	100%		
	ZONA 4	247	RESINAS			
	ZONA 5	247	PP VALTEC			
	ZONA 6	247	COPOLIMERO DE PP			
	ZONA 7	250	ASPA			
FUNDICIÓN A	254	ABPP				
FUNDICIÓN B	247	SPER				
ENFRIAMIENTO	ROD. PRIM.	15				
	MONITOR 1	15				
	ROD. SEC.	24				
	MONITOR 2	25				

3.5 ELABORACIÓN DE MEZCLAS

La elaboración de cada una de las mezclas de las pruebas, que son propuestas en cada uno de los diagramas de flujo, se realiza con resinas solidas en forma de gránulos en lotes de 500Kg respetando al máximo los porcentajes que requiere cada prueba y extrusor correspondiente

Se pesa por separado cada una de las resinas a utilizarse, respetando sus partes proporcionales de cada prueba y se colocan en la mezcladora durante un tiempo de 15 minutos para asegurar la homogeneización de la mezcla .

3.6 CARGA DE LAS HOJAS DE CHEQUEO PARA PRUEBAS

Se inicia con la carga de los perfiles de temperaturas, sistemas de enfriamiento, velocidad objetivo, hasta completar todos los parámetros de la prueba a que correspondan los valores objetivo. Desde que se inicia la carga de las hojas de chequeo de la prueba en cuestión el extrusor logra una estabilidad de estos parámetros en un periodo de 3 h. para su arranque y operación continua.

3.7 SECUENCIA EXPERIMENTAL

a) Seleccionar la prueba, tomando el diagrama experimental correspondiente para extraer de la mezcla a utilizarse y la hoja de chequeo para cargarse en la extrusora.

b) Se inicia la introducción. de los valores objetivo contenidos en la hoja de chequeo correspondiente de cada prueba, para lograr la estabilización de las condiciones de operación

c) Al mismo tiempo se pueden generar las mezclas correspondientes de cada prueba.

d) Colocar los lotes de mezclas en las tomas de alimentación por succión, antes de que el extrusor establezca condiciones de operación

e) Cuando se inicie el arranque se debe realizar primero la purga con una parte de la mezcla para eliminar carbonillos generados en la etapa de calentamiento sin movimiento del husillo, hasta obtener un plástico natural no degradado.

f) Se procede a vestir la máquina con la película que sale del dado, para ser pasada por todos los rodillos de enfriamiento, de tensión y tránsito.

g) Se prende el sensor, el cual es el responsable del control en el micraje de la película.

h) Prender el tratador corona, para proporcionar una oxidación en la superficie deseada, colocando como parámetro el valor objetivo que se presenta en la hoja de chequeo correspondiente.

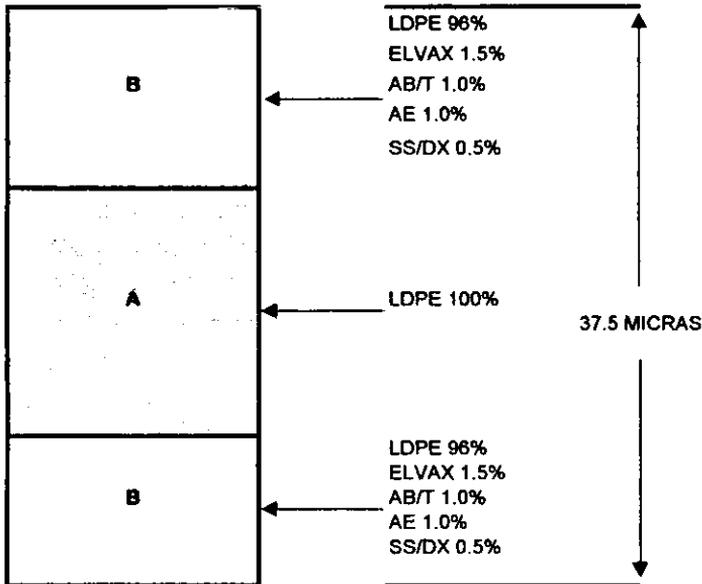
i) Se deja correr la prueba, estableciendo un ancho de película y micraje comercial, en rollos promedio de 6100 metros lineales.

j) Obtener el reporte de búsqueda para saber el comportamiento del control del micraje de cada rollo que se obtenga de cada prueba.

3.7.1 CÁLCULOS DE FLUJO EN CADA CAPA

PRUEBA A

CONSIDERANDO:



$$G = \text{VEL. VOLUMÉTRICA} = \frac{\text{M}}{\text{L}^3/\text{T}}$$

$$\text{VEL. LÍNEA} \times \text{ANCHO} \times \text{ESPESOR} \\ \left(\frac{\text{L}}{\text{T}}\right) \quad (\text{L}) \quad (\text{L})$$

$$Q = \text{VEL. MÁSICA} = \frac{\text{M}}{\text{T}}$$

$$\text{VEL. VOLUMÉTRICA} \times \text{DENSIDAD TOTAL} \\ \left(\frac{\text{L}^3}{\text{T}}\right) \quad \left(\frac{\text{M}}{\text{L}^3}\right)$$

$$P_t = \text{DENSIDAD TOTAL} = \frac{\text{M}}{\text{L}^3}$$

$$\frac{(\text{DENSIDAD A} + \text{DENSIDAD B})}{2} \\ \left(\frac{\text{M}}{\text{L}^3}\right)$$

$$Q_a = \text{FLUJO CAPA A} = \frac{\text{M}}{\text{T}}$$

$$\% \text{ CAPA} \times \frac{G}{\left(\frac{\text{L}^3}{\text{T}}\right)} \times \text{DENSIDAD A} \\ \left(\frac{\text{M}}{\text{L}^3}\right)$$

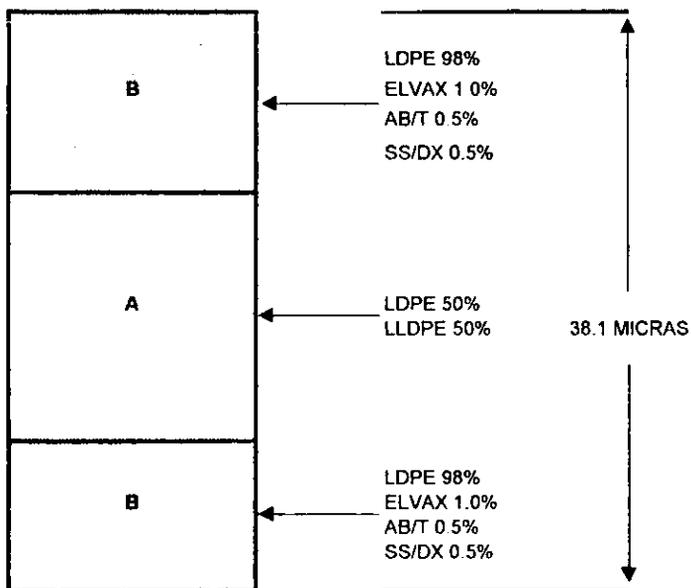
$$Q_b = \text{FLUJO CAPA B} = \frac{\text{M}}{\text{T}}$$

$$\% \text{ CAPA} \times \frac{G}{\left(\frac{\text{L}^3}{\text{T}}\right)} \times \text{DENSIDAD B} \\ \left(\frac{\text{M}}{\text{L}^3}\right)$$

FLUJO EN CAPAS PRUEBA A				
VEL.LINEA m / min	VEL. VOL. m ³ / h	VEL. FLUJO Kg / h	FLUJO A Kg / h	FLUJO B Kg / h
V	G	Q	Qa	Qb
50.30	0.1140	103.48	182.02	20.70
67.80	0.1502	139.49	110.56	27.90
83.70	0.1854	172.20	136.48	34.44
85.30	0.1890	175.49	139.09	35.10
98.30	0.2178	202.24	160.29	40.45
99.30	0.2200	204.30	161.92	40.88
109.40	0.2424	225.08	178.39	45.01
110.00	0.2437	226.31	179.37	45.26
110.90	0.2457	228.16	180.84	45.63
111.50	0.2470	229.40	181.82	45.88
112.00	0.2481	230.42	182.63	46.08
112.10	0.2484	230.63	182.80	46.17
112.30	0.2488	231.04	183.12	46.21
112.50	0.2492	231.45	183.45	46.29
113.00	0.2503	232.48	184.26	46.50
113.10	0.2506	232.69	184.43	46.54
113.40	0.2512	233.31	184.92	46.66
113.70	0.2519	233.92	185.40	46.78
114.00	0.2526	234.54	185.89	46.91
114.10	0.2529	234.75	186.06	46.95
114.20	0.2530	234.95	186.22	46.99
114.30	0.2532	235.16	186.38	47.03
114.50	0.2537	235.57	186.71	47.11
114.70	0.2541	235.98	187.03	47.20
115.00	0.2548	236.60	187.52	47.32
118.00	0.2614	242.77	192.42	48.55

PRUEBA B

CONSIDERANDO:



$$G = \text{VEL. VOLUMÉTRICA} = \frac{\text{L}^3}{\text{T}}$$

$$\text{VEL. LÍNEA} \times \text{ANCHO} \times \text{ESPESOR} = \frac{\text{L}}{\text{T}} \times \text{L} \times \text{L}$$

$$Q = \text{VEL. MÁSCA} = \frac{\text{M}}{\text{T}}$$

$$\text{VEL. VOLUMÉTRICA} \times \text{DENSIDAD TOTAL} = \frac{\text{L}^3}{\text{T}} \times \frac{\text{M}}{\text{L}^3}$$

$$P_t = \text{DENSIDAD TOTAL} = \frac{\text{M}}{\text{L}^3}$$

$$\frac{(\text{DENSIDAD A} + \text{DENSIDAD B})}{2} = \frac{\text{M}}{\text{L}^3}$$

$$Q_a = \text{FLUJO CAPA A} = \frac{\text{M}}{\text{T}}$$

$$\% \text{ CAPA} \times \frac{G}{\text{L}^3/\text{T}} \times \text{DENSIDAD A} = \frac{\text{M}}{\text{L}^3}$$

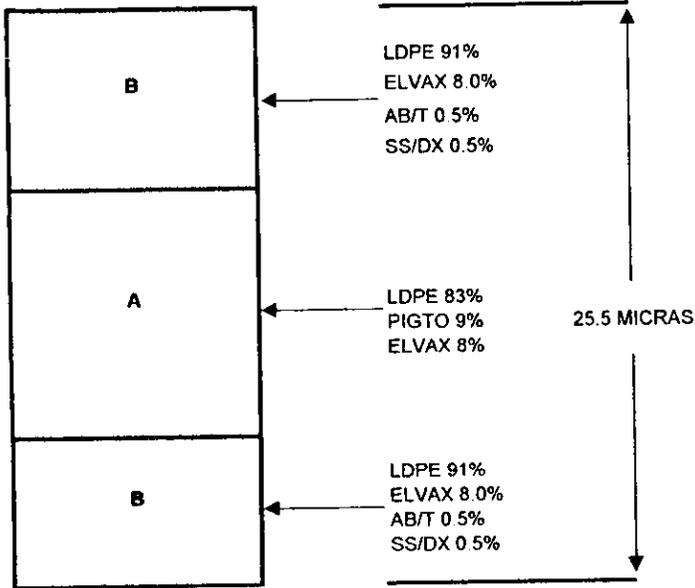
$$Q_b = \text{FLUJO CAPA B} = \frac{\text{M}}{\text{T}}$$

$$\% \text{ CAPA} \times \frac{G}{\text{L}^3/\text{T}} \times \text{DENSIDAD B} = \frac{\text{M}}{\text{L}^3}$$

FLUJO EN CAPAS PRUEBA B				
VEL. LINEA m / min	VEL. VOL. m ³ / h	VEL. FLUJO Kg / h	FLUJO A Kg / h	FLUJO B Kg / h
V	G	Q	Qa	Qb
10.60	0.0239	21.52	17.60	4.53
67.40	0.1518	143.03	111.78	28.77
67.70	0.1525	143.68	112.30	28.90
68.80	0.1550	146.04	114.14	29.37
74.00	0.1667	157.06	122.76	31.59
75.70	0.1705	160.64	125.56	32.31
76.00	0.1712	161.30	126.07	32.44
88.10	0.1985	187.03	146.17	37.62
89.20	0.2009	189.28	147.94	38.07
90.70	0.2043	192.49	150.45	38.71
91.20	0.2054	193.28	151.25	38.92
91.70	0.2066	194.66	152.14	39.15
91.80	0.2068	194.85	152.29	39.19
96.90	0.2183	205.88	160.76	41.37
97.00	0.2185	205.87	160.90	41.40
97.40	0.2194	206.72	161.57	41.58
102.50	0.2309	217.55	170.03	43.76
112.90	0.2543	239.60	187.27	48.19

PRUEBA C

CONSIDERANDO:



$$G = \text{VEL. VOLUMÉTRICA} = \frac{\text{M}}{\text{L}^3 / \text{T}}$$

$$\text{VEL. LÍNEA} \times \text{ANCHO} \times \text{ESPESOR} \\ \left(\frac{\text{L}}{\text{T}} \right) \times (\text{L}) \times (\text{L})$$

$$Q = \text{VEL. MÁSCA} = \frac{\text{M}}{\text{T}}$$

$$\text{VEL. VOLUMÉTRICA} \times \text{DENSIDAD TOTAL} \\ \left(\frac{\text{L}^3}{\text{T}} \right) \times \left(\frac{\text{M}}{\text{L}^3} \right)$$

$$P_t = \text{DENSIDAD TOTAL} = \frac{\text{M}}{\text{L}^3}$$

$$\left(\text{DENSIDAD A} + \text{DENSIDAD B} \right) / 2 \\ \left(\frac{\text{M}}{\text{L}^3} \right)$$

$$Q_a = \text{FLUJO CAPA A} = \frac{\text{M}}{\text{T}}$$

$$\% \text{ CAPA} \times \frac{G}{\left(\frac{\text{L}^3}{\text{T}} \right)} \times \frac{\text{DENSIDAD A}}{\left(\frac{\text{M}}{\text{L}^3} \right)}$$

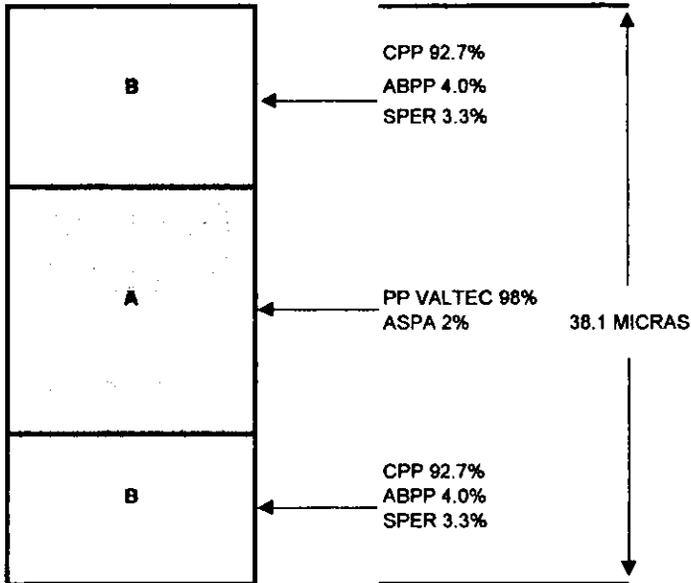
$$Q_b = \text{FLUJO CAPA B} = \frac{\text{M}}{\text{T}}$$

$$\% \text{ CAPA} \times \frac{G}{\left(\frac{\text{L}^3}{\text{T}} \right)} \times \frac{\text{DENSIDAD B}}{\left(\frac{\text{M}}{\text{L}^3} \right)}$$

FLUJO EN CAPAS PRUEBA C				
VEL. LINEA m / min	VEL. VOL. m ³ / h	VEL. FLUJO Kg / h	FLUJO A Kg / h	FLUJO B Kg / h
V	G	Q	Qa	Qb
14.30	0.0205	19.31	15.24	3.88
62.70	0.0899	84.65	66.83	17.03
82.30	0.1179	111.11	87.72	22.35
96.60	0.1384	130.41	102.96	26.24
97.30	0.1394	131.36	103.70	26.43
97.50	0.1397	131.63	103.92	26.48
97.70	0.1399	131.89	104.13	26.54
98.10	0.1405	132.44	104.56	26.64
100.00	0.1432	135.00	106.58	27.16
100.90	0.1445	136.22	107.54	27.41
101.60	0.1455	137.16	108.29	27.60
102.20	0.1464	137.92	108.93	27.76
105.30	0.1508	142.16	112.23	28.60
109.00	0.1561	147.15	116.17	29.60
110.80	0.1587	149.58	118.09	30.09
111.80	0.1601	150.93	119.16	30.37
116.50	0.1669	157.28	124.17	31.64
118.60	0.1699	160.11	126.41	32.21

PRUEBA D

CONSIDERANDO:



G = VEL. VOLUMÉTRICA =
 (L^3/T)

VEL. LÍNEA x ANCHO x ESPESOR
 $(L/T) \quad (L) \quad (L)$

Q = VEL. MÁSCA =
 (M/T)

VEL. VOLUMÉTRICA x DENSIDAD TOTAL
 $(L^3/T) \quad (M/L^3)$

Pt = DENSIDAD TOTAL =
 (M/L^3)

(DENSIDAD A + DENSIDAD B) / 2
 (M/L^3)

Qa = FLUJO CAPA A =
 (M/T)

% CAPA x G x DENSIDAD A
 $(L^3/T) \quad (M/L^3)$

Qb = FLUJO CAPA B =
 (M/T)

% CAPA x G x DENSIDAD B
 $(L^3/T) \quad (M/L^3)$

FLUJO EN CAPAS PRUEBA D				
VEL. LINEA m / min	VEL. VOL. m ³ / h	VEL. FLUJO Kg / h	FLUJO A Kg / h	FLUJO B Kg / h
V	G	Q	Qa	Qb
20.20	0.0476	43.99	33.24	9.12
40.00	0.0942	87.16	65.82	18.07
42.80	0.1008	93.21	70.42	19.33
46.60	0.1098	101.49	76.68	21.05
48.60	0.1145	105.84	79.97	21.95
49.10	0.1157	106.93	80.79	22.18
49.80	0.1169	108.02	81.61	22.41
49.80	0.1173	108.48	81.94	22.49
50.10	0.1181	109.11	82.43	22.63
50.30	0.1185	109.55	82.76	22.72
56.00	0.1319	121.96	92.14	25.30
57.50	0.1355	125.23	94.61	25.97
58.00	0.1366	126.32	95.43	26.20
58.50	0.1378	127.41	96.26	26.43
59.10	0.1392	128.71	97.24	26.70
59.20	0.1395	128.93	97.41	26.74
59.30	0.1397	129.15	97.57	26.79
60.00	0.1414	130.67	98.73	27.10

3.8 DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO DE SUPERFICIE

El objeto del tratamiento corona es determinar la humectabilidad de la superficie y así mejorar la capacidad de retención de solventes y adhesivos. Para que una superficie sea adecuadamente mojada por un líquido, la tensión superficial del plástico debe ser más alta que la tensión superficial del líquido. La tensión es medida en dinas/cm².

Con esta prueba, una serie de mezclas de líquidos con tensiones que gradualmente aumentan, se aplica a la superficie plástica tratada hasta que se encuentra la mezcla específica que apenas moja la superficie. La tensión de superficie del plástico es aproximadamente igual a la tensión superficial de esa mezcla particular. La tabla 3.1 da la relación en % en volumen de formamida y cellosolve para varias tensiones de superficie.

TABLA 3.1

SOLUCIONES PARA MEDIR LA TENSION DE HUMECTACION CONCENTRACIONES DE MEZCLAS DE FORMAMIDA-CELLOSOLVE

FORMAMIDA % VOL.	CELLOSOLVE % VOL.	TENSION DE HUMECTACION DINAS/cm ²
0	100.0	30
2.5	97.5	31
10.5	89.5	32
19.0	81.0	33
26.5	73.5	34
35.0	65.0	35
42.5	57.5	36
48.5	51.5	37
59.0	41.0	39
63.5	36.5	40
67.5	32.5	41
71.5	28.5	42
74.7	25.3	43
78.0	22.0	44
80.3	19.7	45
83.0	17.0	46
87.0	13.0	48
90.7	9.3	50
93.7	6.3	52
96.5	3.5	54
99.0	1.0	56

CAPITULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se llevaron a cabo las cuatro pruebas con sus respectivos ensayos, dentro de las cuales se manejaron las variables de velocidad y temperatura. En la variable de velocidad se tomó un rango en el cual el equipo debe de mostrar compatibilidad con las condiciones de operación previamente cargadas y mezcla en cuestión que se estuviese trabajando. Además se toma como objetivo micraje diferente para obtener la variedad de espesores potenciales de procesamiento, manteniéndose constante en todas las pruebas la intensidad de tratamiento corona, evaluando el grado de retención de tratamiento sobre la película durante cada prueba.

Estas pruebas consistieron en

a) PROCESAMIENTO	: POLIETILENO NORMAL.
OBJETIVO	: 37.5 MICRAS.
TRATAMIENTO CORONA	: 38 Dinas / cm ² .
HABILIDAD VS FRONTERA	: <1 (MAYOR A 1).
HABILIDAD VS ESPECIFICACIÓN	: <1 (MAYOR A 1).
b) PROCESAMIENTO	: POLIETILENO + 50% DE LINEAL
OBJETIVO	: 38.1 MICRAS.
TRATAMIENTO CORONA	: 38 Dinas / cm ² .
HABILIDAD VS FRONTERA	: <1 (MAYOR A 1).
HABILIDAD VS ESPECIFICACIÓN	: <1 (MAYOR A 1).
c) PROCESAMIENTO	: POLIETILENO + 9% DE PIGMENTO
OBJETIVO	: 25.5 MICRAS.
TRATAMIENTO CORONA	: 38 Dinas / cm ² .
HABILIDAD VS FRONTERA	: <1 (MAYOR A 1).
HABILIDAD VS ESPECIFICACIÓN	: <1 (MAYOR A 1).
d) PROCESAMIENTO	: POLIPROPILENO (CPP).
OBJETIVO	: 38.1 MICRAS.
TRATAMIENTO CORONA	: 38 Dinas / cm ² .
HABILIDAD VS FRONTERA	: <1 (MAYOR A 1).
HABILIDAD VS ESPECIFICACIÓN	: <1 (MAYOR A 1).

Así mismo, se evaluó el perfil de espesor correspondiente a cada prueba, obteniendo la variabilidad del sistema con cada diseño de condiciones de operación evaluando la habilidad del proceso con respecto a la frontera y especificación dependiendo de cada prueba, obteniéndose los resultados de la tabla 4.1.

TABLA 4.1. RESULTADOS DE PRUEBAS

PRUEBA	POLIETILENO NORMAL 37.5 MICRAS		POLIETILENO + 50% LINEAL 38.1 MICRAS		POLIETILENO + PIGMENTO 25.5 MICRAS		POLIPROPILENO (CPP) 38.1 MICRAS	
	1A	2A	1B	2B	1C	2C	1D	2D
LIMITES DE CONTROL DEL SISTEMA								
MICRAS								
LIMITE SUPERIOR	38.2	38.59	38.73	39.16	25.27	27.09	41.56	39.63
DE CONTROL X								
LIMITE INFERIOR	36.76	36.35	37.25	36.83	24.3	23.83	34.44	36.39
DE CONTROL X								
LIMITE SUPERIOR	1.148	1.788	1.178	1.857	0.772	2.595	5.66	2.58
DE CONTROL s								
LIMITE INFERIOR	0.072	0.112	0.074	0.116	0.045	0.163	0.36	0.16
DE CONTROL s								
HABILIDAD DEL SISTEMA VS LIMITES DE FRONTERA								
HABILIDAD DE SISTEMA Cpk	0.367	0.353	0.321	0.344	0.179	0.369	0.368	0.345
POTENCIAL DE SISTEMA Cp	0.377	0.377	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378
CONCLUSION	NO HABIL A 6 SIGMAS DE CONFIANZA	NO HABIL A 6 SIGMAS DE CONFIANZA	NO HABIL A 6 SIGMAS DE CONFIANZA	NO HABIL A 6 SIGMAS DE CONFIANZA	NO HABIL A 6 SIGMAS DE CONFIANZA	NO HABIL A 6 SIGMAS DE CONFIANZA	NO HABIL A 6 SIGMAS DE CONFIANZA	NO HABIL A 6 SIGMAS DE CONFIANZA
HABILIDAD DEL SISTEMA VS ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO								
HABILIDAD DE SISTEMA Cpk	1.683	1.081	1.819	1.154	2.894	0.88	0.378	0.831
POTENCIAL DE SISTEMA Cp	2	1.283	1.862	1.194	2.972	5.301	2.349	0.88
CONCLUSION	HABIL	HABIL	HABIL	HABIL	HABIL	NO HABIL	NO HABIL	NO HABIL

4.1 RESULTADOS PRUEBA 1A

**TABLA 4.2. CONTROL PARA VARIABLES DE EXTRUSIÓN
POLIETILENO NORMAL.**

CALIBRE ESPECIFICADO: 37.5 micras.

ANCHO ESPECIFICADO: 88.8 cm.

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE			PROBABILIDAD DE DEFECTOS	TRATADO Dy / cm2
		PROMEDIO	DESVIACION	RANGO		
1	50.30	37.50	1.10	9.80	0.61	38.00
2	83.70	37.30	2.88	20.10	0.76	38.00
3	85.30	37.50	0.86	5.30	0.55	38.00
4	98.30	37.50	0.41	1.50	0.10	38.00
5	89.30	37.40	0.41	1.30	0.10	38.00
6	109.40	37.40	1.12	9.90	0.16	38.00
7	110.90	37.50	0.45	2.40	0.13	38.00
8	111.50	37.50	0.50	2.70	0.11	38.00
9	112.00	37.50	0.39	1.50	0.10	38.00
10	112.10	37.50	0.36	1.40	0.10	38.00
11	112.10	37.50	0.33	1.60	0.10	38.00
12	112.30	37.50	0.31	1.30	0.10	38.00
13	113.00	37.50	0.47	3.00	0.16	38.00
14	113.10	37.50	0.37	1.50	0.10	38.00
15	113.30	37.50	0.30	1.10	0.10	38.00
16	113.30	37.50	0.33	1.20	0.10	38.00
17	113.40	37.50	0.37	1.80	0.20	38.00
18	113.40	37.50	0.39	1.80	0.20	38.00
19	113.70	37.50	0.37	1.30	0.10	38.00
20	113.70	37.50	0.41	1.80	0.10	38.00
21	114.00	37.50	0.49	2.20	0.16	38.00
22	114.00	37.50	0.61	4.50	0.20	38.00
23	114.50	37.50	0.33	1.30	0.17	38.00
24	114.70	37.40	1.17	3.30	0.21	38.00
25	115.00	37.50	0.64	3.40	0.34	38.00
PROMEDIO CODIFICADO		37.48	0.61	3.47	0.20	

TABLA 4.3. LÍMITES DE FRONTERA.

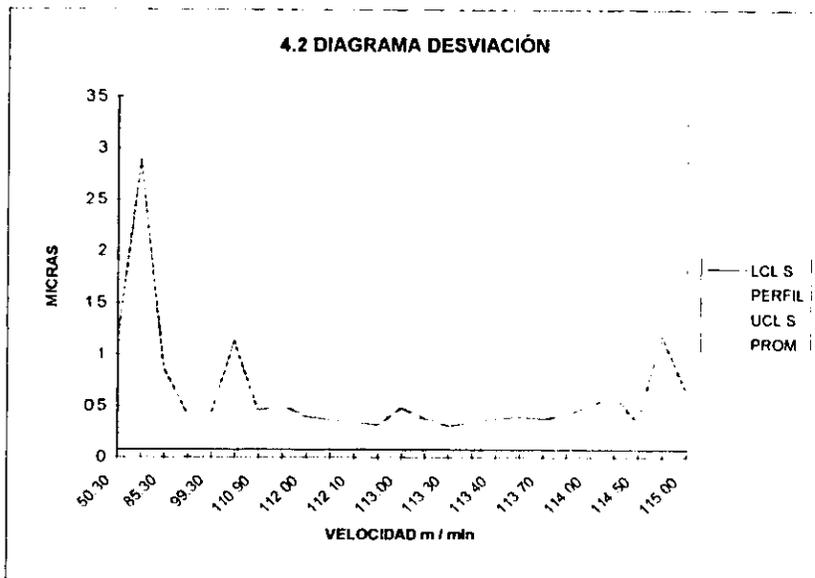
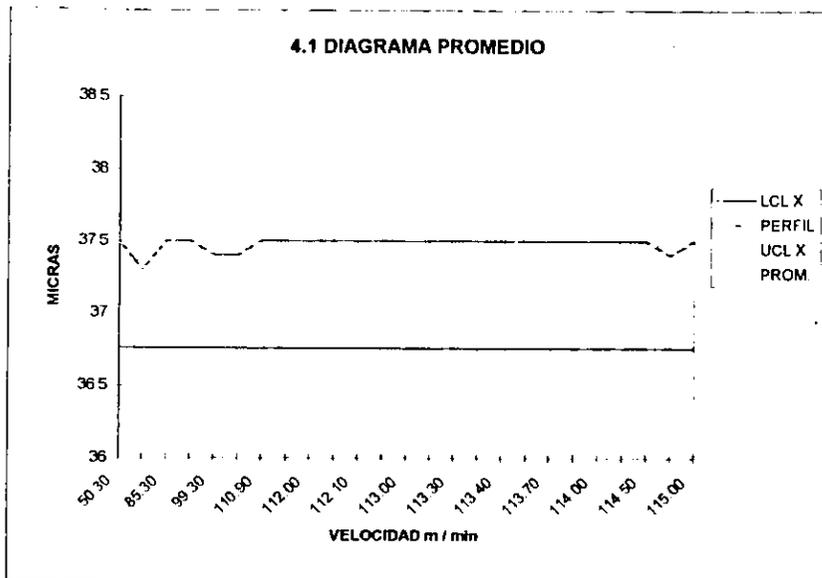
DIAGRAMA	PROMEDIO X	DESVIACIÓN S	P
LÍMITE INFERIOR LCL	36.76	0.07	0.00
LÍMITE SUPERIOR UCL	38.20	1.15	0.58
PROMEDIO CODIFICADO PROM.	37.48	0.61	0.2

TABLA 4.4. CAPACIDAD DEL PROCESO.

	SISTEMA	ESPECIFICACIONES
HABILIDAD POTENCIAL CP	0.377	2
HABILIDAD REAL CpK	0.367	1.683
CONCLUSIÓN	NO ES CAPAZ	SI ES CAPAZ

PRUEBA 1A

DIAGRAMAS X-S



PRUEBA 1A

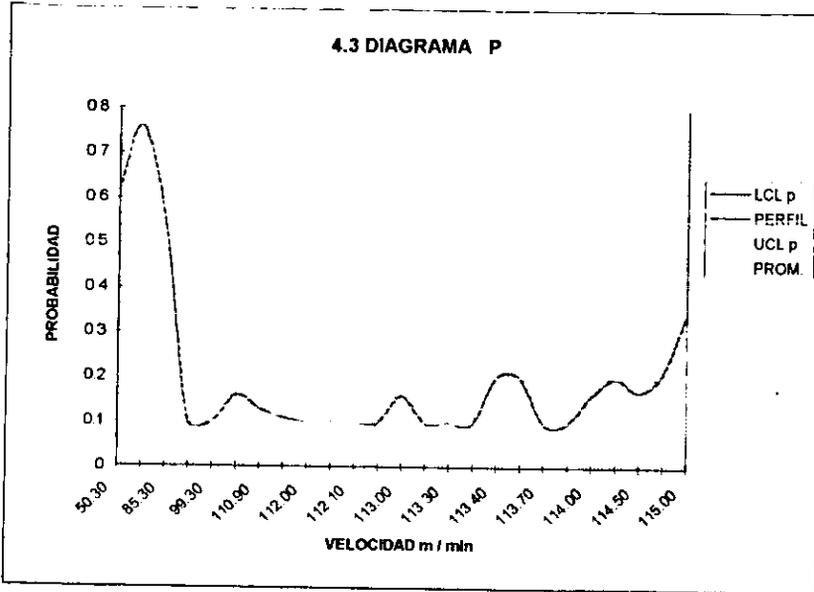
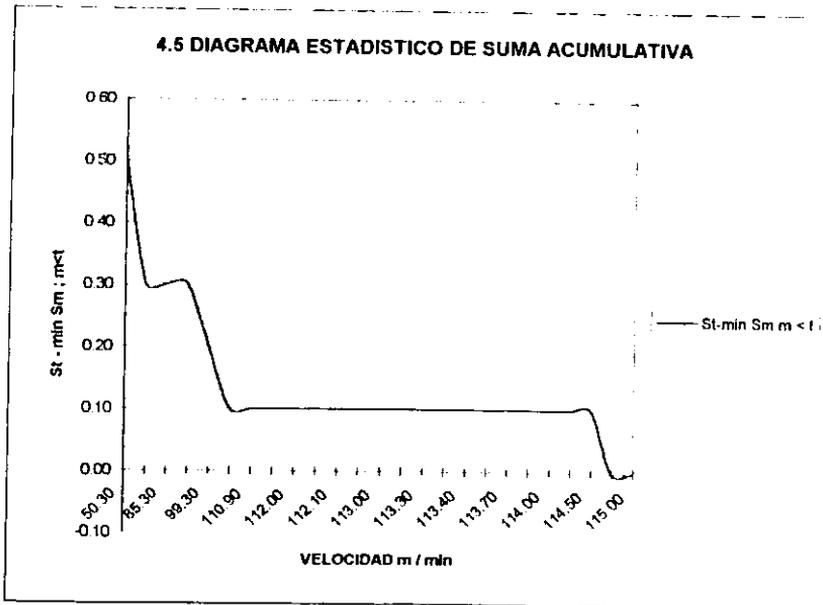
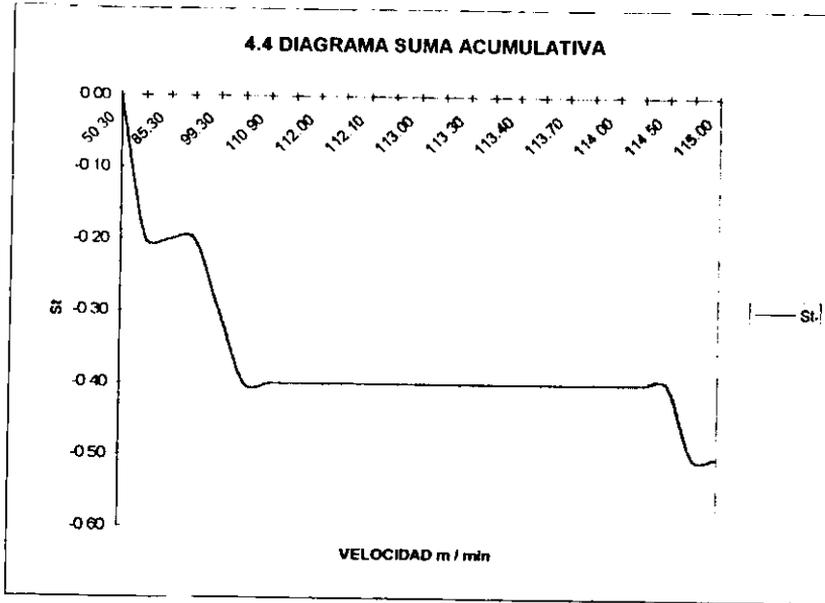


TABLA 4.5 SUMA ACUMULATIVA

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE	St	St-mín Sm m < t
		PROMEDIO		
1	80.30	37.50	0.00	0.50
2	83.70	37.30	-0.20	0.30
3	85.30	37.50	-0.20	0.30
4	98.30	37.50	-0.20	0.30
5	99.30	37.40	-0.30	0.20
6	109.40	37.40	-0.40	0.10
7	110.90	37.50	-0.40	0.10
8	111.50	37.50	-0.40	0.10
9	112.00	37.50	-0.40	0.10
10	112.10	37.50	-0.40	0.10
11	112.10	37.50	-0.40	0.10
12	112.30	37.50	-0.40	0.10
13	113.00	37.50	-0.40	0.10
14	113.10	37.50	-0.40	0.10
15	113.30	37.50	-0.40	0.10
16	113.30	37.50	-0.40	0.10
17	113.40	37.50	-0.40	0.10
18	113.40	37.50	-0.40	0.10
19	113.70	37.50	-0.40	0.10
20	113.70	37.50	-0.40	0.10
21	114.00	37.50	-0.40	0.10
22	114.00	37.50	-0.40	0.10
23	114.50	37.50	-0.40	0.10
24	114.70	37.40	-0.50	0.00
25	115.00	37.50	-0.50	0.00

PRUEBA 1A



4.1.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 1A.

La prueba 1A que consistió en el procesamiento de polietileno de baja densidad con sus respectivos aditivos, con un objetivo sobre el perfil de espesor de la película de 37.5 micras, probó su habilidad y capacidad del sistema a unas condiciones de operación preestablecidas de velocidad y temperatura.

Mostrando para el rango de velocidades en la que fue realizada la prueba, se obtuvieron límites de control para los *diagramas x - s*, de $UCLX = 38.20$ y $LCLX = 36.76$ micras respectivamente, el cual muestra cierta inestabilidad el proceso en el rango de velocidad de 50.3 a 99.3 m/min, mostrado también por el diagrama de la desviación (dig. 4.2), el cual muestra fuera de control al sistema en el rango de 50.3 a 98.3 m/min, dando como zona de confianza de operación a esas condiciones a partir de 99.3 m/min, donde el sistema inicia el control del sistema con tendencia al objetivo sin variación significativa hasta los 113.7 m/min, después del cual inicia el sistema a perder el control hasta terminar la prueba, marcando el límite de las condiciones óptimas.

Para la obtención del rango de velocidades óptimo, se apoya en los *diagramas de suma acumulativa y estadístico de suma acumulativa* (dig. 4.4 y 4.5 respectivamente), los cuales ratifican como rango seguro de operación del sistema de 110.9 hasta 114 m/min.

El sistema obtiene una habilidad de proceso con respecto al sistema y especificación del producto (tabla 4.1), de:

SISTEMA:

$$C_{pk} = 0.3670$$

$$C_p = 0.3774$$

el cual representa que no es hábil con respecto a sus límites de frontera, mientras que con la habilidad de la especificación del producto se obtuvo

ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO:

$$C_{pk} = 1.6828$$

$$C_p = 2.0000$$

mostrando la habilidad en el sistema para cumplir el objetivo.

Para todo el rango de velocidad que consta la prueba se genera un *diagrama P* (dig. 4.3), con respecto a esta variable, mostrando la probabilidad de obtención de producto con calidad baja en las zonas antes mencionadas de 50.3 a 98.3 m/min.

4.2 RESULTADOS PRUEBA 2A

**TABLA 4.6. CONTROL PARA VARIABLES DE EXTRUSIÓN
POLIETILENO NORMAL.**

CALIBRE ESPECIFICADO: 37.5 micras.

ANCHO ESPECIFICADO: 99.8 cm.

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE			PROBABILIDAD DE DEFECTOS	TRAYAM Dy / cm2
		PROMEDIO	DESVIACIÓN	RANGO		
1	50.30	37.50	1.10	9.80	0.62	38.00
2	67.80	37.20	2.88	72.70	0.41	38.00
3	110.00	37.50	0.55	4.10	0.01	38.00
4	112.50	37.50	1.20	5.90	0.06	38.00
5	113.00	37.50	0.45	1.90	0.03	38.00
6	113.00	37.50	0.36	1.40	0.00	38.00
7	114.10	37.50	0.33	1.60	0.00	38.00
8	114.20	37.50	0.29	1.20	0.00	38.00
9	114.30	37.50	1.05	17.40	0.03	38.00
10	118.00	37.50	1.30	16.30	0.41	38.00
PROMEDIO CODIFICADO		37.47	0.95	13.23	0.16	

TABLA 4.7 LIMITES DE FRONTERA.

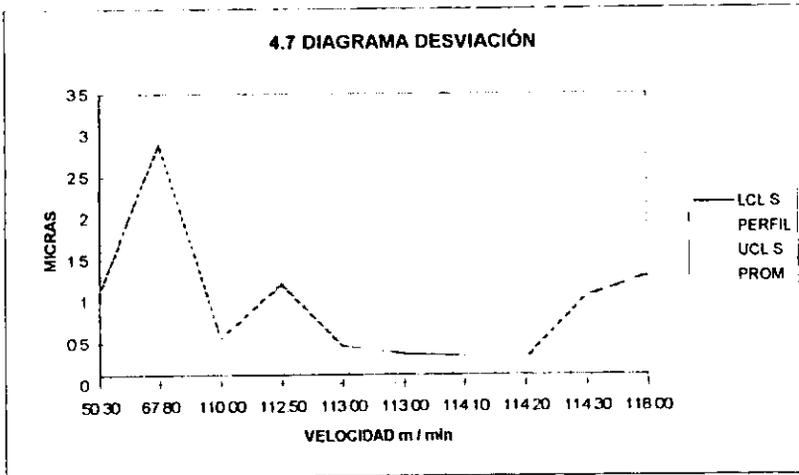
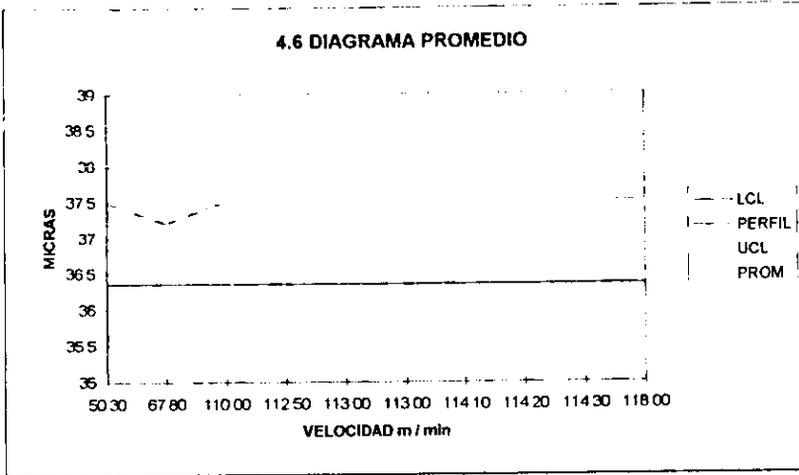
DIAGRAMA	PROMEDIO X	DESVIACIÓN S	P
LIMITE INFERIOR LCL	36.35	0.11	0.00
LIMITE SUPERIOR UCL	36.59	1.79	0.51
PROMEDIO CODIFICADO PROM.	37.47	0.95	0.16

TABLA 4.8. CAPACIDAD DEL PROCESO.

	SISTEMA	ESPECIFICACIONES
HABILIDAD POTENCIAL CP	0.377	1.283
HABILIDAD REAL CpK	0.353	1.08
CONCLUSIÓN	NO ES CAPAZ	SI ES CAPAZ

PRUEBA 2A

DIAGRAMAS X-S



PRUEBA 2A

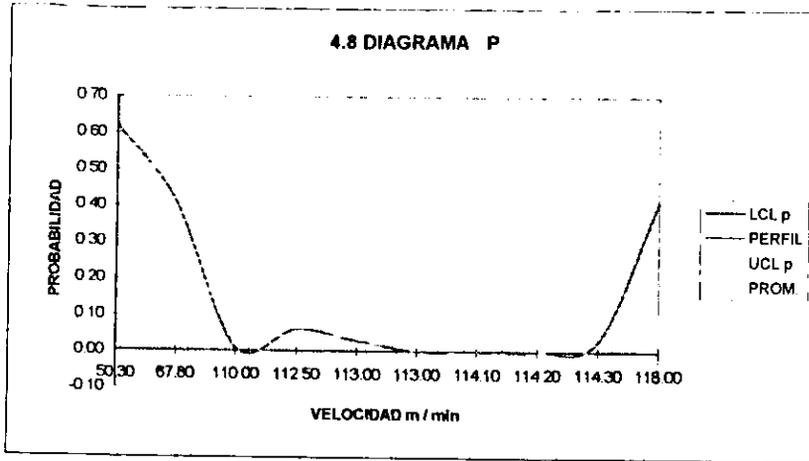
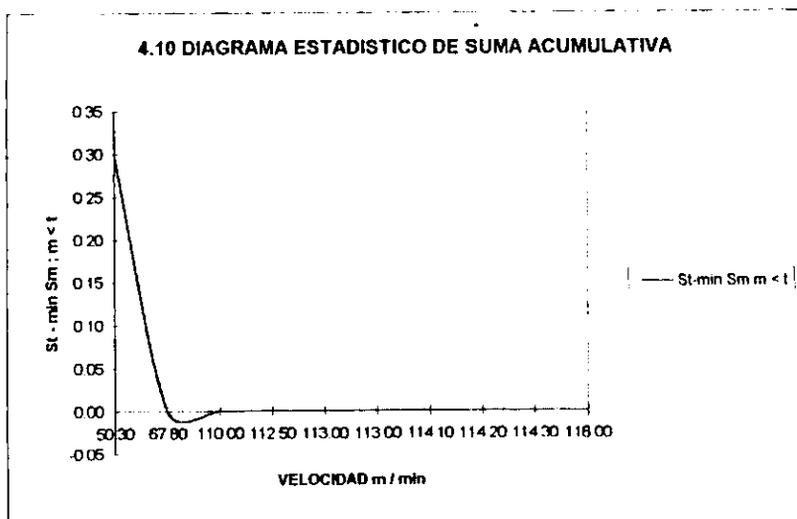
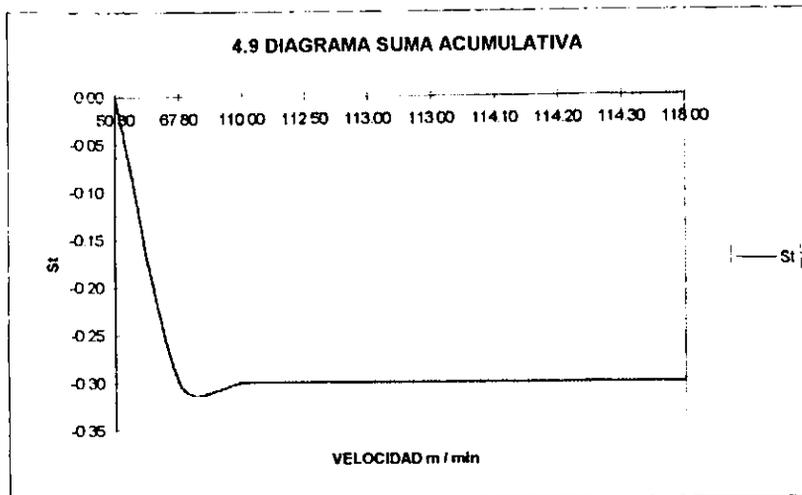


TABLA 4.9 SUMA ACUMULATIVA

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE PROMEDIO	St	St-min Sm m < 1
1	50.30	37.50	0.00	0.30
2	67.80	37.20	-0.30	0.00
3	110.00	37.50	-0.30	0.00
4	112.50	37.50	-0.30	0.00
5	113.00	37.50	-0.30	0.00
6	113.00	37.50	-0.30	0.00
7	114.10	37.50	-0.30	0.00
8	114.20	37.50	-0.30	0.00
9	114.30	37.50	-0.30	0.00
10	118.00	37.50	-0.30	0.00

PRUEBA 2A



4.2.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 2A

La prueba 2A que consistió en el procesamiento de polietileno de baja densidad con sus respectivos aditivos, con un objetivo del perfil de espesor de película de 37.5 micras, probó su habilidad y capacidad del sistema a condiciones de operación preestablecidas diferentes a la prueba 1A.

Mostrando para el rango de velocidades en que fue realizada la prueba, obteniendo límites de control para los *diagramas $\bar{x} - s$* , de $UCLX = 38.59$ y $LCLX = 36.35$ micras respectivamente dentro del cual muestra cierta adhesión al objetivo (dig. 4.6), pero con respecto a la variabilidad del proceso, se muestra su inicio a una estabilidad de control a los 110 m/min., con una adhesión al límite inferior en el rango de los 113.0 hasta los 114.2 m/min.

Para la obtención del rango de velocidades óptimo se apoya en los *diagramas de suma acumulativa y estadístico de suma acumulativa* (dig. 4.9 y 4.10 respectivamente), los cuales ratifican como rango seguro de operación del sistema de 110.0 hasta 114.3 m/min, este rango de operación es muy similar al obtenido por la prueba 1A, donde ambas pruebas coinciden en el inicio del control del sistema a los 110.0 m/min, pero varían solamente en la capacidad del proceso.

El sistema obtiene una capacidad de proceso con respecto al sistema y especificación de producto (tabla 4.1) de:

SISTEMA:

$$Cpk : 0.353$$

$$Cp : 0.377$$

el cual representa que no es hábil con respecto a sus límites de frontera, mientras que con la habilidad de la especificación del producto se obtuvo:

ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO:

$$Cpk : 1.081$$

$$Cp : 1.283$$

mostrando la habilidad en el sistema para cumplir el objetivo.

Para todo el rango de velocidad que consta la prueba se genera un *diagrama P* (dig. 4.8), con respecto a esta variable, mostrando la probabilidad de obtención de producto con calidad baja en las zonas de 50.3 hasta 110.0 m/min y en la zona de 114.3 hasta 118.0 m/min.

4.3 RESULTADOS PRUEBA 1B

**TABLA 4.10. CONTROL PARA VARIABLES DE EXTRUSIÓN
POLIETILENO + 50 % LINEAL.**

CALIBRE ESPECIFICADO: 38.1 micras. ANCHO ESPECIFICADO: 99.8 cm.

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE			PROBABILIDAD DE DEFECTOS	TRATADO Dy / cm ²
		PROMEDIO	DESVIACION	RANGO		
1	74 00	38 00	0 49	2 10	0 04	38 00
2	75 30	38 00	0 49	1 90	0 02	38 00
3	75 70	38 00	0 54	2 00	0 01	38 00
4	76 00	38 00	0 54	2 20	0 01	38 00
5	88 10	38 00	1 07	6 70	0 08	38 00
6	89 20	38 00	1 02	7 90	0 06	38 00
7	91 80	38 00	0 48	2 10	0 03	38 00
8	97 00	37 90	0 41	2 20	0 01	38 00
9	102 50	38 00	0 51	2 20	0 03	38 00
10	112 90	38 00	0 71	3 60	0 03	38 00
PROMEDIO CODIFICADO		37 99	0 63	3 29	0 03	

TABLA 4.11. LÍMITES DE FRONTERA.

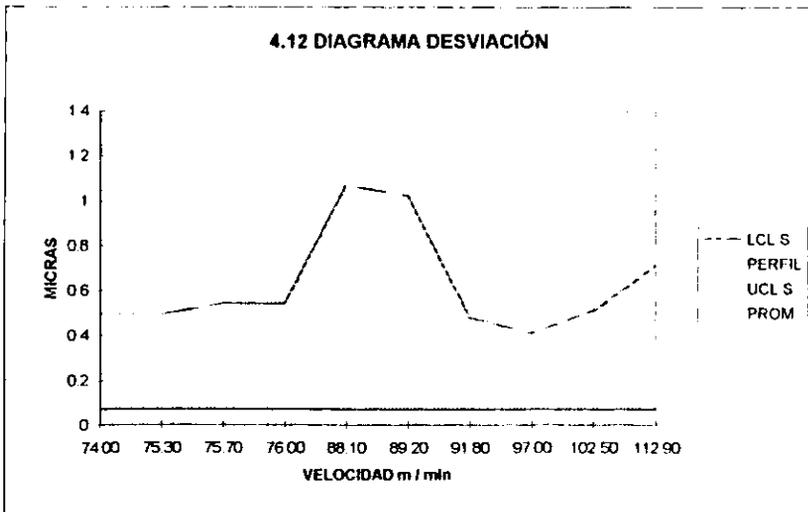
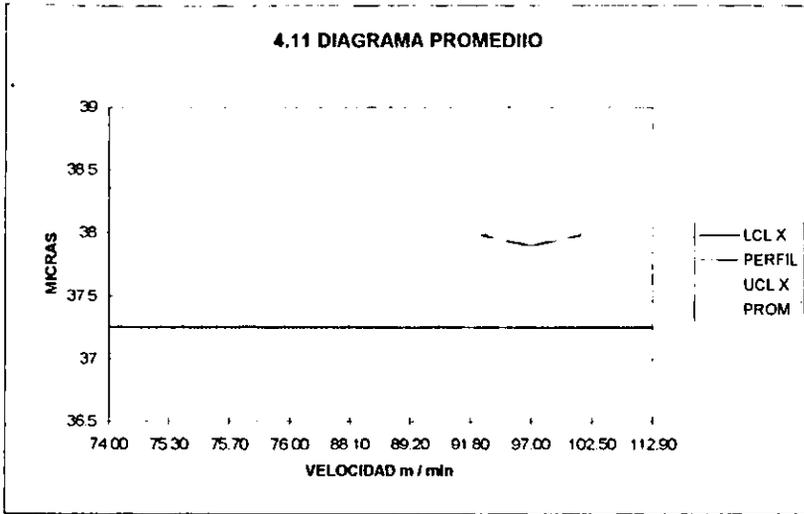
DIAGRAMA	PROMEDIO X	DESVIACION S	P
LÍMITE INFERIOR LCL	37 25	0 07	0 00
LÍMITE SUPERIOR UCL	38 73	1 18	0 20
PROMEDIO CODIFICADO PROM.	37 99	0 63	0 03

TABLA 4.12. CAPACIDAD DEL PROCESO.

	SISTEMA	ESPECIFICACIONES
HABILIDAD POTENCIAL CP	0 378	1 895
HABILIDAD REAL CpK	0 321	1 819
CONCLUSIÓN	NO ES CAPAZ	SI ES CAPAZ

PRUEBA 1B

DIAGRAMAS X-S



PRUEBA 1B

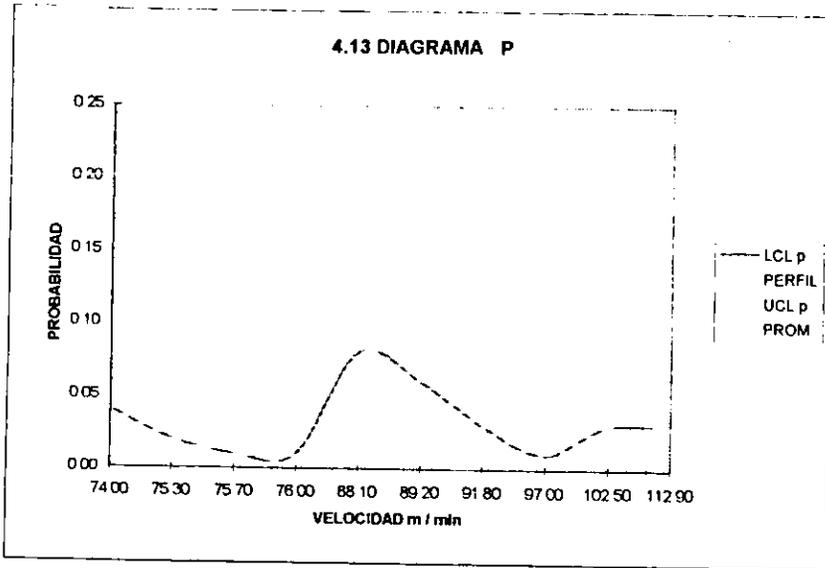
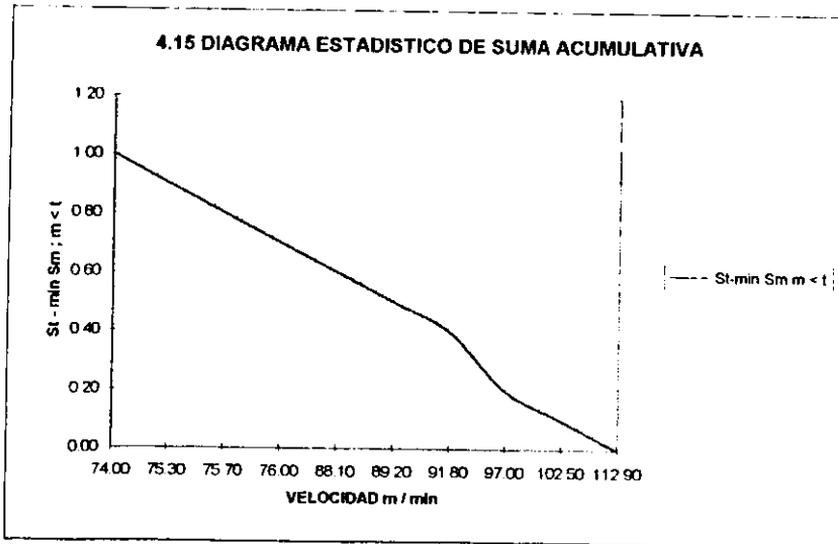
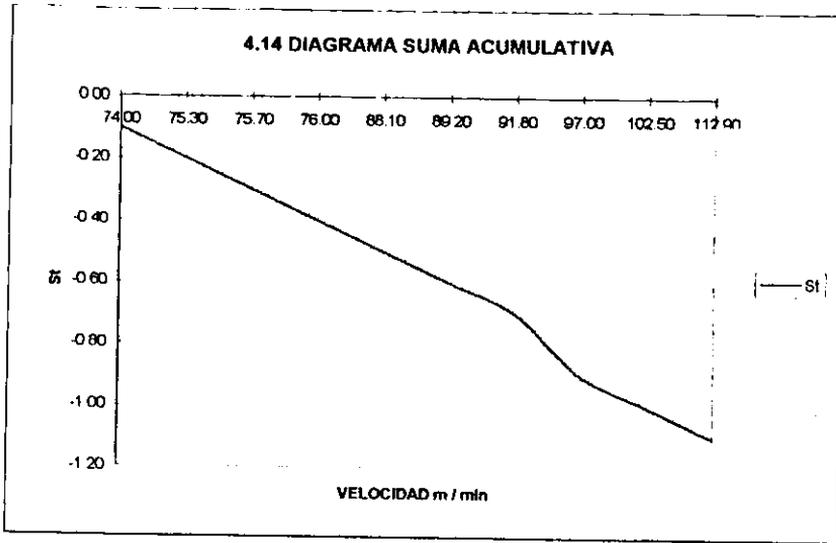


TABLA 4.13 SUMA ACUMULATIVA

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE	St	St-mín Sm m < t
		PROMEDIO		
1	74.00	38.00	-0.10	1.00
2	75.30	38.00	-0.20	0.90
3	75.70	38.00	-0.30	0.80
4	76.00	38.00	-0.40	0.70
5	88.10	38.00	-0.50	0.60
6	89.20	38.00	-0.60	0.50
7	91.80	38.00	-0.70	0.40
8	97.00	37.90	-0.90	0.20
9	102.50	38.00	-1.00	0.10
10	112.90	38.00	-1.10	0.00

PRUEBA 1B



4.3.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 1B

La prueba 1B consistió en el procesamiento de polietileno de baja densidad más un 50 % de lineal con sus respectivos aditivos, con un objetivo del perfil de espesor de película de 38.1 micras, se probó su habilidad y capacidad del sistema a condiciones de operación preestablecidas de velocidad y temperatura

Mostrando para el rango de velocidad en que fue realizada la prueba, obteniendo límites de control para los *diagramas $\bar{x} - s$* , de $UCLX = 38.73$ y $LCLX = 37.25$ micras respectivamente dentro del cual muestran adhesión al objetivo (dig. 4.11), pero con respecto a la variabilidad del proceso muestra cambios bruscos de nivel, a todo el rango de velocidad, provocados por la falta de compatibilidad de las condiciones de operación (perfil de temperaturas) ó debido a la operación del sistema, a pesar de que no se pierde el objetivo del calibre, reflejando en la apariencia de la formación del rollo, problemas ligeros de costillas deformando el producto (dig.4.12).

Los *diagramas de suma acumulativa y estadístico de suma acumulativa*, no muestran zonas seguras de operación sobre el rango de velocidades de la prueba, mostrando tendencias negativas y positivas constantes por la variabilidad del sistema (dig. 4.14 y 4.15 respectivamente), apoyados por el *diagrama P* mostrando también cambios bruscos para la obtención de producto con baja calidad en todo el rango de velocidad, creando demasiada incertidumbre (dig.4.13).

El sistema obtiene una capacidad de proceso con respecto al sistema y especificación de producto (tabla 4.1) de :

SISTEMA :

$$Cpk : 0.321$$

$$Cp : 0.378$$

el cual representa que no es hábil con respecto a sus límites de frontera, mientras que con la habilidad de la especificación del producto se obtuvo:

ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO :

$$Cpk : 1.819$$

$$Cp : 1.882$$

mostrando la habilidad en el sistema para cumplir el objetivo.

4.4 RESULTADOS PRUEBA 2B

**TABLA 4.14. CONTROL PARA VARIABLES DE EXTRUSIÓN
POLIETILENO + 50 % LINEAL.**

CALIBRE ESPECIFICADO: 38.1 micras.

ANCHO ESPECIFICADO: 98.8 cm.

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE			PROBABILIDAD DE DEFECTOS	TRATADO Dy / cm ²
		PROMEDIO	DESVIACIÓN	RANGO		
1	10 60	38 00	5 47	24 20	0 54	38 00
2	67 40	38 00	0 49	2 10	0 04	38 00
3	67 70	38 00	0 34	2 00	0 03	38 00
4	68 80	38 00	0 35	1 30	0 02	38 00
5	90 70	38 00	0 56	2 10	0 01	38 00
6	91 20	38 00	0 57	2 10	0 01	38 00
7	91 70	38 00	0 52	1 90	0 01	38 00
8	91 90	38 00	0 53	1 80	0 02	38 00
9	96 90	38 00	0 51	2 00	0 02	38 00
10	97 40	38 00	0 53	1 80	0 02	38 00
PROMEDIO CODIFICADO		38.00	0.99	4.13	0.07	

TABLA 4.15. LIMITES DE FRONTERA.

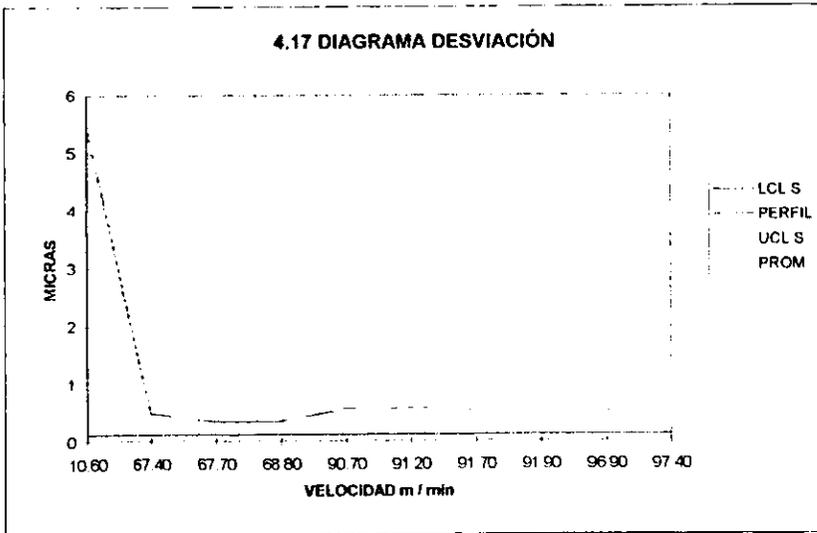
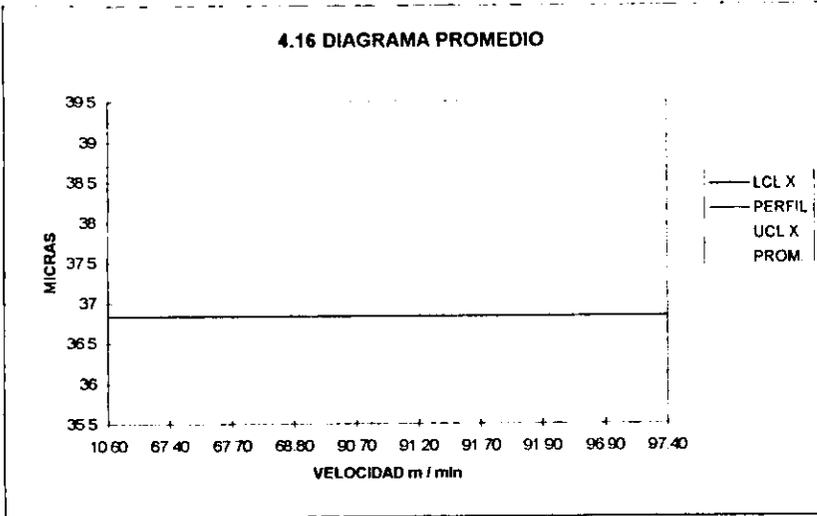
DIAGRAMA	PROMEDIO X	DESVIACIÓN S	P
LIMITE INFERIOR LCL	36.83	0.12	0.00
LIMITE SUPERIOR UCL	39.16	1.88	0.31
PROMEDIO CODIFICADO PROM.	38.00	0.63	0.07

TABLA 4.16. CAPACIDAD DEL PROCESO.

	SISTEMA	ESPECIFICACIONES
HABILIDAD POTENCIAL CP	0.378	1.194
HABILIDAD REAL CpK	0.344	1.154
CONCLUSIÓN	NO ES CAPAZ	SI ES CAPAZ

PRUEBA 2B

DIAGRAMAS X-S



PRUEBA 2B

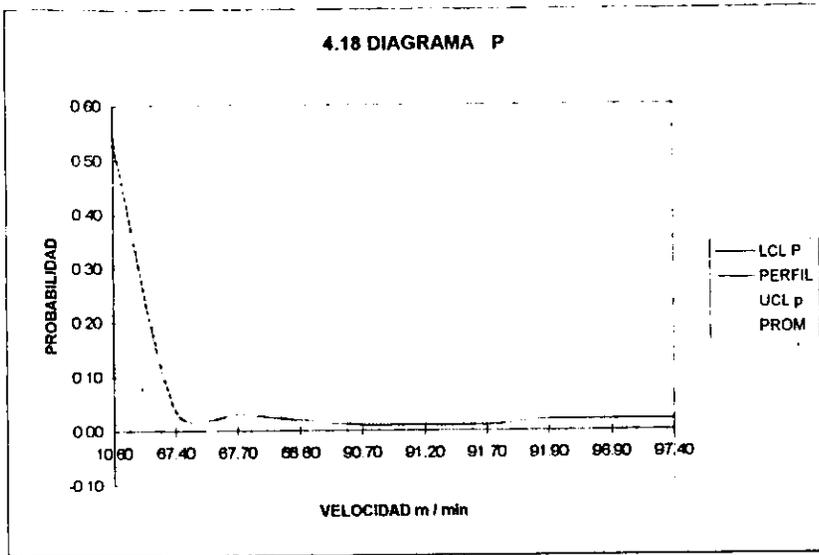
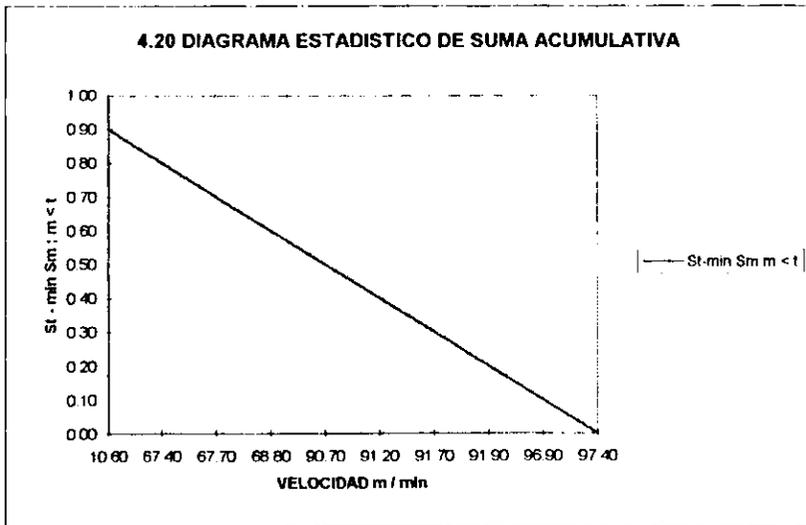
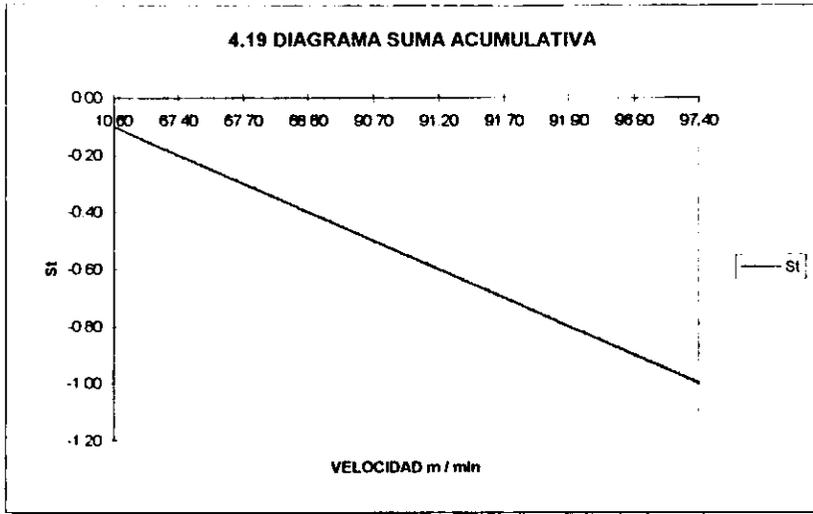


TABLA 4.17 SUMA ACUMULATIVA

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE	St	St-min Sm m < t
		PROMEDIO		
1	10.60	36.00	-0.10	0.90
2	67.40	36.00	-0.20	0.80
3	67.70	36.00	-0.30	0.70
4	68.80	36.00	-0.40	0.60
5	90.70	36.00	-0.50	0.50
6	91.20	36.00	-0.60	0.40
7	91.70	36.00	-0.70	0.30
8	91.90	36.00	-0.80	0.20
9	96.90	36.00	-0.90	0.10
10	97.40	36.00	-1.00	0.00

PRUEBA 2B



4.4.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 2B

La prueba 2B consistió en el procesamiento de polietileno de baja densidad más un 50 % de lineal con sus respectivos aditivos, con un objetivo del perfil de espesor de película de 38.1 micras, se probó su habilidad y capacidad del sistema a condiciones de operación preestablecidas diferentes a la prueba 1B.

Mostrando para el rango de velocidad en que fue realizada la prueba límites de control para los *diagramas x-s*, de $UCL_X = 39.16$ y $LCL_X = 36.83$ micras respectivamente dentro del cual muestra una adhesión total a la línea central (dig. 4.16), mostrando una estabilidad el sistema desde los 67.40 hasta 97.4 m/min. (dig. 4.17), con una adhesión en este rango hacia el límite inferior haciendo confiable el sistema.

los *diagramas de suma acumulativa* y *estadístico de suma acumulativa* (dig. 4.19 y 4.20) muestran tendencias negativas y positivas constantes, causando no definir con cierta confianza un rango aceptable de operación del sistema, debido a la falta de depuración de los procedimientos y condiciones de operación.

Para todo el rango de velocidad que consta la prueba se genera un *diagrama P* (dig. 4.18), con respecto a esta variable, mostrando la probabilidad de obtención de producto con baja calidad en la zona de 10.60 hasta 67.4 m/min.

El sistema obtiene una capacidad de proceso con respecto al sistema y especificación del producto (tabla 4.1), de :

SISTEMA :

$$C_{pk} : 0.334$$

$$C_p : 0.378$$

el cual representa que no es hábil con respecto a sus límites de frontera, mientras que con la habilidad de la especificación del producto se obtuvo:

ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO :

$$C_{pk} : 1.154$$

$$C_p : 1.194$$

mostrando la habilidad en el sistema para cumplir el objetivo.

Aunque el sistema de la prueba 1B presenta mayor potencial de proceso, posee mejor control de sistema la prueba 2B, con una variabilidad estable.

4.5 RESULTADOS PRUEBA 1C

**TABLA 4.18. CONTROL PARA VARIABLES DE EXTRUSIÓN
POLIETILENO + 9 % PIGMENTO BLANCO.**

CALIBRE ESPECIFICADO: 25.5 micras.

ANCHO ESPECIFICADO: 84.0 cm.

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE			PROBABILIDAD DE DEFECTOS	TRATADO Dy / cm2
		PROMEDIO	DESVIACIÓN	RANGO		
1	14.30	19.40	22.22	44.90	0.99	38.00
2	100.00	25.50	0.52	1.70	0.00	38.00
3	100.90	25.40	0.55	1.30	0.00	38.00
4	100.90	25.40	0.59	1.70	0.00	38.00
5	101.60	25.40	0.60	1.30	0.00	38.00
6	102.20	25.40	0.32	1.20	0.00	38.00
7	105.30	25.20	0.28	1.40	0.00	38.00
8	109.00	25.50	0.34	1.40	0.00	38.00
9	110.80	25.30	0.18	1.10	0.00	38.00
10	118.60	25.40	0.37	1.60	0.00	38.00
PROMEDIO CODIFICADO		24.79	2.60	5.76	0.10	

TABLA 4.19. LIMITES DE FRONTERA.

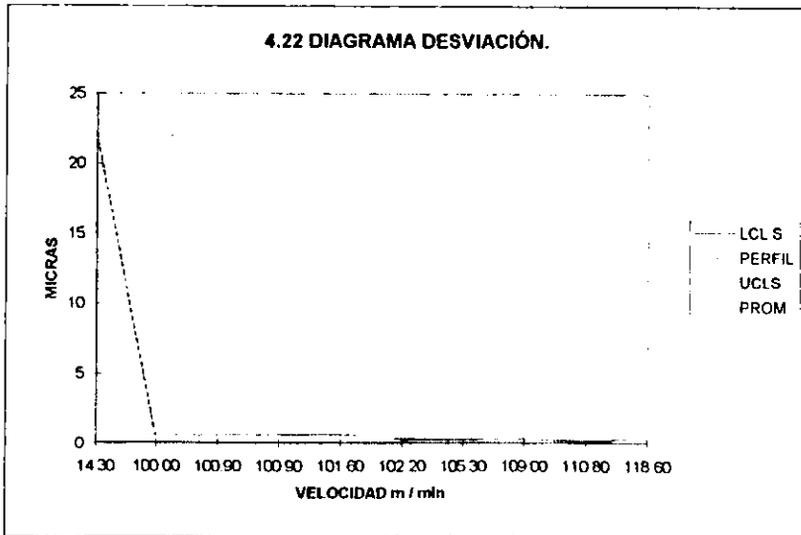
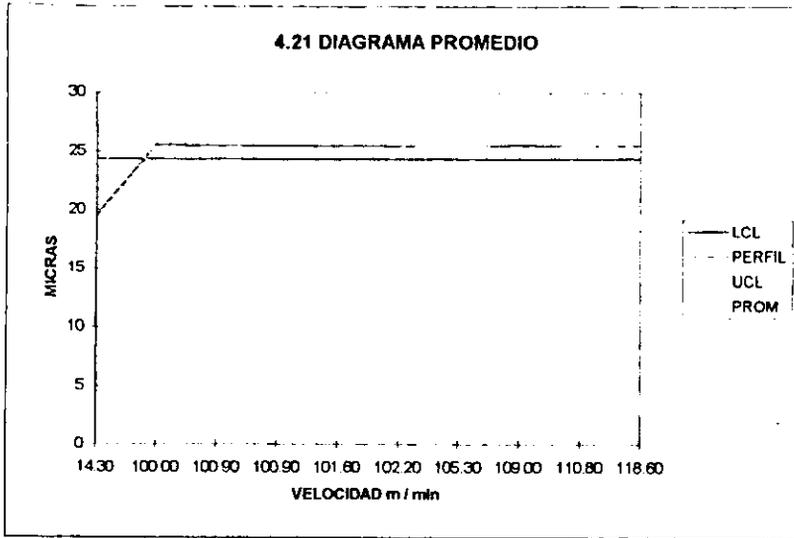
DIAGRAMA	PROMEDIO X	DESVIACIÓN S	P
LÍMITE INFERIOR LCL	24.30	0.05	0.00
LÍMITE SUPERIOR UCL	25.27	0.77	0.36
PROMEDIO CODIFICADO PROM.	24.79	2.60	0.10

TABLA 4.20. CAPACIDAD DEL PROCESO.

	SISTEMA	ESPECIFICACIONES
HABILIDAD POTENCIAL Cp	0.374	2.972
HABILIDAD REAL CpK	0.179	2.894
CONCLUSIÓN	NO ES CAPAZ	SIES CAPAZ

PRUEBA 1C

DIAGRAMAS X-S



PRUEBA 1C

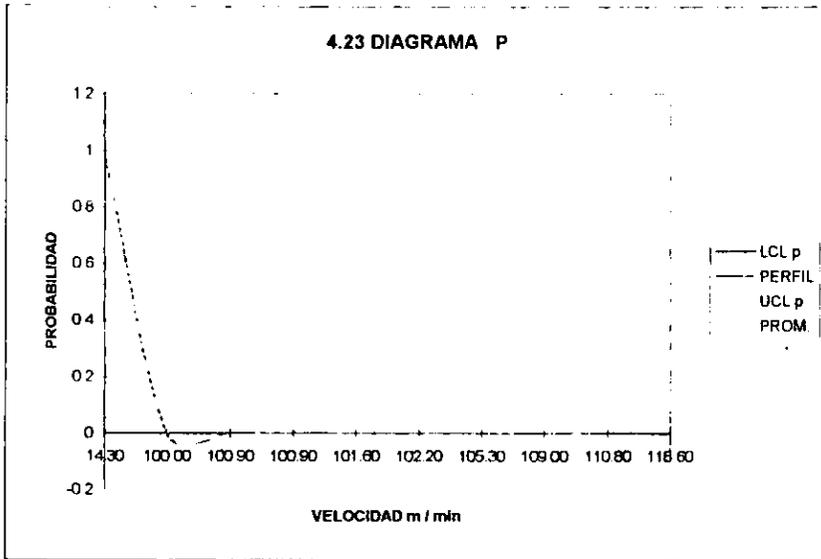
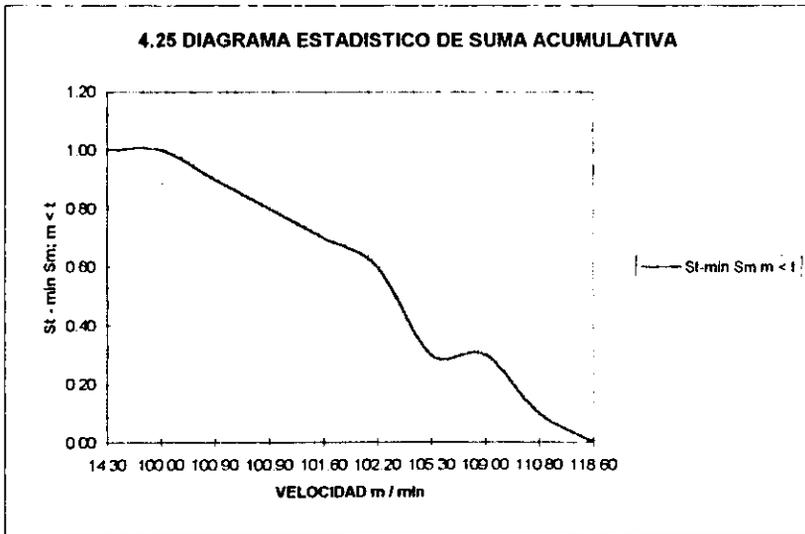
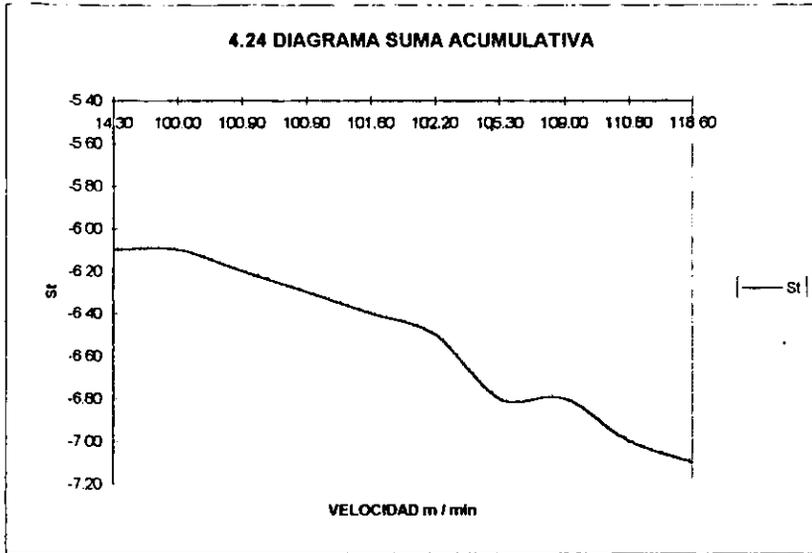


TABLA 4.21 SUMA ACUMULATIVA

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE	St	St-min Sm m < t
		PROMEDIO		
1	14.30	19.40	-6.10	1.00
2	100.00	25.50	-6.10	1.00
3	100.90	25.40	-6.20	0.90
4	100.90	25.40	-6.30	0.80
5	101.60	25.40	-6.40	0.70
6	102.20	25.40	-6.50	0.60
7	105.30	25.20	-6.60	0.30
8	109.00	25.50	-6.80	0.30
9	110.80	25.30	-7.00	0.10
10	118.60	25.40	-7.10	0.00

PRUEBA 1C



4.5.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 1C

La prueba 1C consistió en el procesamiento de polietileno de baja densidad más un 9 % de pigmento blanco con sus respectivos aditivos, con un objetivo del perfil de espesor de película de 25.5 micras, se probó su habilidad y capacidad del sistema a condiciones de operación preestablecidas de velocidad y temperatura.

Mostrando para el rango de velocidad en que fue realizada la prueba, obtener límites de control para los *diagramas x - s*, $UCLX = 25.27$ y $LCLX = 24.30$ micras respectivamente dentro del cual muestra adhesión al límite superior de control, pero por fuera del propio sistema, sin estar significativamente lejos del objetivo (dig. 4.21), mostrando una variabilidad sostenida, con adhesión al límite inferior de control del *diagrama de desviación* (dig. 4.22), a partir del mismo punto por el diagrama promedio.

Los *diagramas de suma acumulativa y estadístico de suma acumulativa*, no muestran zonas seguras de operación sobre el rango de velocidades de la prueba, además presentan ambas tendencias negativas, sin alcanzar la estabilidad (dig. 4.24 y 4.25 respectivamente), pero apoyándonos en el *diagrama P* que fue generado durante la prueba este respalda las zonas seguras en el rango de 100.9 hasta 118.6 m/min (dig. 4.23).

El sistema obtiene una capacidad de proceso con respecto a el sistema y especificación de producto (tabla 4.1), de :

SISTEMA:

Cpk : 0.179

Cp : 0.374

el cual representa que no es hábil con respecto a sus límites de frontera, mientras que con la habilidad de la especificación del producto se obtuvo .

ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO :

Cpk : 2.894

Cp : 2.972

mostrando la habilidad en el sistema para cumplir con el objetivo

4.6 RESULTADOS PRUEBA 2C

**TABLA 4.22. CONTROL PARA VARIABLES DE EXTRUSIÓN
POLIETILENO + 9 % PIGMENTO BLANCO.**

CALIBRE ESPECIFICADO: 25.5 micras. ANCHO ESPECIFICADO: 94.0 cm.

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE			PRORABILIDAD DE DEFECTOS	TRAYADO Dy / cm2
		PROMEDIO	DESVIACIÓN	RANGO		
1	62 70	25 50	1 48	13 70	0 28	36 00
2	62 70	25 50	1 48	13 8	0 28	36 00
3	82 30	25 70	3 67	32 90	0 22	36 00
4	96 60	25 40	1 06	10 00	0 10	36 00
5	97 30	25 40	0 90	2 00	0 09	36 00
6	97 50	25 40	0 85	3 00	0 08	36 00
7	97 70	25 50	1 10	4 00	0 11	36 00
8	98 10	25 40	1 05	3 00	0 10	36 00
9	111 80	25 40	1 25	3 40	0 10	36 00
10	116 50	25 40	0 95	1 80	0 10	36 00
PROMEDIO CODIFICADO		25 46	1 38	8 20	0 15	

TABLA 4.23. LIMITES DE FRONTERA.

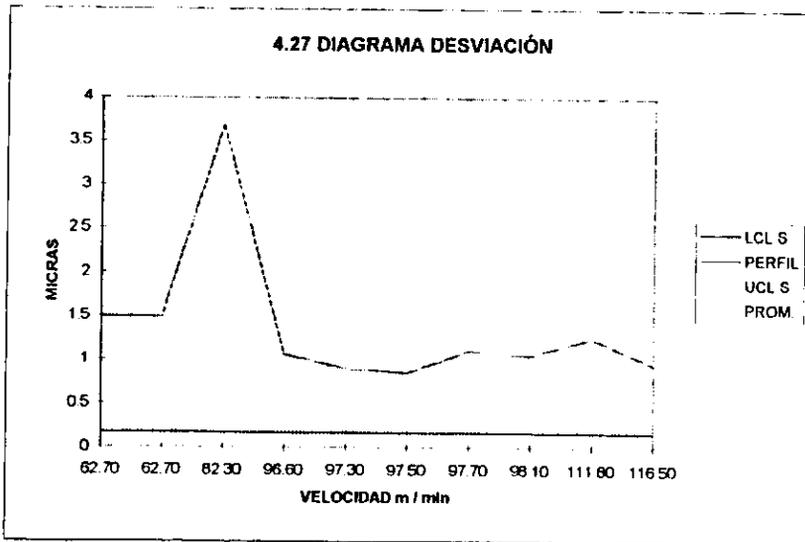
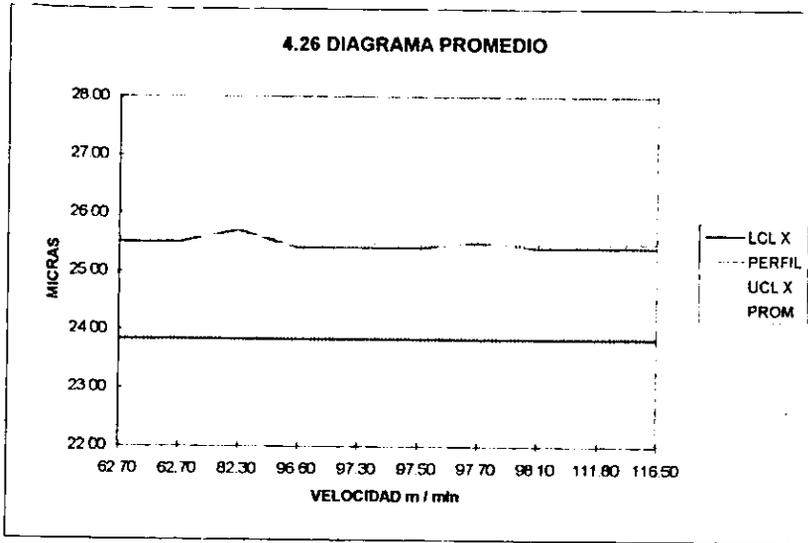
DIAGRAMA	PROMEDIO X	DESVIACIÓN S	P
LIMITE INFERIOR LCL	23 83	0 16	0 00
LIMITE SUPERIOR UCL	27 09	2 60	0 49
PROMEDIO CODIFICADO PROM.	25 46	1 38	0 15

TABLA 4.24. CAPACIDAD DEL PROCESO.

	SISTEMA	ESPECIFICACIONES
HABILIDAD POTENCIAL CP	0 378	5 301
HABILIDAD REAL CpK	0 369	0 86
CONCLUSIÓN	NO ES CAPAZ	NO ES CAPAZ

PRUEBA 2C

DIAGRAMAS X-S



PRUEBA 2C

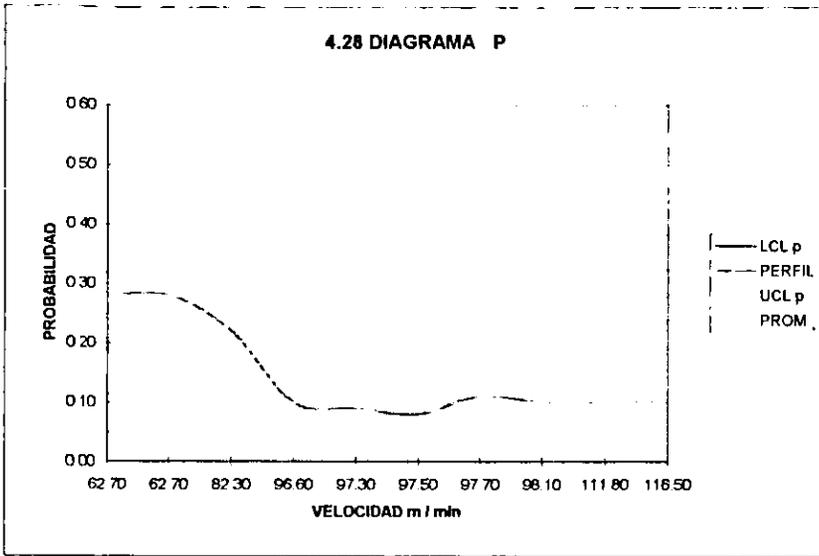
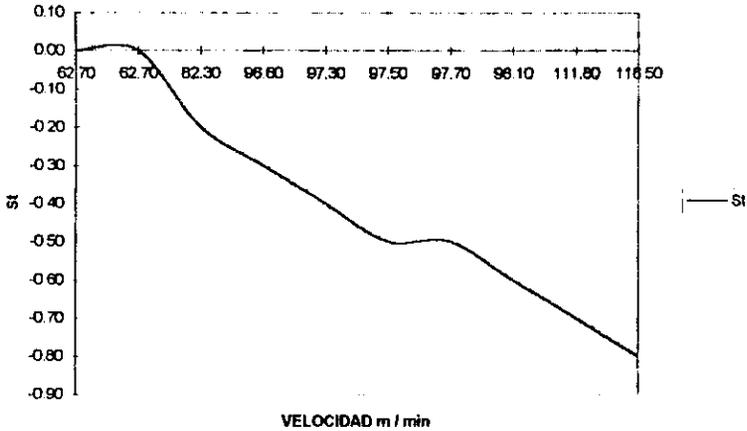


TABLA 4.25 SUMA ACUMULATIVA

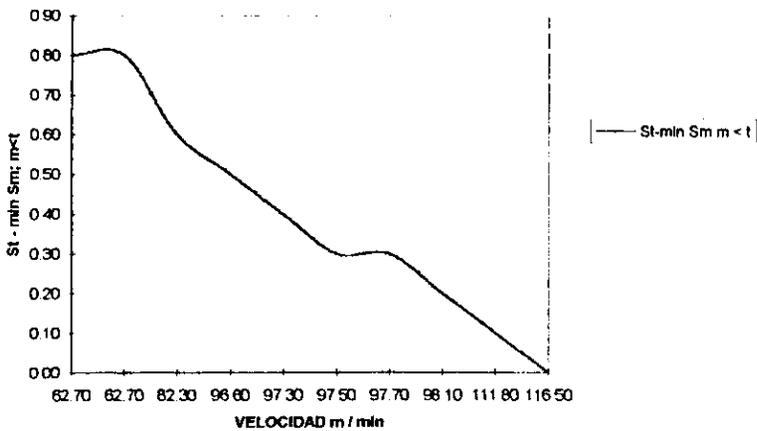
ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE PROMEDIO	St	St-m/n S _m m < t
1	62.70	25.50	0.00	0.80
2	62.70	25.50	0.00	0.80
3	82.30	25.70	-0.20	0.60
4	96.60	25.40	-0.30	0.50
5	97.30	25.40	-0.40	0.40
6	97.50	25.40	-0.50	0.30
7	97.70	25.50	-0.50	0.30
8	98.10	25.40	-0.60	0.20
9	111.80	25.40	-0.70	0.10
10	116.50	25.40	-0.80	0.00

PRUEBA 2C

4.29 DIAGRAMA SUMA ACUMULATIVA



4.30 DIAGRAMA ESTADISTICO DE SUMA ACUMULATIVA



4.6.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 2C

La prueba 2C consistió en el procesamiento de polietileno de baja densidad más un 9 % de pigmento blanco con sus respectivos aditivos, con un objetivo del perfil de espesor de película de 25.5 micras, se probó su habilidad y capacidad del sistema a condiciones de operación preestablecidas de velocidad y temperatura.

Mostrando para el rango de velocidades en que fue realizada la prueba, obtener límites de control para los *diagramas x - s*, $UCLX = 27.09$ y $LCLX = 23.83$ micras respectivamente dentro del cual muestra adhesión al límite central en todo el rango de la prueba, mientras que el sistema empieza a ser estable a los 96.6 m/min. hasta 116.5 m/min que fue el término de la prueba (dig. 4.27).

Los *diagramas de suma acumulativa y estadístico de suma acumulativa*, no muestran zonas seguras de operación, mostrando tales diagramas tendencias negativas como las presentadas por el sistema 1C, siendo este el que presenta menor variabilidad en el sistema y un mejor potencial.

Para su obtención de rango de velocidades en la cual aplican mejor las condiciones del sistema, nos apoyamos en el *diagrama P* que fue generado el cual propone el rango junto con el *diagrama de desviación* para la obtención de película de aceptable calidad en 96.60 hasta 116.50 m/min (dig. 4.28).

El sistema obtiene una capacidad de proceso con respecto al sistema y especificación de producto (tabla 4.1) de :

SISTEMA:

$$Cpk : 0.369$$

$$Cp : 0.378$$

el cual representa que no es hábil con respecto a sus límites de frontera, mientras que con la habilidad de la especificación del producto se obtuvo :

ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO :

$$Cpk : 0.860$$

$$Cp : 5.301$$

mostrando de nuevo la no habilidad, pero muestra que dicho sistema se puede depurar más para la obtención máxima del potencial.

4.7 RESULTADOS PRUEBA 1D

**TABLA 4.26. CONTROL PARA VARIABLES DE EXTRUSIÓN
POLIPROPILENO (CPP).**

CALIBRE ESPECIFICADO: 38.1 micras.

ANCHO ESPECIFICADO: 104.0 cm.

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE			PROBABILIDAD DE DEFECTOS	TRATADO Dy / cm ²
		PROMEDIO	DESVIACIÓN	RANGO		
1	20.20	38.00	20.07	43.00	0.39	38.00
2	42.80	38.00	1.30	14.20	0.09	38.00
3	46.60	38.00	1.15	4.10	0.11	38.00
4	48.60	38.00	0.78	2.90	0.09	38.00
5	49.10	38.00	1.15	5.60	0.10	38.00
6	49.60	38.00	0.93	3.10	0.06	38.00
7	49.70	38.00	1.30	6.80	0.14	38.00
8	49.80	38.00	1.09	3.50	0.12	38.00
9	50.10	38.00	1.15	5.10	0.10	38.00
10	50.30	38.00	1.17	5.10	0.13	38.00
PROMEDIO CODIFICADO		38.00	3.01	9.34	0.13	

TABLA 4.27. LÍMITES DE FRONTERA.

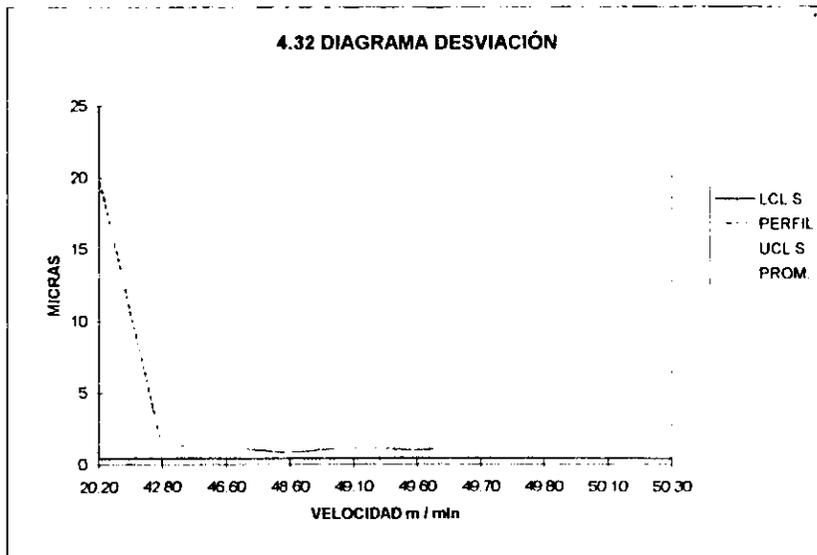
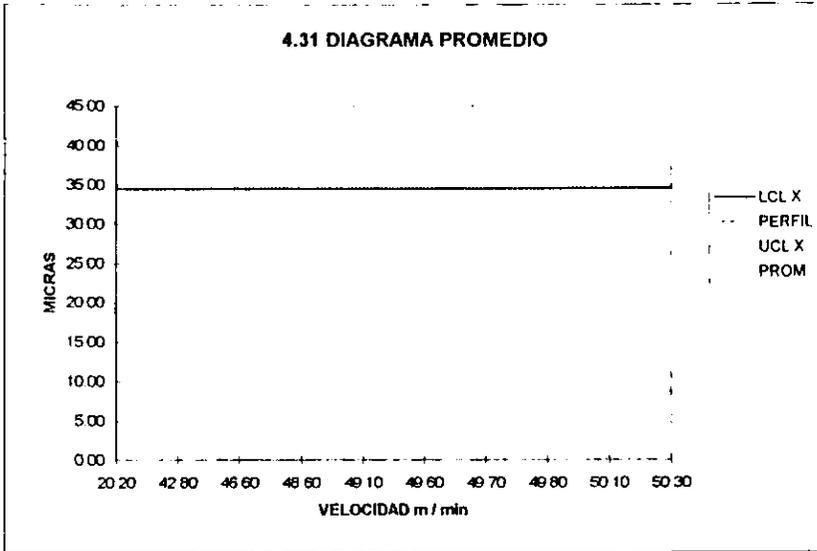
DIAGRAMA	PROMEDIO X	DESVIACIÓN S	P
LÍMITE INFERIOR LCL	34.44	0.36	0.00
LÍMITE SUPERIOR UCL	41.56	5.66	0.45
PROMEDIO CODIFICADO PROM.	38.00	3.01	0.13

TABLA 4.28. CAPACIDAD DEL PROCESO.

	SISTEMA	ESPECIFICACIONES
HABILIDAD POTENCIAL Cp	0.378	2.349
HABILIDAD REAL Cpk	0.368	0.378
CONCLUSIÓN	NO ES CAPAZ	NO ES CAPAZ

PRUEBA 1D

DIAGRAMAS X-S



PRUEBA 1D

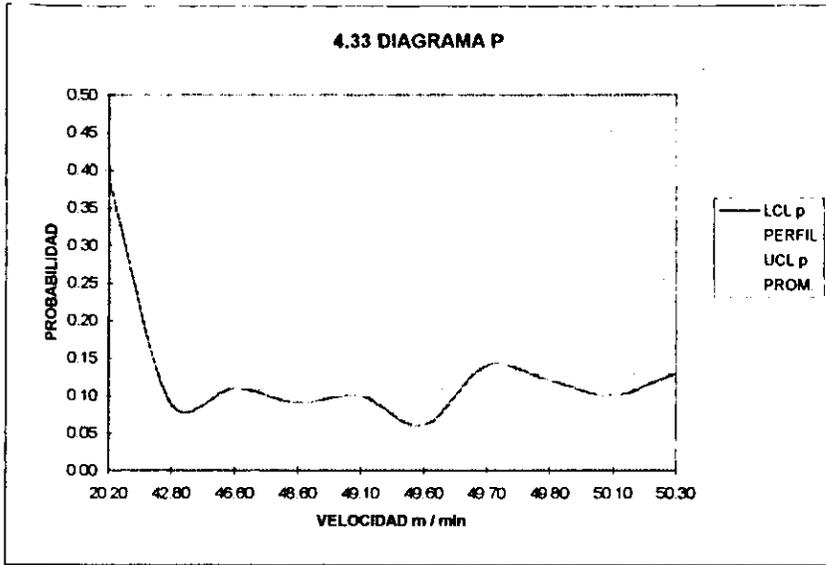
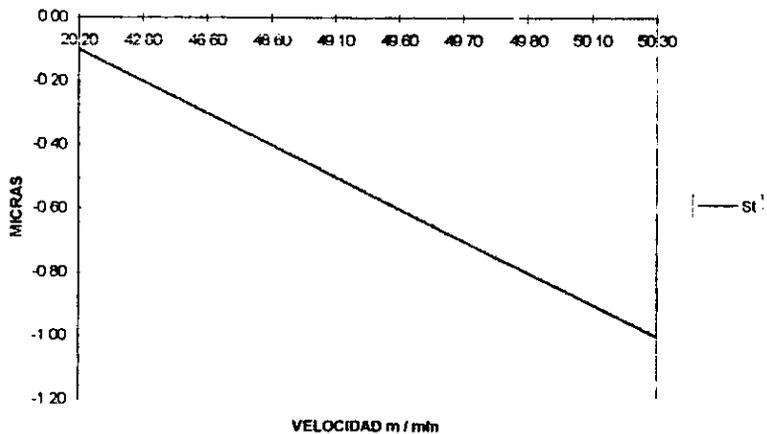


TABLA 4.29 SUMA ACUMULATIVA

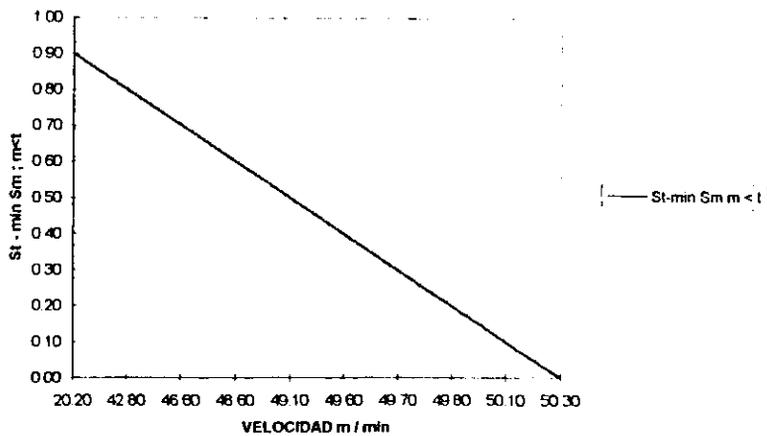
ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE	St	St-min Sm m < t
		PROMEDIO		
1	20.20	36.00	-0.10	0.90
2	42.80	36.00	-0.20	0.80
3	46.60	36.00	-0.30	0.70
4	48.00	36.00	-0.40	0.60
5	49.10	36.00	-0.50	0.50
6	49.60	36.00	-0.60	0.40
7	49.70	36.00	-0.70	0.30
8	49.80	36.00	-0.80	0.20
9	50.10	36.00	-0.90	0.10
10	50.30	36.00	-1.00	0.00

PRUEBA 1D

4.34 DIAGRAMA SUMA ACUMULATIVA



4.35 DIAGRAMA ESTADISTICO DE SUMA ACUMULATIVA



4.7.1 ANÁLISIS DE PRUEBA 1D

La prueba 1D consistió en el procesamiento de polipropileno con sus respectivos aditivos, con un objetivo del perfil de espesor de película de 38.1 micras, se probó su habilidad y capacidad del sistema a condiciones de operación preestablecidas de velocidad y temperatura

Mostrando para el rango de velocidad en que fue realizada la prueba, obtener límites de control para los *diagramas x-s*, $UCLX = 41.56$ y $LCLX = 34.44$ micras respectivamente dentro del cual muestra una adhesión total al límite central de control (dig 4.31), mientras que el *diagrama desviación* muestra cierta adhesión al límite inferior a partir de los 42.80 m/min., donde muestra una variabilidad sostenida del mismo sistema. (dig. 4.32)

Los *diagramas de suma acumulativa y estadístico de suma acumulativa*, muestran una tendencia negativa constante causada por la misma variabilidad del sistema, generado por una mala operación del sistema, en cuestión de temperaturas de las capas, que causarán su inestabilidad en el flujo y nunca llegarán a hacer estable en ninguna etapa de la prueba (digs. 4.34 y 4.35 respectivamente).

El *diagrama P* que fue generado durante la prueba no respalda ninguna zona segura durante el rango de la prueba, debido a que por naturaleza del mismo material, este no acepta zonas descalibradas, causando bandas y deformación del rollo.

Este sistema obtiene una capacidad de proceso con respecto al sistema y especificación del producto (tabla 4.1) de:

SISTEMA:

Cpk: 0.368

Cp: 0.378

el cual representa que no es hábil con respecto a sus límites de frontera, mientras que con la habilidad de la especificación del producto se obtuvo.

ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO:

Cpk: 0.378

Cp: 2.349

mostrando la habilidad en el sistema para cumplir con el objetivo, pero hace notar que es bueno el potencial para continuar desarrollando.

4.8 RESULTADOS PRUEBA 2D

**TABLA 4.30. CONTROL PARA VARIABLES DE EXTRUSIÓN
POLIPROPILENO (CPP)**

CALIBRE ESPECIFICADO: 38.1 micras.

ANCHO ESPECIFICADO: 104.0 cm.

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE			PROBABILIDAD DE DEFECTOS	TRATADO Dy / cm ²
		PROMEDIO	DESVIACIÓN	RANGO		
1	40 00	38 10	1 10	9 80	0 07	36 00
2	42 80	38 00	7 40	72 70	0 41	36 00
3	56 00	38 10	0 56	4 10	0 01	36 00
4	57 50	38 10	1 02	5 90	0 06	36 00
5	58 00	38 10	0 45	1 90	0 01	36 00
6	58 50	38 10	0 36	1 40	0 01	36 00
7	59 10	37 70	0 33	1 60	0 01	36 00
8	59 20	38 00	0 29	1 20	0 01	36 00
9	59 30	38 00	1 05	17 40	0 03	36 00
10	60 00	37 90	1 11	3 40	0 08	36 00
PROMEDIO CODIFICADO		38.01	1.37	11.94	0.07	

TABLA 4.31. LIMITES DE FRONTERA.

DIAGRAMA	PROMEDIO X	DESVIACION S	P
LIMITE INFERIOR LCL	36.39	0.16	0.00
LIMITE SUPERIOR UCL	39.63	2.58	0.31
PROMEDIO CODIFICADO PROM.	38.01	1.37	0.07

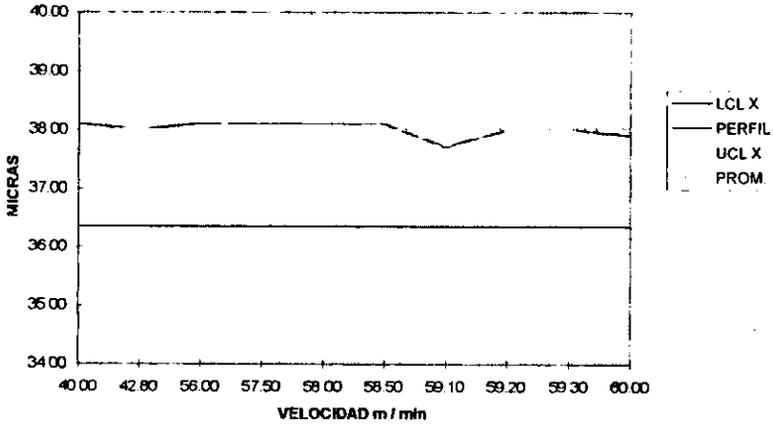
TABLA 4.32. CAPACIDAD DEL PROCESO.

	SISTEMA	ESPECIFICACIONES
HABILIDAD POTENCIAL CP	0.378	0.86
HABILIDAD REAL CpK	0.345	0.831
CONCLUSION	NO ES CAPAZ	NO ES CAPAZ

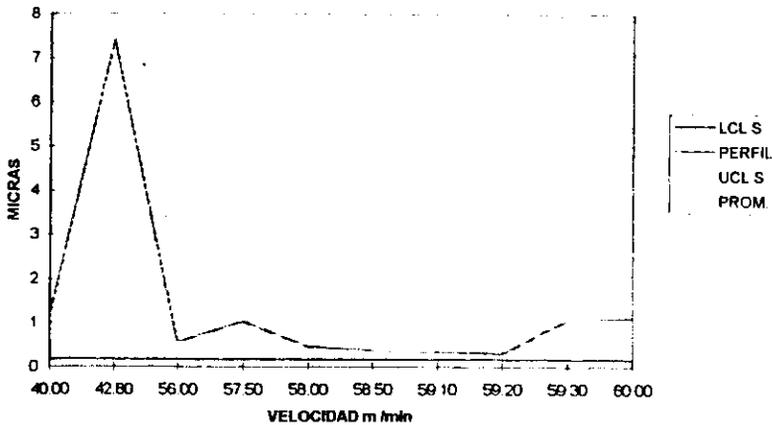
PRUEBA 2D

DIAGRAMAS X-S

4.36 DIAGRAMA PROMEDIO



4.37 DIAGRAMA DESVIACIÓN



PRUEBA 2D

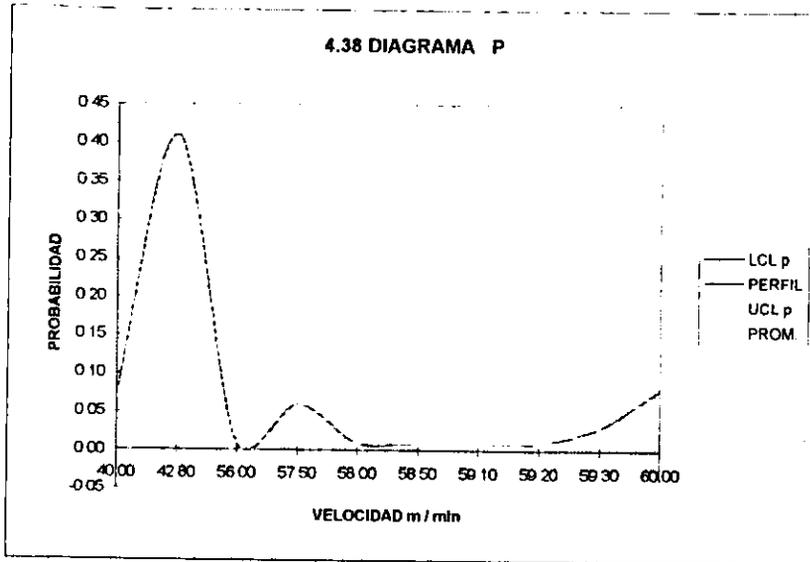
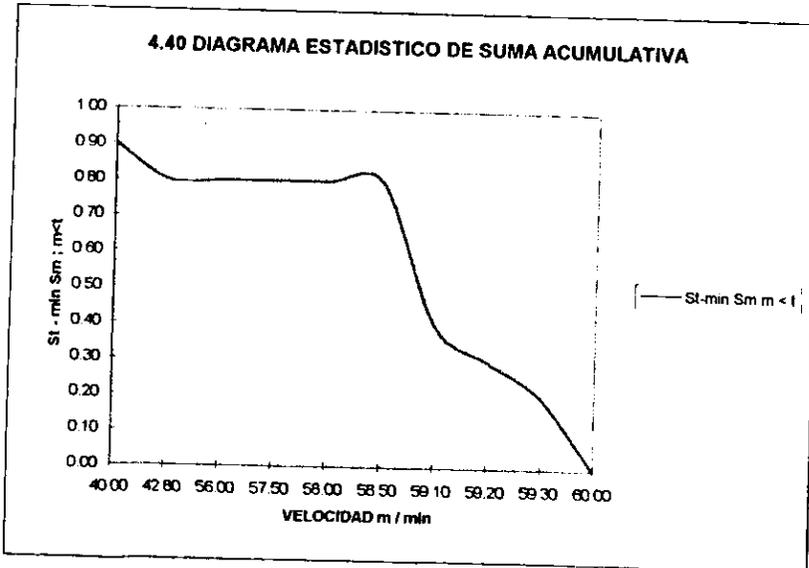
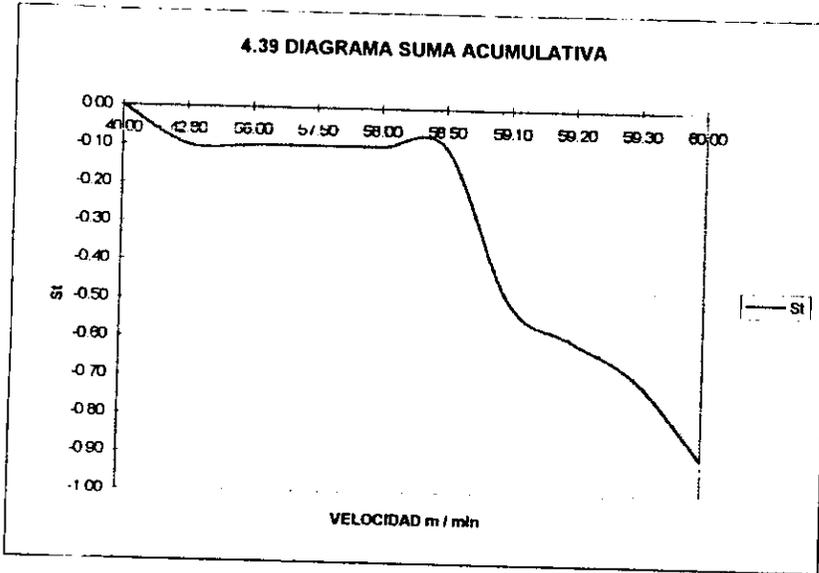


TABLA 4.33 SUMA ACUMULATIVA

ROLLO No.	VELOCIDAD m / min	CALIBRE	St	St-min Sm m < t
		PROMEDIO		
1	40.00	36.10	0.00	0.90
2	42.80	36.00	-0.10	0.80
3	56.00	36.10	-0.10	0.80
4	57.50	36.10	-0.10	0.80
5	58.00	36.10	-0.10	0.80
6	58.50	36.10	-0.10	0.80
7	59.10	37.70	-0.50	0.40
8	59.20	36.00	-0.60	0.30
9	59.30	36.00	-0.70	0.20
10	60.00	37.90	-0.90	0.00

PRUEBA 2D



4.8.1 ANÁLISIS PRUEBA 2D

La prueba 2D consistió en el procesamiento de polipropileno con sus respectivos aditivos, pero a rangos de velocidad diferentes y perfil de temperatura mostrado en la prueba 1D, con un objetivo del perfil de película de 38.1 micras, se probó su habilidad y capacidad del sistema a condiciones de operación preestablecidos de velocidad y temperatura.

Observando para el rango de velocidad en que fue realizada la prueba, obtener límites de control para los *diagramas x-s*, $UCLX = 39.63$ y $LCLX = 36.39$ micras respectivamente dentro del cual muestra una adhesión a la línea central (dig. 4.36), pero con respecto a su variabilidad el sistema empieza a estabilizarse a partir de los 56.00 m/min. momento en el cual adquiere una adhesión al límite inferior, recuperando a los 59.30 m/min.

Los *diagramas de suma acumulativa y estadístico de suma acumulativa*, muestran una zona aparente de estabilidad en el rango de velocidad de 42.80 hasta los 58.50 m/min., pero conjuntamente con su *diagrama de variabilidad* (dig. 4.37), podemos tomar como zonas seguras de 56.0 hasta 58.5 m/min (diagramas 4.39 y 4.40 respectivamente).

El *diagrama P* que fue generado durante la prueba respalda las zonas seguras de operación en el rango de velocidad de 58.0 a 59.20 m/min, momento en el cual al aumentar la velocidad el sistema eleva su variabilidad (dig. 4.38).

Este sistema obtiene una capacidad de proceso con respecto al sistema y especificaciones del producto (tabla 4.1) de:

SISTEMA :

Cpk: 0.345

Cp: 0.378

el cual representa que no es hábil con respecto a sus límites de frontera, mientras que con la habilidad de la especificación del producto:

ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO :

Cpk : 0.831

Cp : 0.860

resulta la no habilidad en el sistema para cumplir con el objetivo, pero se observa desarrollo mayor que el sistema 1D, aun que este cuenta con un potencial menor.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Los perfiles con mayor estabilidad en el rango de velocidad mostrarán ser los siguientes para cada una de las pruebas.

Para el procesamiento de LDPE a 37.5 micras a 98.8 cm mostró ser más capaz, el propuesto por la prueba 1A (check list 3.4.1), presentando un rango menor de variabilidad con respecto a sus límites y una mayor capacidad del proceso, a nivel especificación del producto, en un rango de velocidad de 110.9 a 114 m/min

El perfil de temperaturas es calificado como, tipo con un máximo en el centro para el extrusor A y tipo normal para el extrusor B, demostrando la no presencia de inconformidades de bloqueo y disminución de tratamiento corona en un periodo de 4 meses, mostrando una falta de capacidad significativa con respecto a sus límites para obtener un sistema potencialmente hábil a 6 sigmas de confianza.

Para el procesamiento de LDPE + 50 % de LLDPE a 38.1 micras a 98.8 cm, mostró ser más capaz el sistema 2B, con una variabilidad más estable (hoja de chequeo 3.4.4), presentando un rango menor con respecto a sus límites y menor capacidad de proceso con respecto al sistema 1B, a nivel especificación del producto, en un rango de velocidad de 67.40 a 97.4 m/min.

El perfil propuesto es calificado como tipo con máximo en el centro para el extrusor A y tipo normal para el extrusor B, demostrando la no presencia de inconformidades de bloqueo y disminución de tratamiento corona en un periodo de 4 meses, mostrando falta de capacidad significativa con respecto a sus límites para obtener un sistema a 6 sigmas de confianza.

Para el procesamiento de LDPE + 9 % de pigmento blanco a 25.5 micras a 94.0 cm mostró ser capaz el sistema 1C, con una variabilidad más estable (hoja de chequeo 3.4.5), presentando un rango menor con respecto a sus límites y mayor capacidad de proceso que el sistema 2C, a nivel de especificación del producto, en un rango de velocidad de 100.9 hasta 118.6 m/min

El perfil de temperatura propuesto es del tipo normal para ambos extrusores, demostrando la no presencia de inconformidades de bloqueo y disminución de tratamiento corona en un periodo de 4 meses, pero con una falta de capacidad significativa con respecto a sus límites para obtener un sistema con 6 sigmas de confianza

Para el procesamiento de polipropileno CPP a 38.1 micras y 104.0 cm, ninguno de los dos sistemas propuestos mostró estabilidad, provocando la falta de capacidad con respecto a la especificación del producto y a los límites del sistema para obtener un sistema a 6 sigmas de confianza, reflejándose este rango de variabilidad en el producto, provocando bandas en la formación del rollo causadas por el descalibre de la película

En todas los sistemas nunca se alcanzó un capacidad con respecto a los propios límites de frontera, dando por resultado la no obtención de sistemas a 6 sigmas de confianza en las pruebas A, B, C, en el sistema D se deben desarrollar a un más los perfiles de temperatura, siendo necesario, para elevar más el potencial de los sistemas, cerrar más la interrelación entre la maquinaria, resinas y aditivos, personal operativo y el diseño de las condiciones de operación, para reducir las desviaciones que impiden obtener sistemas con potenciales de proceso a 6 sigmas de confianza

Siendo necesario un estudio más profundo del fenómeno de inestabilidad interfacial y variables para el control de la misma durante el proceso, siendo esta una causa principal del control del perfil de calibre y propiedades de las películas coextruidas.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Lyonnet Patrick "Los Metodos de la Calidad total", traduc Diorki S.A. Madrid, Ed Díaz Santos S A 1989, pp. 131-151
2. Irwin R. Et al "Probabilidad y Estadística para Ingenieros", traduc González Pozos Virgilio, México D.F., Ed Printice Hall, 1997 pp 5-40
3. Baena Paz Guillermina, "Instrumentos de Investigación", México D.F., Ed Mexicanos Unidos S.A., 1983 pp 31-66
4. "Procesadores Latinoamericanos de Plástico", Cárdenas Marcia, Revista Tecnológica del Plástico, Bimensual, México D.F., No 69, Julio-Agosto de 1996 pp 6-8, 18-30
5. "Todo sobre el Congreso de la Industria Plástica de las Américas", Sánchez Carolina, Revista Tecnológica del Plástico, Bimensual, México D.F., No 87, Junio-Julio de 1998 pp 6-12, 26-36
6. "Las Claras Ventajas de las nuevas Resinas de Ingeniería", Cárdenas Marcia, Revista tecnológica del Plástico, Mensual, México D.F., No 83, Enero de 1998 pp 16-23
7. "Novedades para Preparar compuestos", Cárdenas Marcia, Revista tecnológica del Plástico, Mensual, México D.F., No 84, Febrero de 1998 pp 8-29
8. "Avances en Extrusión de perfiles y Tuberías", Cárdenas Marcia, Revista tecnológica del Plástico, Mensual, México D.F., No 81, Octubre - Noviembre de 1997 pp 6-9, 18-44.
9. "Coextrusion de Laminas de Barrera", Garzón Miguel, Revista tecnológica del Plástico, Bimensual, Mexico D.F., No 13, Junio - Julio de 1987 pp 4-31
10. "Moldeo", Garzón Miguel, Revista tecnológica del Plástico, Bimensual, México D.F., No 14, Agosto - Septiembre de 1987 pp 7-30
11. "El Comportamiento de los Plásticos en el Fuego", Garzón Miguel, Revista tecnológica del Plástico, Bimensual, México D.F., No 44, Agosto - Septiembre de 1992 pp 29-47.
12. "Los Rellenos y el Ahorro en el Costo de Resinas", Cárdenas Marcia, Revista tecnológica del Plástico, Mensual, México D.F., No 63, Octubre - Noviembre de 1995, pp. 26-39.
13. "El Envase Plástico", Rene V. Marina, Industrinoticias, Bimensual, México D.F., No. 212, Septiembre - Octubre de 1991, pp 12-20
14. "Manual de Herramientas para la mejora de la Calidad", Grupo Aluminio, Almexa, 1990, No editado pp 1-75.

15. "La Industria de las Películas Plásticas", Blanco V. Rafael., Seminario de Películas Plásticas, México D.F., Enero de 1996. pp. 1-28.
16. "Componentes del Extrusor", González Montoya Carlos A., Seminario de Películas Plásticas, México D.F., Enero de 1996. pp. 1-60.
17. "Producción de películas de Polietileno", Rodríguez Ceballos María., Seminario de Películas Plásticas, México D.F., Enero de 1996. pp. 1-38.
18. "Coextrusiones y laminación", Rodríguez Ceballos María., Seminario de Películas Plásticas, México D.F., Enero de 1996. pp. 1-55.
19. "Películas de Polipropileno", Rojas González Jorge, Seminario de Películas Plásticas, México D.F., Enero de 1996. pp. 1-29.
20. "Problemas y Soluciones en Películas", Rodríguez Ceballos María, Seminario de Películas Plásticas, México D.F., Enero de 1996. pp. 1-60.
21. "Impresión y Acabado para las Películas", R. Velasco José, Seminario de Películas Plásticas, México D.F., Enero de 1996. pp. 1-50.
22. "Oportunidades de Desarrollo de Películas con Equipos Convencionales", Instituto Mexicano del Plástico Industrial S. C., México D.F., 1988. pp. 1-170.
23. "Geometría y Tensión de Bobinas de Film Tubular", Ponencia Hispamerflex, México D.F., 1993. pp. 1-12.
24. "Film Extrusion Manual", Chairman ed. Vargas, TAPPI, Atlanta GA., 1992, pp. 9-14, 31-80, 231-248, 295-310, 333-340, 363-416, 453-482.
25. "Obtención Clasificación y Ventajas de los Plásticos", Instituto Mexicano del Plástico Industrial S.C., México D.F., 1998, pp. 1-50.