

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química



Implementación de un aditivo de control de coeficiente de fricción en films extruidos y coextruidos en una planta productora de empaques flexibles

Trabajo de graduación presentado por Ivan Adolfo Rodas de la Rosa para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2012

Implementación de un aditivo de control de coeficiente de fricción en films extruidos y coextruidos en una planta productora de empaques flexibles

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

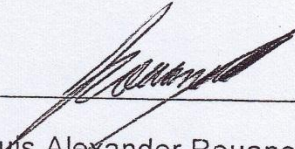
Implementación de un aditivo de control de coeficiente de fricción en films extruidos y coextruidos en una planta productora de empaques flexibles

Trabajo de graduación presentado por Ivan Adolfo Rodas de la Rosa para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química.

Guatemala

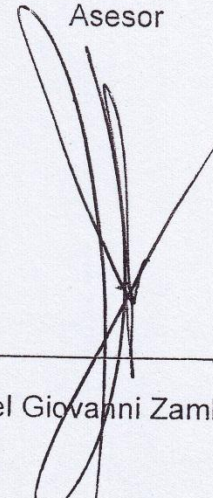
2012


Vo. Bo. :

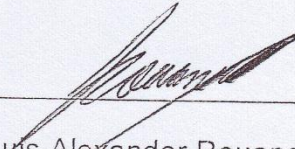
(f) 
Ing. Luis Alexander Rouanet Mora

Asesor

Tribunal:

(f) 
Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f) 
Ing. Rodolfo Méndez Alfaro

(f) 
Ing. Luis Alexander Rouanet Mora

Fecha de aprobación: 7 de diciembre del 2012.

PREFACIO

En primer lugar quiero agradecer a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida. Ya que gracias a sus bendiciones, no solo, me permitieron concluir la presente investigación, sino también, mi formación académica.

Además, quiero agradecer a mi Mamá por todos sus sacrificios y esfuerzos que me han permitido cumplir todas las metas que me he trazado y también por su incondicional apoyo a lo largo de mi vida. A mi Abuelito por ser como un padre para mí, por todo su apoyo, consejos y cariño. A mi Abuelita por todo su cariño, apoyo y preocupación que me han acompañado siempre. A mí tía Karla por ser una maravillosa amiga de quien he recibido tanto apoyo, consejos, cariño y confianza. También agradezco a mi madrina, mis tías Jane y Silvia por su incondicional apoyo y cariño mostrado a lo largo de mi vida.

Por último, quiero agradecer a mi asesor el Ing. Alex Rouanet por todo su apoyo, consejos y conocimientos compartidos durante la elaboración de este proyecto. También al Ing. Gamaliel Zambrano y al Ing. Cristian Rossi por todas sus enseñanzas y apoyo durante el último año de mi carrera.

ÍNDICE

PREFACIO	iv
ÍNDICE.....	v
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE GRÁFICAS	xvi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A. Industria del polietileno	2
B. Polímeros.....	2
1. Polietileno.	3
2. Polietileno de alta densidad (HDPE).....	3
3. Polietileno de baja densidad (LDPE).. ..	4
4. Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE).	6
5. Metalocenos (mPE).	6
6. Etilen vinil acetato (EVA).	8
C. Extrusión de película soplada	8
D. Extrusora	10
1. Sistema de empuje.....	12
a. Motor.	12
b. Reductor de velocidad.....	13
2. Sistema de alimentación.	13
3. Sistema de tornillo/barril.	14
a. Tornillo.	14
b. Barril o cilindro de calefacción.....	15
4. Sistema de cabeza/dado.	16
a. Plato rompedor.	16
b. Filtro.....	17
c. Dado o matriz formador.	18

5. Sistema de instrumentación y control	19
E. Propiedades de películas de polietileno	19
1. Gravedad específica y densidad..	19
2. Expansión higroscópica.	19
3. Coeficiente de fricción.	20
4. Propiedades elásticas.	21
F. Lubricantes	22
III. JUSTIFICACIÓN	24
IV. OBJETIVOS	25
A. Objetivo general	25
B. Objetivos específicos.	25
V. PROBLEMA A RESOLVER.....	26
VI. METODOLOGÍA.....	27
A. Establecer las películas de polietileno a realizar pruebas	27
B. Definir parámetros del proceso de realización de las pruebas	27
C. Extrusión de las pruebas.....	28
D. Realización de análisis de calidad de las pruebas	28
E. Prueba de la variación del coeficiente de fricción con respecto al tiempo.....	28
F. Diseño de la línea de dosificado y mezclado de materia prima	29
G. Aspecto económico.....	29
VII. RESULTADOS.....	30
VIII. DISCUSIÓN	42
IX. CONCLUSIONES.....	50
X. RECOMENDACIONES	51
XI. BIBLIOGRAFÍA	52
XII. APÉNDICE.....	54
A. Codificación de resinas, aditivos y pigmentos utilizados en las pruebas	54
B. Metodología de pruebas de calidad	55
1. Determinación del coeficiente de fricción dinámico.....	55
2. Medición de retracciones.....	56
3. Medición de gramaje	57

4. Medición de porcentaje de elongación a ruptura	57
5. Medición de fuerza de rasgado	58
6. Medición del calibre	58
7. Medición de fuerza de impacto.....	58
C. Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto a la concentración de aditivo de control de coeficiente de fricción.....	59
D. Elaboración de aditivo de control de coeficiente de fricción.....	60
1. Metodología para la elaboración del aditivo.....	60
2. Condiciones de operación del equipo para granular	61
E. Espectro infrarrojo de los aditivos de control de coeficiente de fricción.....	62
F. Películas de polietileno utilizadas para la implementación el aditivo de control de coeficiente de fricción.	64
1. Películas de polietileno de una capa.....	64
2. Pruebas con películas de polietileno de tres capas	70
G. Condiciones de operación para la elaboración de las muestras.	72
H. Resultados de pruebas de calidad	75
I. Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de las películas de polietileno analizadas.	81
J. Situación actual de la línea de dosificado de resinas en la empresa productora de empaques flexibles.	87
K. Diseño propuesto de la línea de dosificación de resinas.....	88
1. Diagrama de bloques	88
2. Balance de masa.....	88
3. Diagrama de flujo.....	89
4. Listado de equipo y diseño de equipo	90
L. Análisis de error.....	94
M. Análisis económico	96
1. Costo de elaboración de aditivo de control de coeficiente de fricción.....	96
2. Costo de línea de dosificación de resinas..	97
N. Datos técnicos de equipo utilizado	100
O. Fichas técnicas de resinas, aditivos y pigmentos utilizados en las pruebas	109

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1: Nomenclatura utilizada para identificar cada una de las pruebas realizadas.....	30
Tabla No. 2: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 1 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.....	31
Tabla No. 3: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 2 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.....	32
Tabla No. 4: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 3 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.....	32
Tabla No. 5: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 4 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.....	33
Tabla No. 6: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 5 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.....	33
Tabla No. 7: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 6 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.....	34
Tabla No. 8: Descripción de la nomenclatura utilizada en el diagrama de flujo del diseño de línea de mezclado y dosificado.....	34
Tabla No. 9: Especificaciones técnicas de dosificador de marca Doteco ®.....	36
Tabla No. 10: Dimensiones de los tanques utilizados para la línea de dosificado y mezcla de resinas.....	37
Tabla No. 11: Especificaciones técnicas de mezclador de tornillo vertical marca Azteca ®.....	37
Tabla No. 12: Costo de la línea de dosificado y mezclado de resinas.....	37
Tabla No. 13: Costo y rendimiento del aditivo de control de coeficiente de fricción.....	41
Tabla No. 14: Codificación utilizada para las resinas utilizadas en las pruebas.....	54
Tabla No. 15: Codificación utilizada para los pigmentos utilizados en las pruebas.....	54

Tabla No. 16: Codificación utilizada para los aditivos utilizados en las pruebas	55
Tabla No. 17: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto a nivel de aditivo deslizante (ppm).....	59
Tabla No. 18: Perfil de temperaturas de operación de la granuladora Erema ® para la elaboración del aditivo de control de coeficiente de fricción	61
Tabla No. 19: Velocidad del tornillo de la granuladora Erema ® para la elaboración del aditivo de control de coeficiente de fricción con 5% p/p de ingrediente activo.....	61
Tabla No. 20: Fórmula de la película monocapa con propiedades de retracción térmica sin el aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%	64
Tabla No. 21: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 1.....	64
Tabla No. 22: Fórmula de la película con propiedades de retracción térmica con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%.....	66
Tabla No. 23: Fórmula de película de baja densidad con lineal buteno en su composición con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%	66
Tabla No. 24: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 2.....	67
Tabla No. 25: Fórmula de película de baja densidad con lineal hexeno en su composición con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%	67
Tabla No. 26: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 3.....	68
Tabla No. 27: Fórmula de película de baja densidad con etileno-vinil acetato en su composición con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%	68
Tabla No. 28: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 4.....	69
Tabla No. 29: Película para acolchado o “Mulch” con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%	70
Tabla No. 30: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 5.....	71
Tabla No. 31: Película de tres capas con propiedades de retracción térmica con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%	71
Tabla No. 32: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 6.....	72
Tabla No. 33: Extrusoras en las que se realizo cada una de las pruebas.	72
Tabla No. 34: Perfil de temperatura utilizado en las extrusoras para las películas de las pruebas: 1, 2, 3 y 4.....	73

Tabla No. 35: Perfil de temperatura utilizado en el tornillo A, B y C de la extrusora de tres capas para realizar las pruebas 5 y 6	73
Tabla No. 36: Perfil de temperatura utilizado en el cabezal o dado formador de la extrusora de tres capas para realizar las pruebas 5 y 6	73
Tabla No. 37: Velocidades con que se trabajo cada una de las extrusoras al realizar cada una de las pruebas.....	74
Tabla No. 38: Ancho de la película producida en las extrusoras al realizar cada una de las pruebas.....	74
Tabla No. 39: Resultados de las diferentes corridas de las pruebas de calidad realizadas a la prueba 1	75
Tabla No. 40: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 1	75
Tabla No. 41: Resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 2 .	76
Tabla No. 42: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 2	76
Tabla No. 43: Resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 3 .	77
Tabla No. 44: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 3	77
Tabla No. 45: Resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 4 .	78
Tabla No. 46: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 4	78
Tabla No. 47: Resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 5 .	79
Tabla No. 48: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 5	79
Tabla No. 49: Resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 6 .	80
Tabla No. 50: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 6	80
Tabla No. 51: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 1	81
Tabla No. 52: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 2.....	82

Tabla No. 53: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 3.....	83
Tabla No. 54: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 4.....	84
Tabla No. 55: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 5.....	85
Tabla No. 56: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 6.....	86
Tabla No. 57: Actividades y tiempos de realizar una mezcla en la empresa productora de empaques flexibles.....	87
Tabla No. 58: Descripción de la nomenclatura utilizada en el diagrama de flujo del diseño de línea de mezclado y dosificado.....	90
Tabla No. 59: Especificaciones técnicas de dosificador de marca Doteco ®.....	93
Tabla No. 60: Dimensiones de los tanques utilizados para la línea de dosificado y mezcla de resinas.....	94
Tabla No. 61: Especificaciones técnicas de mezclador de tornillo vertical marca Azteca ®	94
Tabla No. 62: Resultados de la pruebas de calidad de gramaje realizadas a la prueba 6.	95
Tabla No. 63: Resultados del análisis estadístico de la prueba calidad de gramaje realizadas a la prueba 6.....	95
Tabla No. 64: Costos de material para la elaboración de un lote de 500 kilogramos de aditivo de control de coeficiente de fricción.....	96
Tabla No. 65: Costos de operación para la elaboración de un lote de 500 kilogramos de aditivo de control de coeficiente de fricción	96
Tabla No. 66: Costo total para la elaboración de un lote de 500 kilogramos de aditivo de control de coeficiente de fricción.....	97
Tabla No. 67: Costo unitario del aditivo SLIP5% comprado directamente sin necesidad de procesarlo	97
Tabla No. 68: Factores utilizados para determinar costos de instalación del dosificador Doteco®.....	98
Tabla No. 69: Costo de la línea de dosificado y mezclado de resinas.....	98

Tabla No. 70: Especificaciones técnicas de extrusora de tres capas Luigi Bandera serie 220449-PL	100
Tabla No. 71: Especificaciones técnicas de extrusora de tres capas Luigi Bandera serie 2505931-TE	101
Tabla No. 72: Especificaciones técnicas de extrusora monocapa Ibañez S.L. serie DO-035	102
Tabla No. 73: Especificaciones técnicas de extrusora monocapa Mateu & Sole S.A....	103
Tabla No. 74: Especificaciones técnicas de extrusora monocapa Ibañez S.L. serie CR3TA-1700.....	104
Tabla No. 75: Especificaciones técnicas de máquina universal utilizada para determinar la elongación a ruptura de las películas analizadas.....	105
Tabla No. 76: Especificaciones técnicas de equipo utilizado para determinar fuerza de rasgado de las películas analizadas.....	105
Tabla No. 77: Especificaciones técnicas de equipo utilizado para medición de coeficiente de fricción dinámico de las películas analizadas	106
Tabla No. 78: Especificaciones técnicas de equipo utilizado para determinar el calibre de las películas analizadas	106
Tabla No. 79: Especificaciones técnicas de balanza analítica utilizada en la determinación del gramaje de las películas analizadas	107
Tabla No. 80: Especificaciones técnicas de balanza analítica utilizada en la determinación de la fuerza de impacto de las películas analizadas.....	107
Tabla No. 81: Especificaciones técnicas del baño térmico utilizado en el análisis de las retracciones de las películas analizadas.....	108
Tabla No. 82: Especificaciones técnicas de la granuladora de plástico	108

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1: Sección corta de una molécula de polietileno.	3
Figura No. 2: Representación esquemática de una molécula de HDPE mostrando una gran linealidad con pequeñas y cortas ramificaciones.....	4
Figura No. 3: A la izquierda se muestra la burbuja producida por un polietileno de baja densidad y a la derecha la burbuja producida por un polietileno de alta densidad.	4
Figura No. 4: Comparación de la estructura molecular del polietileno de baja densidad con otros tipos de polímeros.	5
Figura No. 5 : Esquema de la representación de un polietileno lineal de baja densidad con gran cantidad de ramificaciones cortas.	6
Figura No. 6: Estructura de diferentes tipos de polímeros.....	7
Figura No. 7: Esquema de la representación molecular del etilen vinil acetato mostrando cada uno de los grupo de vinil acetato unidos a la cadena.	8
Figura No. 8: Burbuja formada en el proceso de extrusión de película soplada.	9
Figura No. 9: Componentes de la extrusora.....	11
Figura No. 10: Diagrama del embobinado de la burbuja en un proceso de película soplada.	11
Figura No. 11: Dado formador para una película de 3 capas.....	12
Figura No. 12: Tolva de alimentación de la extrusora.....	13
Figura No. 13: Flujo de alimentación en la tolva y posibles problemas en la tolva.	14
Figura No. 14: Diagrama de las diferentes secciones en el tornillo de la extrusora.	14
Figura No. 15: Diagrama de los distintos arreglos de los tornillos.	15
Figura No. 16: Diagrama de un barril con su respectivo sistema de calentamiento y de enfriamiento.	16
Figura No. 17: Diagrama de un plato rompedor	17
Figura No. 18: Cambiador de filtro accionado de forma hidráulica.....	18

Figura No. 19: Dado anular utilizado en extrusión de película soplada.	18
Figura No. 20: Gráfica de variación de coeficiente de fricción de la película con respecto a la temperatura.	20
Figura No. 21: Esquema de una máquina de Instron ® Universal Material Testing Machine para determinar el análisis de elongación de una película.	21
Figura No. 22: Variación de la elongación de la película con respecto a la fuerza aplicada.	22
Figura No. 23: Migración de aditivo Slip con respecto al tiempo.	23
Figura No. 24: Diagrama de flujo de línea de dosificado y mezclado de resinas	35
Figura No. 25: Dosificador gravimétrico Blendo Doteco® con sistema neumático de carga y panel de control remoto.	36
Figura No. 26: Aditivo de control de coeficiente de fricción obtenido de la granuladora de polietileno a partir del aditivo SLIP98%	61
Figura No. 27: Espectro infrarrojo del aditivo SLIP5%	62
Figura No. 28: Espectro infrarrojo de aditivo de control de coeficiente de fricción con 5% p/p de ingrediente activo elaborado con la granuladora de polietileno Erema ®	63
Figura No. 29: Diagrama de procesos de línea de dosificado y mezclado de resinas	88
Figura No. 30: Balance de masa de línea de dosificado y mezclado de resinas	88
Figura No. 31: Diagrama de flujo de línea de dosificado y mezclado de resinas	89
Figura No. 32: Dimensiones de los cuatro ciclones a utilizar para el diseño de la línea de dosificado y mezclado de resinas.....	92
Figura No. 33: Ficha técnica de la resina Certene-222C codificada como LD200M7.....	109
Figura No. 34: Ficha técnica de la resina Petrothene-345-196 codificada como LD200M7.5.....	110
Figura No. 35: Ficha técnica de la resina Sabic-118W codificada como LB100N15....	111
Figura No. 36: Ficha técnica de la resina Equistar-GA501020 codificada como LB100N0.....	112
Figura No. 37: Ficha técnica de la resina Certene-122XH codificada como LH100A13.5.....	113

Figura No. 38: Ficha técnica de la resina Formosa Plastics -62009H codificada como 62009H.....	114
Figura No. 39: Ficha técnica de la resina Exceed-1018FA codificada como ME100NE	115
Figura No. 40: Ficha técnica de la resina DuPong-ELVAX3165SB codificada como ELVAX3165SB	116
Figura No. 41: Ficha técnica de resina DOW-132I codificada como FR025A0	117
Figura No. 42: Ficha técnica de resina Equistar-L5005 codificada como HD006N0.....	118
Figura No. 43: Ficha técnica de pigmento Schulman-8160ME codificado como BLAAD.....	119
Figura No. 44: Ficha técnica de pigmento Techmer-TPM910E8 codificado como NEG9101E8.....	120
Figura No. 45: Ficha técnica de pigmento Clariant-601974-10 codificado como PLA 601974-10	121
Figura No. 46: Ficha técnica de aditivo Schulman-CE505 codificado como SLIP5%	122
Figura No. 47: Ficha técnica de aditivo Croda-CrodamideER codificado como SLIP98%	123
Figura No. 48: Ficha técnica de aditivo Schulman-AMF707 codificado como AYUPRO	124
Figura No. 49: Ficha técnica de aditivo Schulman-F20 codificado como ABSN20	125
Figura No. 50: Ficha técnica de aditivo Schulman-AO25A codificado como PBA025.....	126
Figura No. 51: Ficha técnica de aditivo Clariant- PLA-06219206 codificado como Purga Química.....	127

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 1	38
Gráfica No. 2: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 2.....	38
Gráfica No. 3: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 3.....	39
Gráfica No. 4: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 4.....	39
Gráfica No. 5: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 5.....	40
Gráfica No. 6: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 6.....	40
Gráfica No. 7: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto a nivel de aditivo deslizante.....	59
Gráfica No. 8: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 1	81
Gráfica No. 9: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 2.....	82
Gráfica No. 10: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 3.....	83
Gráfica No. 11: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 4.....	84
Gráfica No. 12: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 5.....	85

Gráfica No. 13: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo
de la película de polietileno de la prueba 6.....86

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo de tesis fue la implementación de un aditivo de control de coeficientes de fricción a empaques flexibles de tres capas y de una capa en una planta productora de empaques flexibles. Para ello se realizaron varias pruebas utilizando el aditivo a implementar en películas de una y tres capas producidas por extrusoras de película soplada. Estas pruebas realizadas se les analizaron sus propiedades para determinar que el aditivo no afecte las propiedades y cumplan con los estándares de calidad de la planta productora de empaques flexibles.

Se estableció que es viable utilizar el aditivo de control de coeficiente de fricción A. Schulman código CE505® sin que afecte las propiedades físicas de la película flexible y cumpla con todas las especificaciones de calidad determinadas por el departamento de control de calidad de la empresa productora de empaques flexibles. También que el aditivo puede ser utilizado en películas de una y tres capas que contengan en su composición polietilenos de baja densidad, polietilenos lineales o copolímeros de vinil acetato.

Finalmente se propone un sistema completo de una línea de dosificado y mezclado automático de resinas de polietileno utilizado un dosificador Blendo de Doteco®, un mezclador de tornillo vertical Azteca®, cuatro recipientes contenedores de resinas a mezclar y un contenedor de mezcla terminada. El costo de inversión inicial para la implementación de la línea de dosificación y mezclado incluida la instalación de equipo y la instalación eléctrica es de Q1,167,041.22. Esta inversión tiene una tasa interna de retorno (TIR) de 29% y una recuperación de 5 años.

ABSTRACT

The main objective of this document was the implementation of an additive for control of friction coefficients in three and one layer flexible packaging in a flexible packaging manufacturing plant. For this, several tests were performed using the additive to be implemented in films produced by layer blown film extruders of one and three layers. These tests were analyzed to determine if the use of the additive does not affect the properties of the film and meet the quality standards of the flexible packaging manufacturing plant.

It was established that it is possible to use the additive for control of friction coefficients A. Schulman CE505® without affecting the physical properties of the flexible film where this applies and meets all quality specifications determined by the quality control department of the flexible packaging producer. The additive can also be used in films of one three layers in its composition containing low-density polyethylene, linear polyethylene or copolymers of vinyl acetate

The article proposes a complete automatic line of metering and mixing polyethylene resin using a dispenser Blendo Doteco®, a vertical screw mixer Azteca ®, four containers of resins and one container of finished mixture. The initial investment cost for implementing line metering and mixing equipment including installation and wiring is Q1, 167,041.22 (\$149,620.67). This inversion has an internal rate of return of 29% and the inversion is recovered in 5 years.

I. INTRODUCCIÓN

Un empaque flexible es un material que por su naturaleza se puede manejar en máquinas de envolturas o de formado, llenado y sellado. El empaque flexible puede estar constituido de materiales como papel, celofán, aluminio o plástico. Se puede presentar para el usuario en rollos, bolsas, hojas o etiquetas, ya sea de forma impresa o sin impresión.

Este trabajo se centra en los empaques flexibles producidos a base de polietileno. Estos son producidos utilizando uno de los procesos con mayor utilización en la producción de película flexible, que es la extrusión de película soplada. En este proceso la película se produce al extruir el material a partir de una matriz anular y luego se estira el polímero fundido a través de aire para formar una burbuja la cual es enfriada por el sistema interno de enfriamiento de la burbuja.

Al momento de producir un determinado producto son las propiedades que se le quieran dar al producto que determinan cual es el mejor material a utilizar para dicha aplicación. Una de las propiedades más importantes a controlar en los empaques flexibles es el coeficiente de fricción dinámico que poseen. Esto se debe a que la mayoría de empaques flexibles se utilizan en máquinas de llenado automático y es necesario que la película de polietileno se deslice adecuadamente en el equipo sin que quede atrapada. Esta propiedad se controla al momento de producir la película de polietileno utilizando un aditivo de control de coeficiente de fricción.

Este trabajo se centra en el análisis a realizar para lograr implementar un aditivo de control de coeficiente de fricción en una planta productora de empaques flexibles. Este análisis abarca todas las pruebas de control de calidad necesarias a realizar para validar la aplicación del aditivo sin que afecte las propiedades de la película donde se aplica el aditivo de control de coeficiente de fricción

II. ANTECEDENTES

A. Industria del polietileno

En las últimas décadas en la industria del polietileno ha sufrido grandes cambios de reestructuración y racionalización. Las productividades en las plantas se encuentran subiendo mientras que la flexibilidad del producto aumenta de igual manera junto con la capacidad de los procesos. (Gregory, 2009)

La producción global del polietileno se estima que se encuentra dentro de 70 millones de toneladas, de las cuales 35 % son de Polietilenos de baja densidad (LDPE), 34 % de Polietilenos de alta densidad (HDPE), 31 % de Polietilenos lineales de baja densidad (LLDPE) y en el 30% restante se encuentran los polietilenos de media densidad (MDPE) y los polietilenos de muy baja densidad (VLDPE). (Gregory, 2009)

B. Polímeros

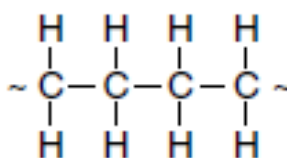
Al momento de producir un determinado producto son las propiedades que se le quieran dar al producto que determinan cual es el mejor material a utilizar para dicha aplicación. A parte de la aplicación final del producto las propiedades de procesamiento son importantes en la selección del material a trabajar. (Cantor, 2006)

Existen numerosas aplicaciones para la película soplada, pero donde se tienen un mayor de aplicación de este film es en aplicaciones de empaque y de bolsas. Estos productos requieren una combinación de rendimiento, procesamiento y costo, por lo que el polietileno se convierte en el polímero ideal para la mayoría de dichas aplicaciones. El polietileno es fácil de extruir, ligero, resistente al agua, buen balance entre fuerza y flexibilidad y lo más importante tiene un bajo costo. (Cantor, 2006)

Dentro de la familia de los polietilenos existen diferentes tipos que son utilizados en la extrusión de película soplada. A parte de los polietilenos existen otros polímeros que también son utilizados en diferentes aplicaciones. A continuación se muestran algunos polímeros utilizados en la extrusión de película soplada tanto para producir películas de 1 capa como para co-extruir películas con dos o más capas. (Cantor, 2006)

1. Polietileno. El polietileno es la forma más simple de polímero desde el punto de vista químico. Está compuesto por la polimerización del monómero de etileno, consiste en una cadena de carbonos con dos átomos de hidrógenos unidos a cada carbono. Las cadenas de carbonos pueden tener de cientos a miles de átomos de carbono. Las cadenas de polietileno pueden ser lineales o con ramificaciones, esto depende de la forma en que fue sintetizado el polímero. (Cantor, 2006)

Figura No. 1: Sección corta de una molécula de polietileno.



Todos los grados polietileno tienen un alto valor de calor específico. El calor específico es la medida de energía requerida para elevar una unidad de masa en un grado de temperatura. Si un polímero tiene un alto valor de calor específico se refiere a que la eliminación de calor de la mezcla es relativamente lenta. El polietileno tiene un calor específico aproximado de 2kJ/kgK comparado con 1kJ/kgK que tiene la mayoría de polímeros. Es por esta razón que las torres de enfriamiento para el polietileno en película soplada son bien altas. (Cantor, 2006)

Dentro del polietileno podemos categorizarlo según su densidad en distintos tipos de polietilenos los cuales se presentan más adelante.

2. Polietileno de alta densidad (HDPE). Los polietilenos con una densidad mayor o igual a 0.945 g/cm³ se definen como polietilenos de alta densidad. En lo que respecta a su estructura estos polímeros contienen un nivel bajo de ramificaciones y por consiguiente atracciones intermoleculares fuertes que a comparación de los otros polietilenos. Este polímero contiene una gran rigidez y un punto de fusión grande (130-133 C) con respecto de polietilenos con menores densidades. (Gregory, 2009)

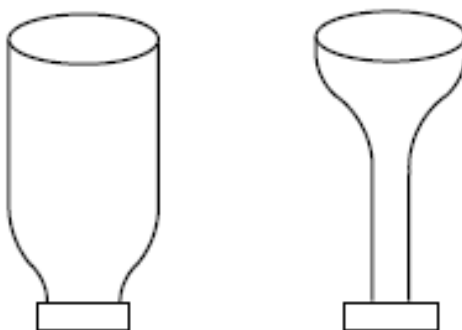
El polietileno de alta densidad es sintetizado con una pequeña cantidad de comónómeros lo cual produce ramificaciones cortas posicionadas intencionalmente a lo largo de la cadena para volver al polímero fácil de procesar. Se destaca que los polímeros con un mayor grado de linealidad en sus moléculas presentan un mayor porcentaje de cristalinidad lo que conlleva a una mayor densidad. (Cantor, 2006)

Figura No. 2: Representación esquemática de una molécula de HDPE mostrando una gran linealidad con pequeñas y cortas ramificaciones.



Una de las diferencias entre HDPE y LDPE (polietileno de baja densidad) al momento de procesarlos es la forma de la burbuja que se produce por la extrusora de la de HDPE es mas alargada que la producida por un LDPE. Esto se observa en la siguiente imagen: (Cantor, 2006)

Figura No. 3: A la izquierda se muestra la burbuja producida por un polietileno de baja densidad y a la derecha la burbuja producida por un polietileno de alta densidad.

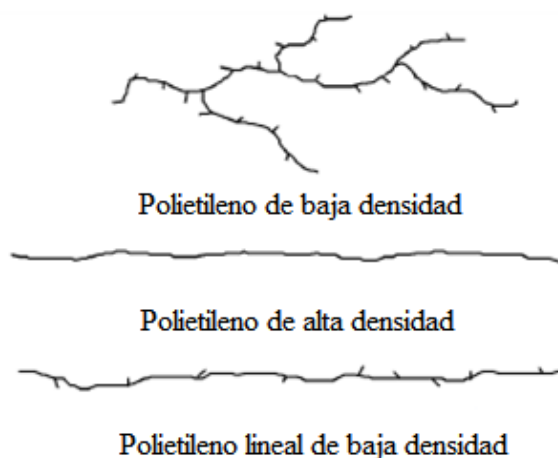


3. Polietileno de baja densidad (LDPE). Los polietilenos con una densidad dentro del rango de $0.915 - 0.934 \text{ g/cm}^3$ se definen como polietilenos de baja densidad (LDPE). Este tipo de polímeros tienen propiedades excelentes de flujo y manejan una tensión en la

superficie moderada lo cual les brinda una facilidad de ser procesados en cualquier método de extrusión. (Gregory, 2009).

Estos algunas veces son referidos como polietilenos de alta presión y baja densidad, polietileno convencional o polietileno ramificado. Los polietilenos han sido comercializados desde su descubrimiento en 1930. Estos pueden ser producidos por polimerización de radicales libres, autoclave o un reactor tubular. En el proceso de polimerización el monómero de etileno se combina a alta presión y temperaturas para formar largas cadenas con muchas ramificaciones. (Butler, 2012)

Figura No. 4: Comparación de la estructura molecular del polietileno de baja densidad con otros tipos de polímeros.



Dentro de las propiedades que convierten a los polietilenos de baja densidad en una materia prima atractiva para la industria son: (Butler, 2012)

- Peso ligero.
- Costo económico.
- Flexibilidad.
- Dureza.
- Resistencia química.

- Facilidad de sellar.

Como se menciono anteriormente los polietilenos de baja densidad tienen una mayor facilidad de ser procesados que los otros polietilenos, los polietilenos de baja densidad tienen un punto de fusión bajo (105 a 115 C) y no requiere mucha potencia de motor en el extrusor. El polietileno de baja densidad presenta una mejor estabilidad de burbuja que los otros polietilenos. (Butler, 2012)

4. Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE). Los polietilenos con una densidad dentro del rango de 0.915-0.925 g/cm³ se definen como polietilenos lineales de baja densidad. En la estructura de estos polietilenos se encuentran ramificaciones cortas las cuales se agregan por co-polimerización de: 1-buteno, 1-hexeno o 1-octeno. (Gregory, 2009)

Los polietilenos lineales de baja densidad son una variación de los HDPE. Se diferencia en que al momento de sintetizarlos se agrega una cantidad mayor de comónómeros como hexenos y octenos. Al controlar la cantidad de ramificaciones que se producen en la cadena central de carbono se pueden producir variantes de los LLDPE como los polietilenos de muy baja densidad (VLDPE) y polietilenos de una mucho menor baja densidad (ULDPE). (Cantor, 2006)

Figura No. 5 : Esquema de la representación de un polietileno lineal de baja densidad con gran cantidad de ramificaciones cortas.

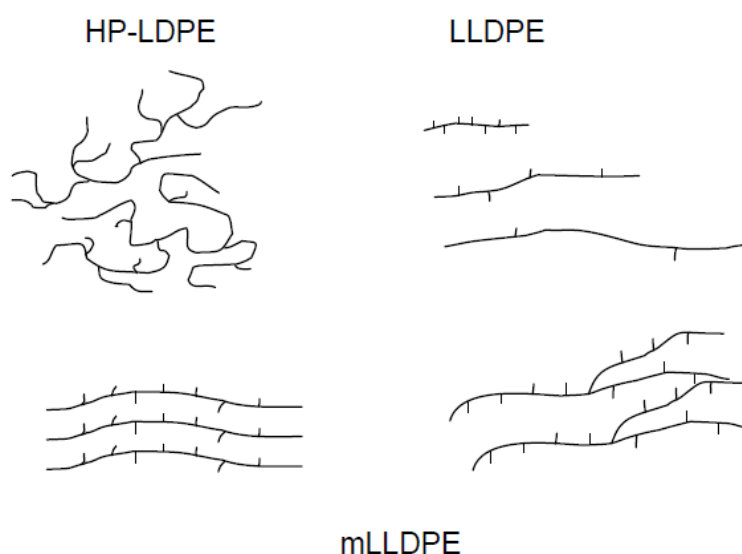


5. Metalocenos (mPE). Los metalocenos son una clase de polímeros que son fabricados a partir de etileno que es sintetizado utilizando catalizadores de metaloceno durante el proceso de polimerización. Esta técnica también es conocida como geometría apretada, tecnología de catalizadores o tecnología catalizadora en un lado. Esta técnica nueva provee un control preciso de la estructura molecular del polímero. Con los mPE se pueden producir una gran cantidad de propiedades en los polímeros. Estos permiten

synthesize grades of polymers that are soft and flexible. This is used to provide better sealing properties to products because mPE melts more easily than other polyethylenes. (Cantor, 2006)

As mentioned previously, metallocenes have a more uniform molecular distribution compared to other types of polyethylenes (LDPE, HDPE, LLDPE, etc.). This can be observed as follows: (German, 2012)

Figura No. 6: Estructura de diferentes tipos de polímeros.



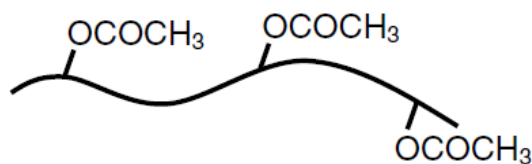
The improved properties of hardness, such as resistance to impact, cutting, and tensile strength, provided by linear metallocene low-density polyethylene (mLLDPE) are beneficial to the polymer for different types of applications. Due to this, when a material requires a specific performance, the selection of the grade of mLLDPE is an important aspect to take into account. (German, 2012)

A negative aspect of mLLDPE is that it has a tight molecular arrangement, which generates a lot of surface stress (fracture in melt) and tends to degrade the appearance of the film obtained with this resin. It tends to generate streaks along the length of the film. To prevent this, it is generally worked at higher

temperaturas, se utiliza ayuda de proceso o reducir las tasas de salida del material. (German, 2012)

6. Etilen vinil acetato (EVA). El etilen vinil acetato es un co-polimero del polietileno. En su estructura molecular es similar al polietileno, con la diferencia que contiene un porcentaje de vinil acetato incluido a lo largo de sus cadenas. La cantidad de vinil acetato (VA) agregado generalmente se encuentra entre 5 y 20%, lo cual depende de las propiedades que se requieran dar al polímero. El vinil acetato le brinda polaridad, adhesión al polímero lo cual aumenta la compatibilidad del polímero hacia otros tipos de polímeros y aumenta las propiedades adhesivas. La mayoría de películas sopladas co-extruidas que se encuentran destinadas a empaques de comida y electrónicos con tienen ELVA. (Cantor, 2006)

Figura No. 7: Esquema de la representación molecular del etilen vinil acetato mostrando cada uno de los grupos de vinil acetato unidos a la cadena.



C. Extrusión de película soplada

La extrusión de película soplada es uno de los procesos con mayor utilización en la producción de película flexible. En este proceso la película se produce extruyendo el material a partir de una matriz anular y luego se estira el polímero fundido a través de aire para formar una burbuja la cual es enfriada por el sistema interno de enfriamiento de la burbuja y los anillos de aire externos. (Kanai, 2011)

Figura No. 8: Burbuja formada en el proceso de extrusión de película soplada.



La teoría del proceso de extrusión de película soplada fue establecida por Pearson y Petrie en 1970. Se destaca que el modelo de Pearson y Petris se realiza un análisis de la cinemática y la dinámica del proceso de extrusión. Por medio del análisis de la cinemática en el proceso de extrusión de película soplada se puede relacionar la tasa de deformación con cantidades medibles del proceso como: radio de la burbuja, calibre de la película y la velocidad de extrusión de la película. Básicamente estos modelos han sido utilizados para poder predecir comportamientos de los polímeros en el proceso de extrusión de película soplada. (Kanai, 2011)

Dentro de los polímeros con mayor utilización en la industria de película soplada son los polietilenos de baja densidad (LDPE), polietilenos lineales de baja densidad (LLPE) y el polietileno de alta densidad (HDPE) debido a que tienen tasas de cristalización rápidas que son consistentes con el proceso de enfriado en las extrusoras de película soplada, generalmente el tiempo de enfriado es de 1.5 a 5 segundos. (Kanai, 2011)

D. Extrusora

El propósito de la extrusora es alimentar el dado o matriz con una alimentación homogénea de material a una temperatura y presión constante. Una extrusora tiene que contemplar tres objetivos para poder producir un producto que cumpla los estándares de calidad que se desee. Dichos objetivos son: (Cantor, 2006)

- Homogenizar o mezclar satisfactoriamente el materia al dado formador.
- EL material que entra al dado tiene que tener una variación de temperatura mínima con respecto al tiempo y posición de la corriente del material fundido.
- La variación de presión con respecto al tiempo de la corriente del material fundido tiene que ser mínima.

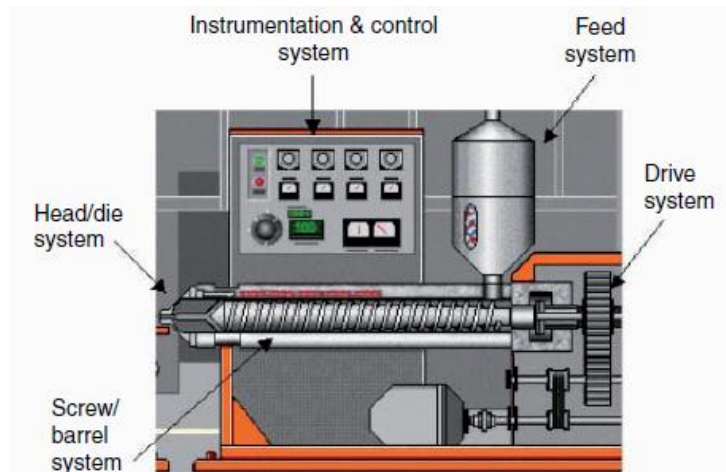
Las extrusoras son catalogadas según el diámetro del tornillo sin fin que utilicen. La mayoría de las extrusoras trabajan con tornillos entre 50 y 150 mm. El diámetro del tornillo determina la cantidad máxima del flujo de material de salida de la extrusora. La relación entre la salida de material (kg/h) y el diámetro del tornillo es cúbica. Si se tiene una salida de 100 kg/hr con un diámetro de 2 pulgadas (50mm) con un determinado polímero pero si se cambia a un diámetro de 4 pulgadas (100 mm) la salida de la extrusora cambiaria a 800 kg/hr. (Cantor, 2006)

Para un mejor análisis los componentes de la extrusora se dividen en cinco sistemas: (Cantor, 2006)

- Sistema de empuje (Drive System)
- Sistema de alimentación (Feed system)
- Sistema de tornillo/barril (Screw/barrel system)
- Sistema de cabeza/dado (Head/die system)

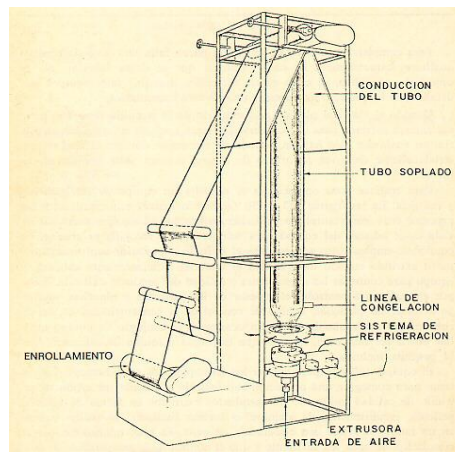
- Sistema de instrumentación y control (Instrumentation and control system)

Figura No. 9: Componentes de la extrusora.



Luego de que se produce la burbuja por el dado o matriz formadora esta es jalada por una serie de rodillos los cuales le dan la forma de lámina a la película extruida.

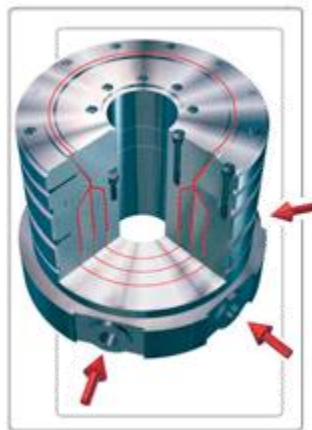
Figura No. 10: Diagrama del embobinado de la burbuja en un proceso de película soplada.



En el proceso de extrusión de película soplada se pueden producir películas con 1 capa (monocapa) hasta películas con 8 capas. El proceso de generar películas de 2 o más capas recibe el nombre de co-extrusión. Esta se utiliza cuando el perfil de exigencias que debe cumplir la película terminada no puede ser reunido por un único material, o bien cuando se quiere ahorrar empleando un material barato para rellenar el interior de una película cuyas capas exteriores deben tener altas prestaciones. (Kanai, 2011)

Este proceso es similar al de extrusión solamente que se utilizan varios rodillos para poder generar las distintas capas del material deseado. La cantidad de rodillos depende del número de capas que se le desee dar al material final. Por ende en el proceso de co-extrusión tiene que existir un sistema de los explicados anteriormente por capa que se desee dar al material. Cabe destacar que el dado formador tiene que ser especial para poder juntar las tres capas del material. A continuación se muestra el diagrama de un dado formador para una película de tres capas. (Kanai, 2011)

Figura No. 11: Dado formador para una película de 3 capas.



1. Sistema de empuje. Este sistema está encargado de brindar energía mecánica necesaria para lograr la rotación del tornillo. Este sistema está compuesto por un motor y un reductor de velocidad. (Cantor, 2006)

a. Motor. Los motores utilizados en las extrusoras tienden a ser relativamente grande debido a la gran cantidad de trabajo que tienen que realizar estos. Los motores tienen que tener la capacidad de: (1) fusionar los sólidos debido al calor generado por fricción. (2) transportar el polímero que tiene una alta viscosidad a lo largo del barril y (3) bombear el polímero fusionado que tiene una alta viscosidad por la restricción del dado o matriz formadora.

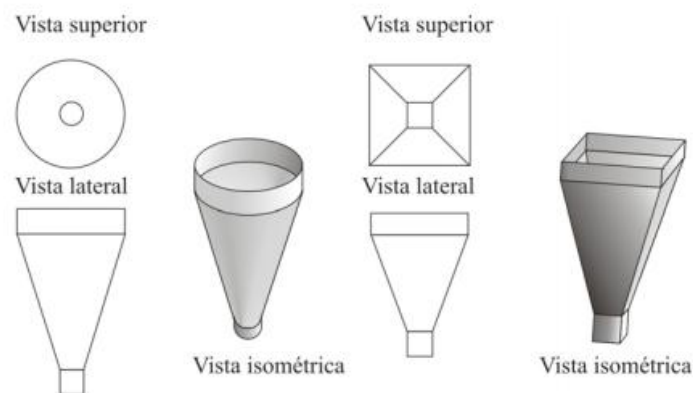
Estos motores son generalmente eléctricos aunque también se pueden utilizar motores hidráulicos. En lo que respecta a los motores eléctricos estos pueden ser de corriente directa (DC) o corriente alterna (AC). (Cantor, 2006)

b. Reductor de velocidad. Los motores eléctricos de las extrusoras generalmente operan a 2,000 RPM. Tomando en cuenta que el tornillo de la extrusora no sería adecuado que su velocidad fuera la misma que el motor ya que resultaría en daños en el materia por exceso de temperatura causada por la fricción del tornillo es necesario reducir la velocidad por medio de un reductor de velocidad. (Cantor, 2006)

El reductor de velocidad proporciona dos ventajas al sistema: (1) los reductores de velocidad tienen radios de 10:1 a 20:1 lo cual brinda velocidades de tornillo entre 100 y 200 RPM y (2) Al reducir la velocidad del motor aumenta el torque del tornillo, un elevado torque es necesario para poder mantener la velocidad del tornillo debido a la alta viscosidad del materia que se utiliza. Los reductores de velocidad están diseñados para mantener la velocidad a pesar de que los requerimientos de torque cambien. (Cantor, 2006)

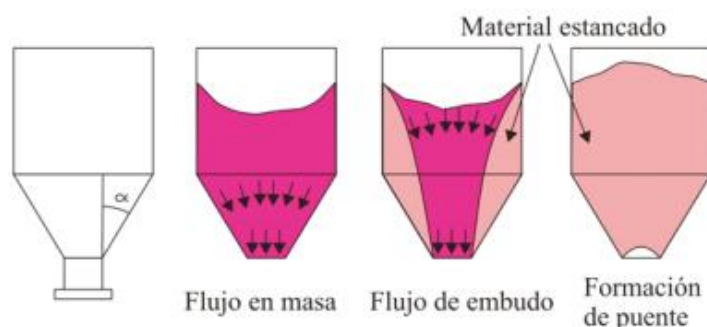
2. Sistema de alimentación. El propósito del sistema de alimentación es retener la materia prima que se va a ingresar a la extrusora. Este sistema está compuesto por la garganta de alimentación y una tolva. En la tolva se almacenan los polímeros antes de que entren al barril donde se encuentra el tornillo. Al momento de diseñar la tolva hay que tomar en cuenta que se tienen que evitar que los materiales se queden trabados en la tolva. El diseño también tienen que tomar en cuenta la forma del material con que se va a trabaja ya que de la forma dependen del ángulo del cono de la tolva. (Gregory, 2009)

Figura No. 12: Tolva de alimentación de la extrusora.



La boquilla de alimentación se encuentra debajo de la tolva. Esta boquilla se encuentra rodeada de anillos de enfriamiento. El motivo de mantener la tolva a una temperatura ambiente es evitar que el material se atasque en las orillas de la tolva ya que es necesario que el flujo sea continuo hacia el tornillo. (Cantor, 2006)

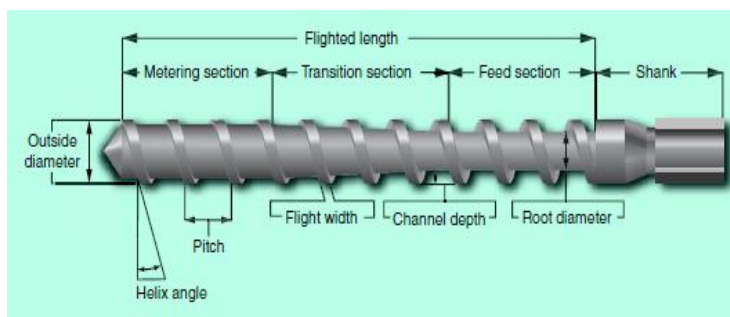
Figura No. 13: Flujo de alimentación en la tolva y posibles problemas en la tolva.



3. Sistema de tornillo/barril. Este sistema es una de las partes claves de la operación de extrusión ya que en esta parte se fusiona los polímeros, se mezclan y son empujados hacia el dado o matriz formadora. En esta parte se tienen que producir una mezcla homogénea a temperatura y presión constante para no producir variaciones en la composición del producto final. Este sistema consta de dos parte el tornillo y el barril. (Cantor, 2006)

a. Tornillo. El tornillo básicamente es un eje largo con un hilo envuelto helicoidalmente alrededor del mismo. Este hilo es conocido como husillo. La forma del tornillo varia mientras se va acercando al dado o matriz formadora los cambios de la forma del tornillo marcan 3 secciones importantes del tornillo: (1) sección de alimentación (2) sección de transición y (3) sección de medida. (Cantor, 2006)

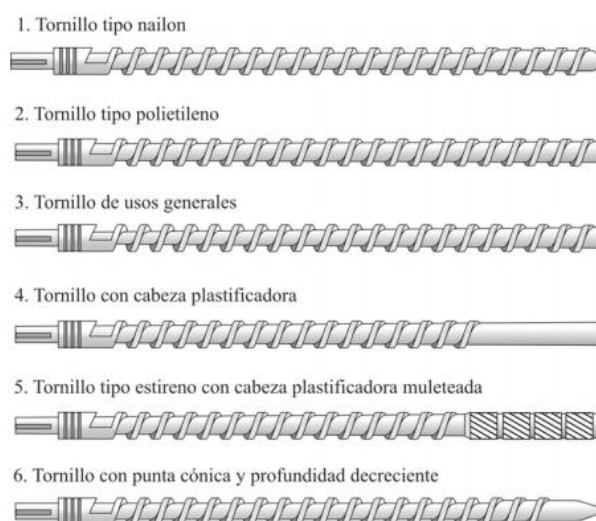
Figura No. 14: Diagrama de las diferentes secciones en el tornillo de la extrusora.



Los tornillos sin fin generalmente son construidos de acero 4140, especialmente para ciertos tipos de polímeros que requieren altas temperaturas o son altamente corrosivos. Para extender la vida del tornillo se puede encapsular el tornillo o utilizar un endurecedor en la aleación del material con que se fabrica el tornillo. (Cantor, 2006)

Por último cabe destacar que la forma del tornillo puede variar según el tipo de material que se va a trabajar en la extrusora. A continuación se muestra varios diagramas de tornillos acorde a la aplicación en que se utilicen. (Cantor, 2006)

Figura No. 15: Diagrama de los distintos arreglos de los tornillos.



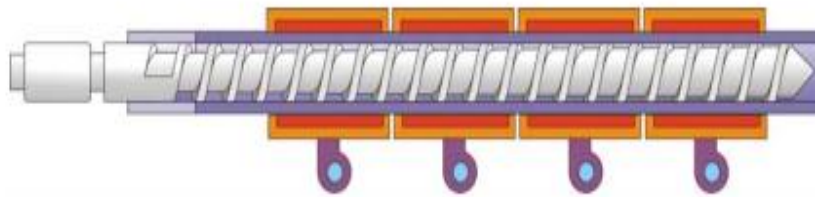
b. Barril o cilindro de calefacción. El cilindro de calefacción alberga en su interior al tornillo explicando anteriormente. La superficie de este cilindro debe de ser muy rugosa para aumentar las fuerzas de corte que soportará el material y permitir así que éste pueda fluir a lo largo de la extrusora. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, el cilindro suele construirse de aceros muy resistentes y en algunos casos viene equipado con un revestimiento bimetálico que le brinda una mayor resistencia. (Gregory, 2009)

El cilindro posee sistemas de transferencia de calor para alcanzar el perfil de temperatura necesario para fundir la mezcla de polímeros a extruir. Generalmente se utilizan resistencias eléctricas circulares las cuales se encuentran ubicadas alrededor del cilindro. También se puede calentar el barril utilizando un encamisado con fluidos refrigerantes o calefactores pero este método es poco usual y raramente utilizando en la

industria. Para tener un control del perfil de temperatura necesario a lo largo del tornillo el barril se divide en secciones con control de temperatura independiente. (Gregory, 2009)

En ciertas ocasiones es necesario enfriar el cilindro ya que debido a la generación interna de calor originada por la fricción del polímero con el tornillo se rebasa a la temperatura nominal del proceso. En estos casos es necesario disminuir la temperatura para que no se queme la mezcla que se está trabajando. Para lograr disminuir la temperatura se utiliza un sistema de enfriamiento a base de agua a temperatura ambiente o por medio de aire utilizando ventiladores ubicados en diferentes secciones del barril. (Gregory, 2009)

Figura No. 16: Diagrama de un barril con su respectivo sistema de calentamiento y de enfriamiento.

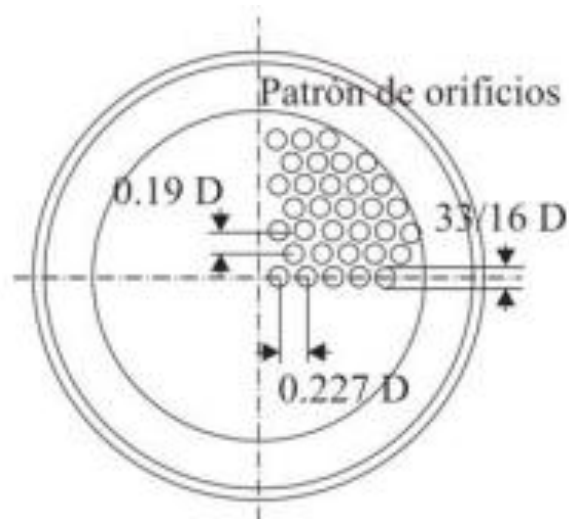


4. Sistema de cabeza/dado. Este sistema se encuentra a la salida del barril. Este sistema se encuentra conformado por tres partes: plato rompedor, filtro y el dado o matriz formador. (Cantor, 2006)

a. Plato rompedor. Este es un disco de metal localizado perpendicularmente al flujo de polímero fundido en la salida del barril. Este plato contiene varios agujeros por donde pasa el flujo. Este plato rompedor tiene dos propósitos principales: (1) sellar la parte final del barril (2) endurecer la salida del flujo del polímero fundido.

Otra función del plato rompedor es que actúa como un mezclador estático. Al aumentar el nivel de mezclado en el sistema ayuda a que se produzca una mezcla homogénea requerida para obtener un producto con buena calidad. A continuación se muestra el diagrama de un plato rompedor. (Gregory, 2009)

Figura No. 17: Diagrama de un plato rompedor

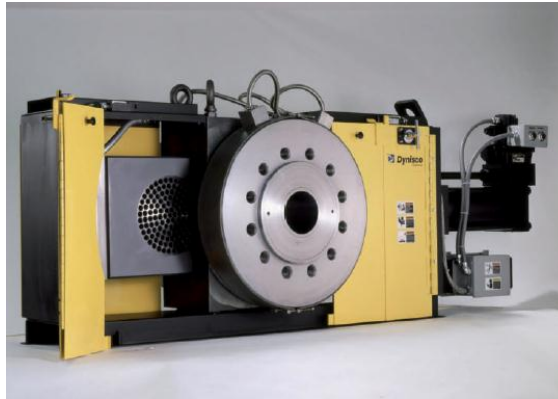


b. Filtro. Se utiliza un filtro para remover contaminantes o gels de la mezcla antes de que entren al dado o matriz formador. Los contaminantes pueden entrar al sistema de muchas maneras al momento de realizar la mezcla que ingresa a la tolva. Las gels también reciben el nombre de ojos de pescado que tienen la forma de pequeñas burbujas, estas se producen por humedad presente en la materia prima. Estos filtros son fabricados de acero o un metal que sea capaz de aguantar la temperatura con que se trabaje la mezcla fusionada de polímeros. (Cantor, 2006)

El método más común de filtro utilizado son los “screen packs”. Estos consisten en un paquete que contiene tres a cinco pantallas. Las pantallas pueden variar su tamaño para lograr una captura progresiva de las partículas contaminantes. Generalmente el mesh de estas pantallas se encuentra dentro 20 a 350. Estos filtros tienen que ser cambiados cuando ocurra un aumento en la presión en la cabeza del tornillo. (Cantor, 2006)

Para minimizar el tiempo al momento de cambiar los filtros se utilizando unos cambiadores de filtro los cuales operan de forma manual o hidráulica. (Cantor, 2006)

Figura No. 18: Cambiador de filtro accionado de forma hidráulica.



Los filtros además también sirven para mejorar el mezclado y homogenizado del fundido. Lo cual ayuda a mejorar las propiedades del producto final al trabajar con una mezcla homogenizada adecuadamente. (Gregory, 2009)

c. Dado o matriz formador. El dado también es llamado el cerebro de la operación ya que la forma del producto final en mayor parte es determinada por la formación de la mezcla fundida que se da en el dado. Existen una gran variedad de dados utilizados en diferentes operaciones. Se destaca que si el dado no contiene la forma correcta del flujo no va a ser posible cumplir con las especificaciones que se desea el producto. (Cantor, 2006)

En el proceso de extrusión de película soplada se utiliza un dado anular, el cual nos brinda la forma de la burbuja que se produce en este tipo de operación de extrusión de película. (Cantor, 2006)

Figura No. 19: Dado anular utilizado en extrusión de película soplada.



5. Sistema de instrumentación y control. El propósito de este sistema es medir y controlar todos los parámetros importantes en el proceso de extrusión. Sin la información que proporciona este sistema sería muy difícil mantener la seguridad y eficiencia del proceso. (Cantor, 2006)

Los parámetros que se deseen medir y controlar en el proceso dependen del material que se requiera extruir. Dentro de las variables que pueden ser medidas y controladas en una línea de extrusión se pueden destacar: Temperatura de la materia prima, Contenido de la mezcla, Velocidad de embobinado, presión de la cabeza del tornillo, perfil de temperatura del rodillo, enfriamiento de la burbuja, etc. (Cantor, 2006)

E. Propiedades de películas de polietileno

1. Gravedad específica y densidad. La densidad es la cantidad de masa por unidad del volumen del material. La gravedad específica es la relación de la masa del material a 23 °C al mismo volumen de agua desionizada. Es importante conocer la densidad del polímero que se está trabajando ya que con este valor se determina el rendimiento del material. El rendimiento se refiere al área de la película extruida a un espesor definido por unidad de masa. Generalmente el rendimiento se expresa en m^2/Kg .

Uno de los procedimientos estándares para determinar la densidad y gravedad específica de los polímeros está dada por la American Society for Testing (ASTM). El estándar utilizado es el ASTM D792-08 “Estándar Test Methods for Density and Specific Gravity of Plastics” (McKeen, 2012)

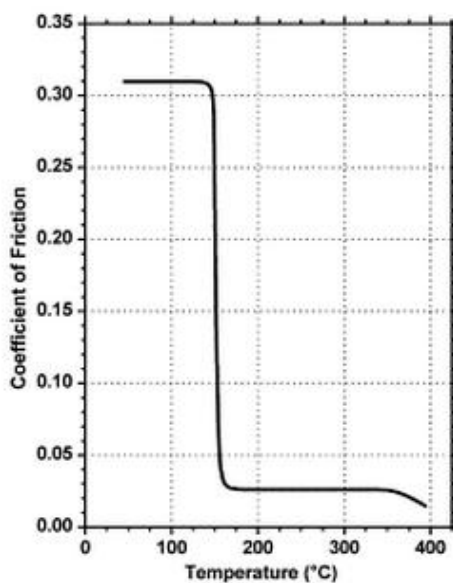
2. Expansión higroscópica. Los films de plástico pueden cambiar su forma debido a la adsorción de pequeñas moléculas de agua. Un ejemplo de esto ocurre en las poliamidas (Nylons) que tienen la capacidad de absorber grandes cantidades de agua. En la industria es necesario conocer esta capacidad de adsorber agua de los polímeros según la aplicación que se les requiera dar. Un método estándar para determinar esto es el ASTM F1087-02(2009) “Estándar Test Method for Linear Dimensional Stability of a Gasket Material to Moisture”. A pesar de que este método está diseñado para material utilizado en empaques se puede aplicar a películas extruidas. (McKeen, 2012)

3. Coeficiente de fricción. El coeficiente de fricción es un parámetro que nos indica la cantidad de resistencia que propone el material al momento de moverlo o deslizarlo. Este parámetro depende tanto del material y de la superficie en donde se esté dando el movimiento. Se destaca que existen dos coeficientes de fricción: (1) coeficiente de fricción estática, el cual se refiere a la cantidad de fuerza que es necesaria para comenzar a mover el material y (2) el coeficiente de fricción dinámico, el cual es determinado por la fuerza que es necesaria para mantener moviendo al material. (McKeen, 2012)

Esta propiedad es importante de determinar ya que los empaques flexibles que son utilizados en llenadoras tienen que tener un determinado coeficiente de fricción para que se deslicen en la máquina. El coeficiente de fricción no tiene que ser ni muy elevado para que se deslice más de lo deseado y también que afecte la calidad del sello del producto final. (McKeen, 2012)

El coeficiente de fricción de los plásticos depende de la temperatura. Dicha relación es inversamente proporcional y se muestra en la siguiente gráfica: (McKeen, 2012)

Figura No. 20: Gráfica de variación de coeficiente de fricción de la película con respecto a la temperatura.

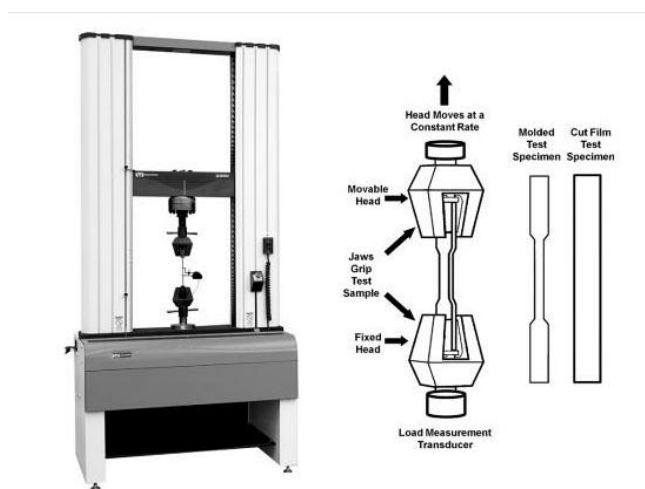


Para controlar el coeficiente de fricción en las películas se utilizan aditivos de control de coeficiente de fricción los cuales se encuentran fabricados de ceras y se agregan a la mezcla que ingresa a la extrusora para producir la película. (McKeen, 2012)

4. Propiedades elásticas. Las propiedades elásticas de las películas se determinan con pruebas de tensión en pequeñas tiras del film. Estas propiedades se refieren a la capacidad de las películas de polímeros de expandirse o alargarse antes de sufrir un rompimiento. (Butler, 2012)

Esta propiedad se determina con equipo especial para medir el stress del material hasta llegar a un punto de ruptura. En estos equipos se determinan las curvas de stress contra porcentaje de elongación de la película que se analiza. Estos análisis se realizan de dos formas: (1) en el sentido máquina del material el cual se refiere a la dirección paralela a la orientación de los polímeros y (2) a la sección transversal que es perpendicularmente al sentido de orientación de los polímeros. (Butler, 2012)

Figura No. 21: Esquema de una máquina de Instron ® Universal Material Testing Machine para determinar el análisis de elongación de una película.

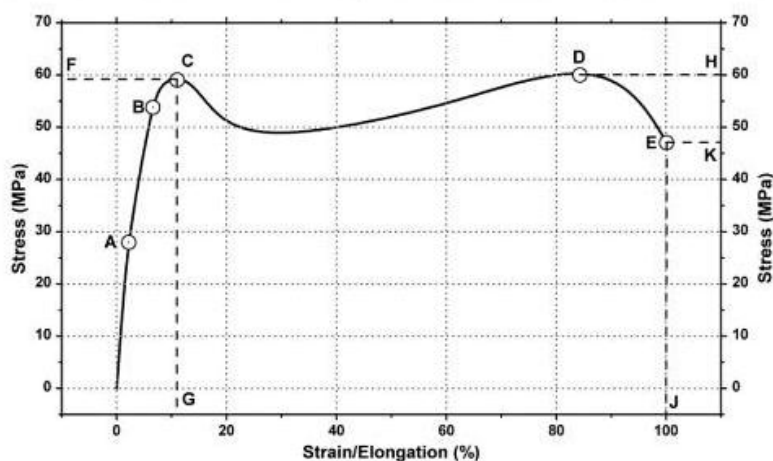


En el diagrama que se obtiene de estas máquinas se pueden diferenciar 5 partes que se encuentran etiquetados en la Figura #: (Butler, 2012)

- “A” Límite proporcional: es el fin de la región en donde la resina muestra un comportamiento lineal de tensión.

- “B” Límite elástico: línea en donde el material es deformado de forma permanente.
- “C” Límite de fluencia: después de este límite el material se deforma sin mostrar mayor efecto en la tensión.
- “D” Última fuerza: es la máxima presión ejercida en la película previa a su ruptura.
- “E” es el punto de ruptura del material,

Figura No. 22: Variación de la elongación de la película con respecto a la fuerza aplicada.



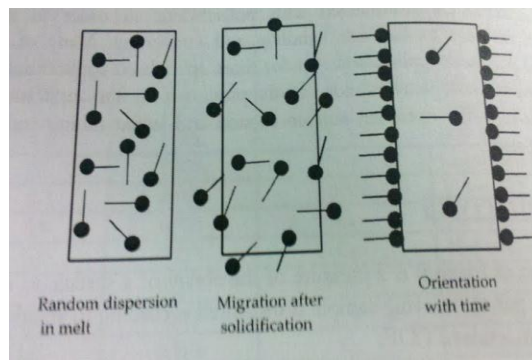
F. Lubricantes

Los lubricantes son utilizados para controlar el coeficiente de fricción estático y cinético. Estos lubricantes también reciben el nombre de Slip. Slip es un termo cualitativo que describe la lubricación de las superficies deslizándose contra si mismas. Un alto nivel de slip corresponde a un bajo nivel de coeficiente de fricción (COF) y viceversa. (Cantor, 2006)

Como se mencionó anteriormente el COF se ajusta agregando aditivos Slip a los polímeros. Estos aditivos funcionan bajo el principio de que son incompatibles con el polímero por lo que tienden a migrar a la superficie de la película extruida. La migración

de los aditivos se da con el tiempo lo cual se puede observar en la siguiente figura: (Gregory, 2009)

Figura No. 23: Migración de aditivo Slip con respecto al tiempo.



En la figura se observa que al principio las moléculas de SLIP se encuentran dispersas en todo el film y a medida que transcurre el tiempo estas tienden a migrar hacia el exterior del film lo cual le baja el coeficiente de fricción del mismo. (Gregory, 2009)

Por lo general, los aditivos Slip se encuentran fabricados por amidas de cadena larga, a continuación se muestran algunos tipos de amidas utilizadas: (1) Oleamida: 18 carbonos la amida primaria, (2) Euracamida: 22 carbonos la amida primara (3) Insaturado C36: amida secundaria (4) Insaturado C40: amida secundaria. (Gregory, 2009)

La tasa de migración depende directamente del peso molecular que se utilice en el Slip. Las formulaciones de Slip se encuentran entre las 100-1000 pm de ingrediente activo de Slip en los LDPE. Se destaca que valores medios tipos de slip utilizados se encuentran en las 500 ppm de erucamida u oleamida. (Gregory, 2009). Los tipos de slip más utilizados en la industria de los polietilenos son la erucamida y la oleamida. Se destaca que la oleamida tiene una migración más rápida que la erucamida y son utilizados cuando la película pasa por líneas de muy alta velocidad. La erucamida ya que tiene una menor migración es utilizada en aplicaciones especiales como de laminación. (Gregory, 2009)

III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad una de las principales preocupaciones de las industrias guatemaltecas y a nivel mundial son los costos de materia prima y producción, y la forma en que estos costos han aumentado de manera preocupante a lo largo de la última década. Es por eso que los esfuerzos de las compañías se centran en determinar formas de economizar en la materia prima que consumen para sus procesos. En las industrias de empaques flexibles, donde se presentan grandes costos es en los aditivos utilizados en las resinas procesadas. Uno de estos es el aditivo de control de coeficiente de fricción de los empaques.

Este trabajo se realizó en una empresa productora de empaques flexibles y se implementó un aditivo de control de coeficiente de fricción. Esto se debe a que en la planta productora de empaques flexibles se maneja un solo proveedor de aditivo de control de coeficiente de fricción (Clariant®) y es necesario contar con mas opciones de proveedores para evitar depender de uno solo. Además, con esto se busca tener un ahorro económico en la compra de aditivos de control de coeficiente de fricción.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

1. Implementar un aditivo de control de coeficiente de fricción que es utilizado en films extruidos y co-extruidos para ser utilizados en la elaboración de empaques flexibles.

B. Objetivos específicos.

1. Diseñar una línea de dosificación automática de materia prima para las mezclas que se realizan.
2. Analizar por medio de un modelo matemático la variación del coeficiente de fricción del film con respecto al tiempo.
3. Determinar la viabilidad de utilizar el aditivo en las diferentes mezclas sin que afecte sus propiedades.
4. Determinar el rendimiento y costo del aditivo de control de coeficiente de fricción.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Adaptar exitosamente un aditivo de control de coeficiente de fricción para empaques flexibles de una y tres capas sin que cambie sus propiedades físicas y químicas.

VI. METODOLOGÍA

A. Establecer las películas de polietileno a realizar pruebas

1. Seleccionar cuatro películas flexibles monocapa y dos películas flexibles de tres capas en las que se realizará la implementación del aditivo de control de coeficiente de fricción.
2. Recopilar los estándares de calidad que tienen que cumplir los films, los cuales se establecen por el tipo de aplicación que se le dé al película. (calibre, gramaje, fuerza de sello, fuerza de corte y nivel de tratado de corona)
3. Con los estándares también se establece el coeficiente de fricción requerido que debe de tener cada uno de las películas flexibles de una y tres capas.

B. Definir parámetros del proceso de realización de las pruebas

1. Con el coeficiente de fricción requerido se determina la cantidad de aditivo de control de coeficiente de fricción necesario a adicionar a la fórmula. Para ello se utilizan curvas que relacionan el coeficiente de fricción con la cantidad de partes por millón de ingrediente activo del aditivo de control de coeficiente de fricción. Esta gráfica se determinara de forma experimental. En esta parte hay que tomar en cuenta que algunas materias primas en su composición ya contiene una determinada cantidad de aditivo de control de coeficiente de fricción.
2. Con el porcentaje necesario a agregar de aditivo se adapta la fórmula de la mezcla.
3. Luego se procede a determinar las condiciones de operación de la extrusora al procesar cada mezcla: Perfil de temperatura del tornillo de alimentación, ancho de la película de polietileno a producir y velocidad de producción.
4. Programar la fecha de procesamiento de cada una de las mezclas que se desea analizar.

C. Extrusión de las pruebas

1. Preparar los materiales necesarios para extruir la mezcla.
2. Ingresar los parámetros determinados del proceso de extrusión a la extrusora.
3. Se procede a extruir el material.

D. Realización de análisis de calidad de las pruebas

1. Luego de extruir cada una de las mezclas, se seleccionaran 3 muestras de cada uno para realizar las pruebas de calidad.
2. Se procede a identificar cada una de las muestras.
3. Realizar análisis de los siguientes parámetros: coeficiente de fricción dinámico, calibre, gramaje, retracciones, fuerza de resistencia del impacto, fuerza de rasgado y porcentaje de elongación a la ruptura.
4. Documentar los datos obtenidos en cada uno de los análisis y proceder a analizarlos estadísticamente.

E. Prueba de la variación del coeficiente de fricción con respecto al tiempo.

1. Recopilar tres muestras de cada muestra extruida.
2. En el instante que se toman las muestras realizar la determinación del coeficiente de fricción dinámico y proceder a registrar los resultados.
3. Determinar el coeficiente de fricción de las pruebas en intervalos de tiempo durante dos días.
4. Tabular datos y analizar estadísticamente.

F. Diseño de la línea de dosificado y mezclado de materia prima

1. Recopilar información sobre el espacio disponible para la línea a diseñar, los flujos de material a manejar y cantidad de materiales a manejar en la línea de mezclado.
2. Proceder a realizar el diseño de la línea de mezclado.

G. Aspecto económico.

1. Determinación de los costos y rendimiento del aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico.
2. Determinar los costos de la línea de dosificado y mezclado de resinas. Además determinar la tasa interna de retorno de la inversión y el periodo de tiempo en que se recupera dicha inversión.

VII. RESULTADOS

Para poder implementar el aditivo de control de coeficientes de fricción a empaques flexibles de tres capas y de una capa en una planta productora de empaques flexibles, fue necesario determinar la viabilidad de utilizar el aditivo sin que afecte las propiedades físicas de las películas de polietileno.

Para ello se utilizaron parámetros determinados por la aplicación requerida de cada película de polietileno analizada. Estos parámetros fueron determinados por control de calidad de la planta productora de empaques flexibles donde se implementa el aditivo.

El aditivo determinado para ser implementado es de A. Schulman® que se identifica con el código CE-505®.

Se analizaron seis películas de polietileno en donde se le adiciono el aditivo de control de coeficiente de fricción a implementar. La nomenclatura utilizada para las pruebas realizadas se observa en la siguiente tabla.

Tabla No. 1: Nomenclatura utilizada para identificar cada una de las pruebas realizadas

Número de prueba	Descripción
1	Película monocapa con propiedades de retracción térmica
2	Película monocapa de baja densidad con lineal buteno en su composición
3	Película monocapa de baja densidad con lineal hexeno en su composición
4	Película monocapa de baja densidad con etileno-vinil acetato en su composición
5	Película de tres capas para uso agrícola como acolchado.
6	Película de tres capas de baja densidad y alta resistencia.

A continuación se muestran los resultados de las propiedades físicas de cada una de las pruebas realizadas. En estas tablas se comparan con los parámetros permitidos por el departamento de control de calidad de la planta productora de empaques flexibles.

Tabla No. 2: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 1 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.

Propiedad física	Propiedad física de la película de polietileno	Intervalo permitido por calidad	Cumple parámetro
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	0.4 ± 0.0	0.2 a 0.4	Sí
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	9.0 ± 0.0	6 a 9	Sí
Calibre (mm)	0.024 ± 0.001	0.024 a 0.026	Sí
Fuerza de impacto (N)	1.9 ± 0.00	1.0 a 2.5	Sí
Retracción sentido máquina (%)	74 ± 1	69 a 76	Sí
Retracción sentido transversal (%)	25 ± 1	19 a 28	Sí
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	287 ± 14	200 a 300	Sí
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	722 ± 12	520 a 750	Sí
Coefficiente de fricción dinámico	0.17 ± 0.00	0.15 a 0.20	Sí

Tabla No. 3: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 2 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.

Propiedad física	Propiedad física de la película de polietileno	Intervalo permitido por calidad	Cumple parámetro
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	0.1 ± 0.0	0.02 a 0.2	Sí
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	3.3 ± 0.0	1.0 a 4.0	Sí
Calibre (mm)	0.012 ± 0.001	0.009 a 0.011	Sí
Fuerza de impacto (N)	0.6 ± 0.0	0.2 a 1.0	Sí
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	309 ± 4	50 a 400	Sí
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	511 ± 61	150 a 550	Sí
Coefficiente de fricción dinámico	0.14 ± 0.00	0.13 a 0.17	Sí

Tabla No. 4: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 3 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.

Propiedad física	Propiedad física de la película de polietileno	Intervalo permitido por calidad	Cumple parámetro
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	0.1 ± 0.0	0.01 a 0.20	Sí
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	3.7 ± 0.0	1.4 a 4.0	Sí
Calibre (mm)	0.012 ± 0.001	0.012 a 0.013	Sí
Fuerza de impacto (N)	0.6 ± 0.0	0.5 a 1.0	Sí
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	149 ± 1	130 a 200	Sí
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	553 ± 21	450 a 650	Sí
Coefficiente de fricción dinámico	0.15 ± 0.00	0.16 a 0.20	Sí

Tabla No. 5: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 4 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.

Propiedad física	Propiedad física de la película de polietileno	Intervalo permitido por calidad	Cumple parámetro
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	6.9 ± 0.0	4.0 a 8.0	Sí
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	9.8 ± 0.1	5.5 a 10.0	Sí
Calibre (mm)	0.079 ± 0.001	0.076 a 0.084	Sí
Fuerza de impacto (N)	3.1 ± 0.0	2.0 a 3.5	Sí
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	782 ± 38	400 a 550	Sí
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	988 ± 4	600 a 1000	Sí
Coefficiente de fricción dinámico	0.10 ± 0.00	0.08 a 0.12	Sí

Tabla No. 6: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 5 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.

Propiedad física	Propiedad física de la película de polietileno	Intervalo permitido por calidad	Cumple parámetro
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	1.4 ± 0.1	0.1 a 2.0	Sí
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	6.2 ± 0.1	3.5 a 7.5	Sí
Calibre (mm)	0.018 ± 0.001	0.017 a 0.019	Sí
Fuerza de impacto (N)	1.7 ± 0.0	1.4 a 2.0	Sí
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	337 ± 48	150 a 350	Sí
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	637 ± 28	400 a 700	Sí
Coefficiente de fricción dinámico	0.24 ± 0.00	0.23 a 0.27	Sí

Tabla No. 7: Comparación de las propiedades físicas de la prueba 6 con los estándares de calidad necesarios a cumplir.

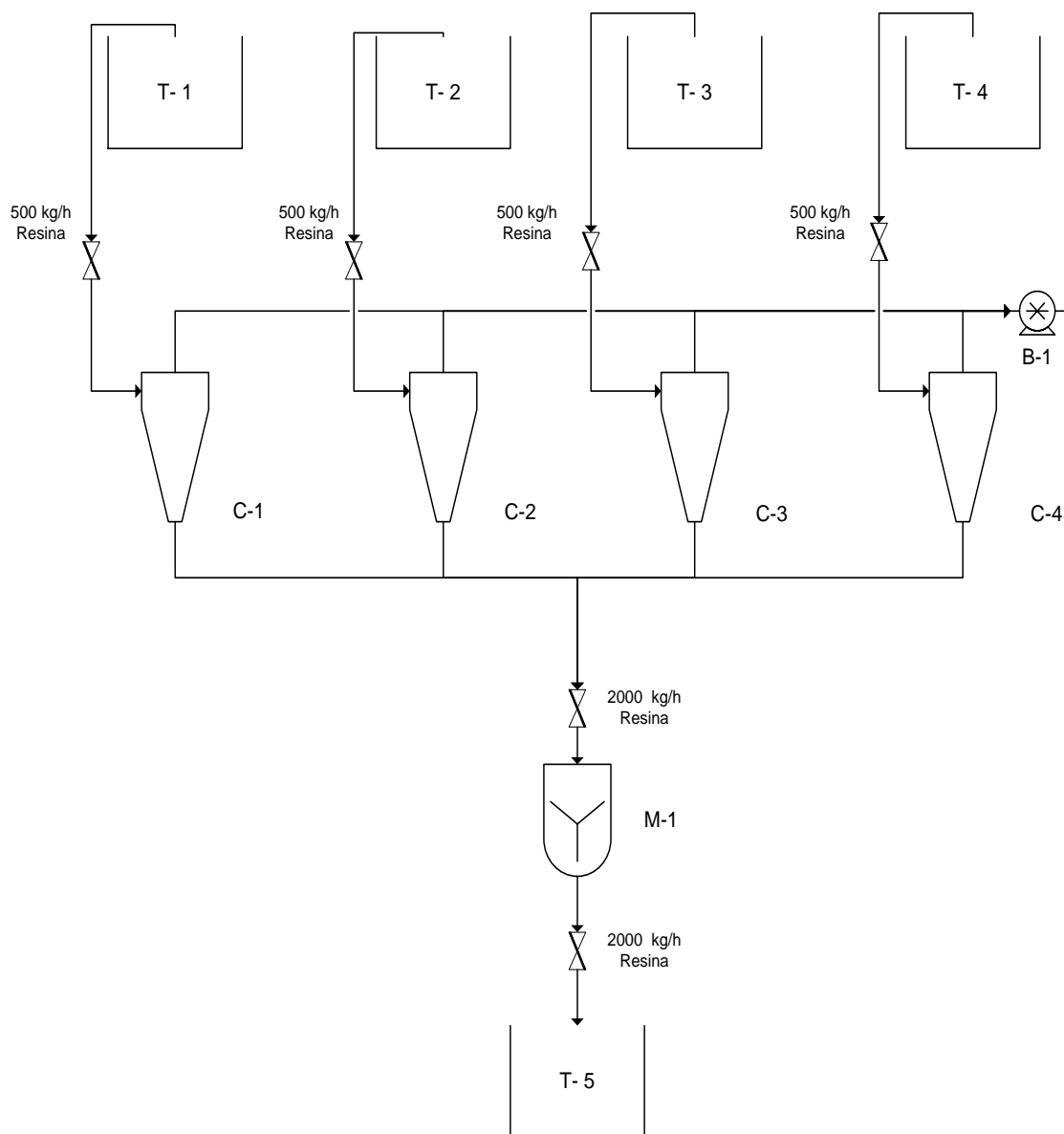
Propiedad física	Propiedad física de la película de polietileno	Intervalo permitido por calidad	Cumple parámetro
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	1.4 ± 0.0	1.0 a 2.0	Sí
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	3.3 ± 0.0	3.0 a 4.0	Sí
Calibre (mm)	0.053 ± 0.001	0.050 a 0.056	Sí
Fuerza de impacto (N)	3.9 ± 0.0	3.0 a 4.0	Sí
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	414 ± 14	400 a 780	Sí
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	704 ± 22	650 a 1000	Sí
Coefficiente de fricción dinámico	0.18 ± 0.00	0.20 a 0.30	Sí

Luego se muestra la información del diseño de la línea de dosificación y mezclado.

Tabla No. 8: Descripción de la nomenclatura utilizada en el diagrama de flujo del diseño de línea de mezclado y dosificado.

Nomenclatura	Descripción
T-1	Tanque de resina A
T-2	Tanque de resina B
T-3	Tanque de resina C
T-4	Tanque de resina D
T-5	Tanque de recepción de mezcla terminada
C-1	Ciclón de resina A (Doteco®)
C-2	Ciclón de resina B
C-3	Ciclón de resina C
C-4	Ciclón de resina D
B-1	Bomba de vacío
M-1	Mezclador de tornillo vertical

Figura No. 24: Diagrama de flujo de línea de dosificado y mezclado de resinas



De este diagrama de flujo se destaca que la bomba de vacío y los ciclones representan un dosificador gravimétrico. Se resalta que las especificaciones de diseño determinadas para la bomba de vacío y los ciclones, de la línea de dosificado y mezcla, son utilizadas para seleccionar un dosificador de marca Doteco®. Las especificaciones de este equipo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla No. 9: Especificaciones técnicas de dosificador de marca Doteco ®

Marca	Doteco ®
Modelo	Blendo
Capacidad de mezclado	2000 kg/h
Tipo de dosificador	Sistema gravimétrico
País de procedencia	Italia
Ingredientes de mezclado	4
Accesorios	Panel de control remoto y un sistema neumático de carga

Figura No. 25: Dosificador gravimétrico Blendo Doteco® con sistema neumático de carga y panel de control remoto.



Tabla No. 10: Dimensiones de los tanques utilizados para la línea de dosificado y mezcla de resinas.

Descripción	Altura (m)	Diámetro (m)
Tanque de resina A	1.0	0.50
Tanque de resina B	1.0	0.50
Tanque de resina C	1.0	0.50
Tanque de resina D	1.0	0.50
Tanque de recepción de mezcla terminada	1.6	0.80

Tabla No. 11: Especificaciones técnicas de mezclador de tornillo vertical marca Azteca ®

Marca	Azteca ®
País de procedencia	México
Potencia efectiva	2237.1 W
Capacidad nominal	500 kg
Velocidad de tornillo	600 rpm
Altura total	283 cm
Ancho total	110 cm
Peso	195 kg

Por último se determinó el costo de la línea de dosificado y mezclado de la resinas. Para ello se resalta que para la determinación de los costos de la línea de dosificado no es necesario determinar el costo de los cuatro contenedores de las resinas a dosificar, la mezcladora Azteca ® y el contenedor de mezcla terminada ya que en la planta productora de empaques flexibles se cuenta con esos equipos. Por ende el costo de la línea de dosificado se reduce al costo del dosificador Doteco® con una capacidad de 2000 kg/h, su accesorio para ingresar los porcentajes de las mezclas a realizar y su respectiva instalación.

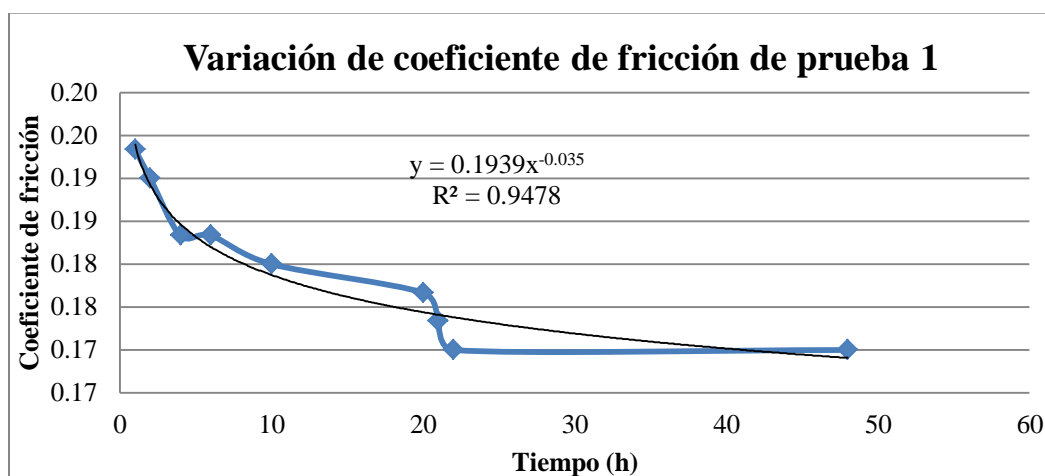
Tabla No. 12: Costo de la línea de dosificado y mezclado de resinas.

Detalle de gasto	Valor (Q)
Costo dosificador de 2000 kg/h con sistema neumático de carga	Q876,546.38
Costo accesorio control remoto	Q10,000.00
Costo de instalación de equipo	Q166,543.81
Costo de instalación eléctrica	Q113,951.03
Costo total	Q1,167,041.22

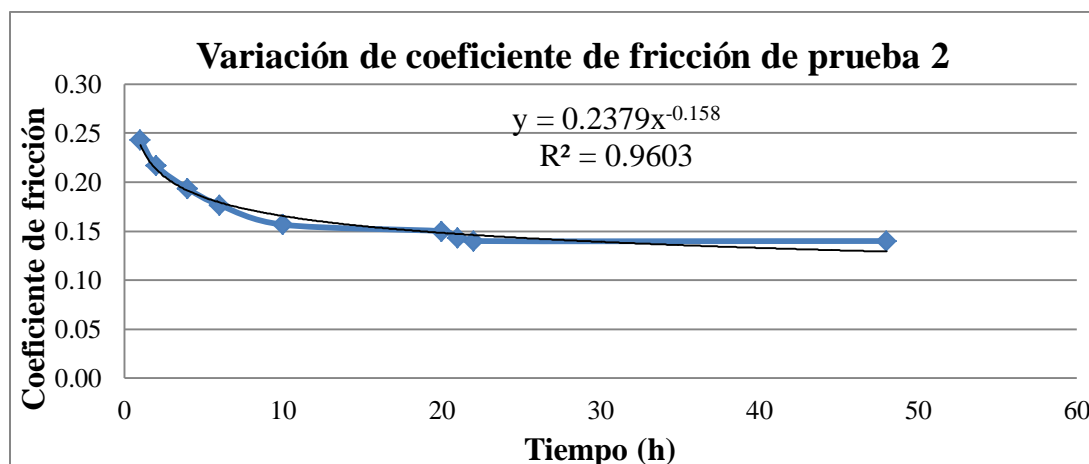
Se menciona que la inversión para la realización de esta línea de dosificado dentro de la planta productora de empaques flexibles tiene una tasa interna de retorno (TIR) de 29%. Se resalta que la inversión se recupera en el transcurso de 5 años.

También se determinó la variación del coeficiente de fricción con respecto al tiempo de cada una de las pruebas realizadas del aditivo de control de coeficiente de fricción A. Schulman CE-505®. Se destaca que se modelaron matemáticamente con regresiones potenciales y logarítmicas.

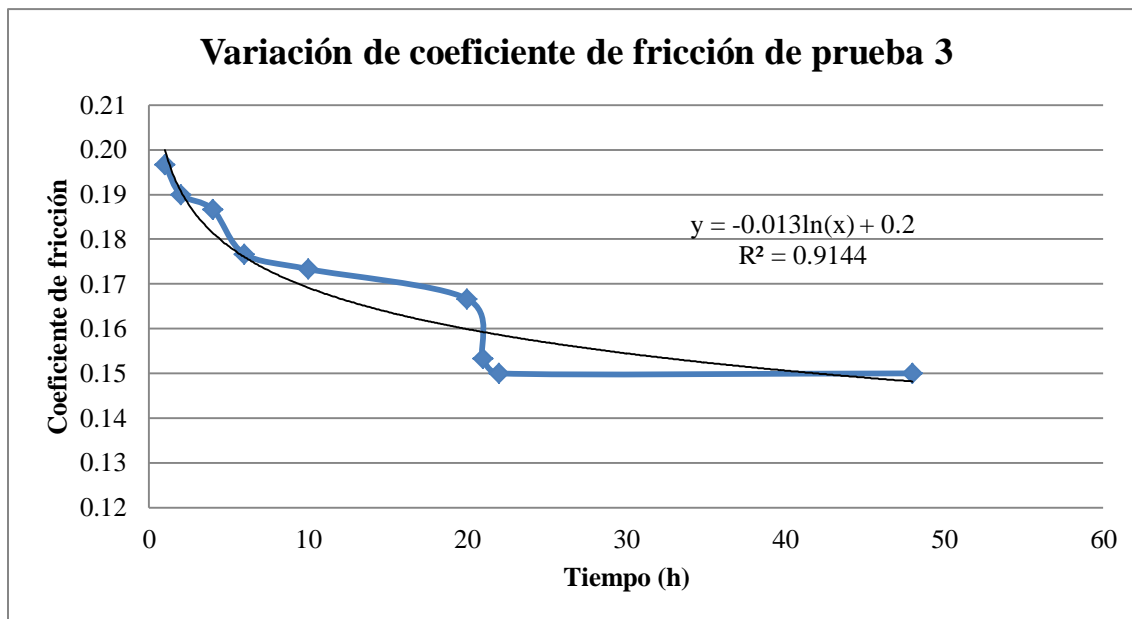
Gráfica No. 1: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 1



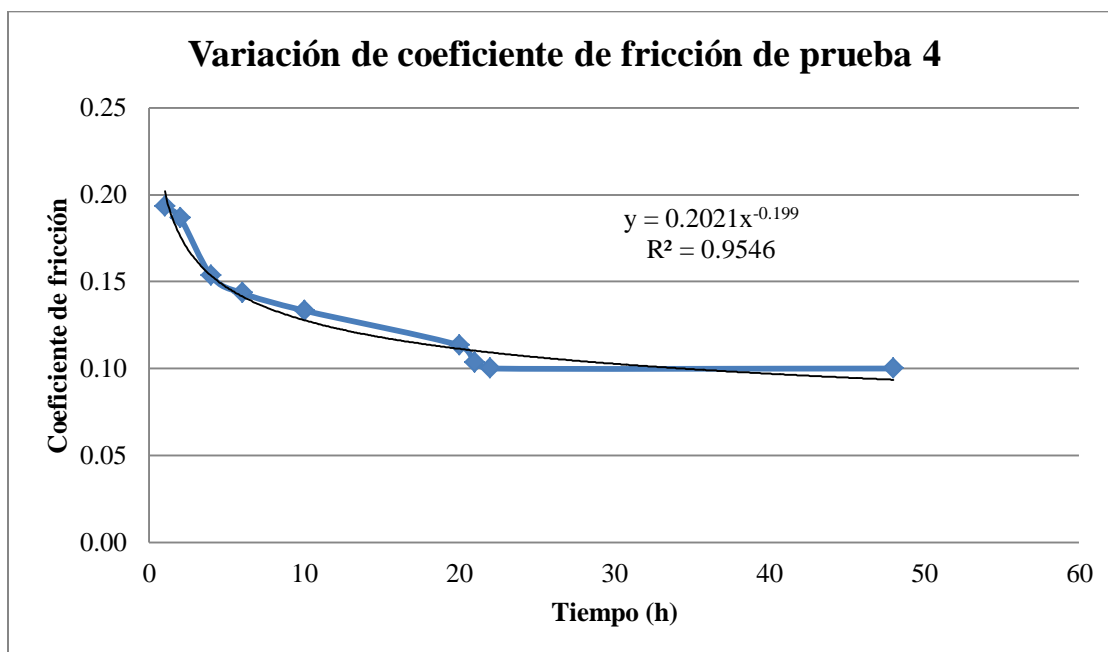
Gráfica No. 2: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 2



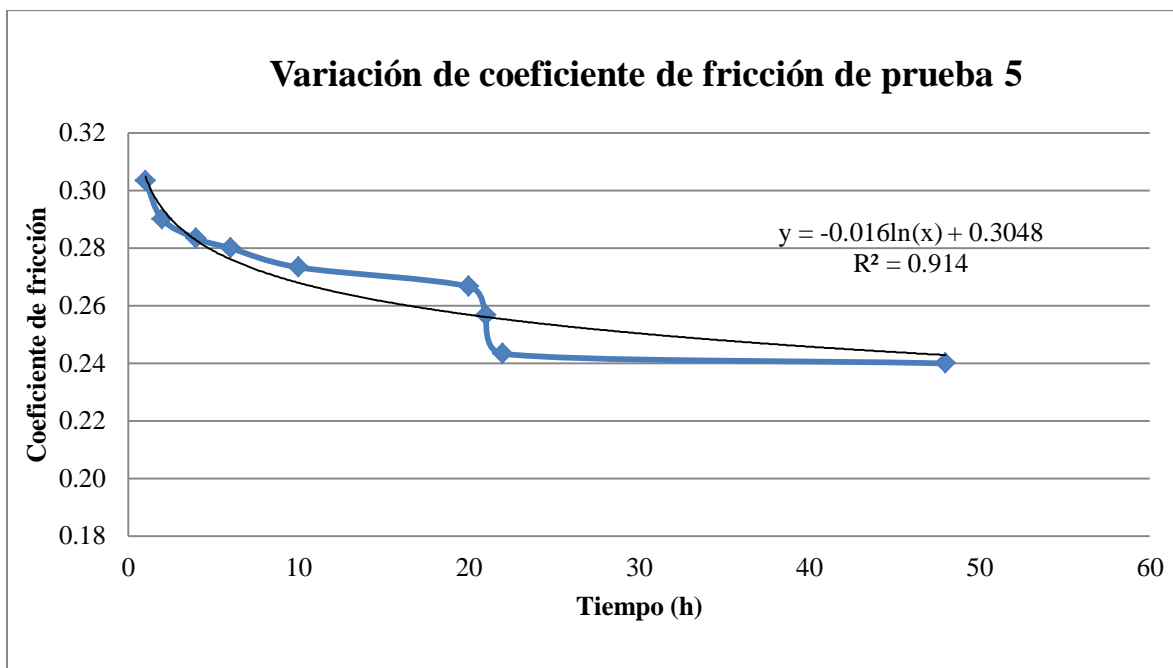
Gráfica No. 3: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 3



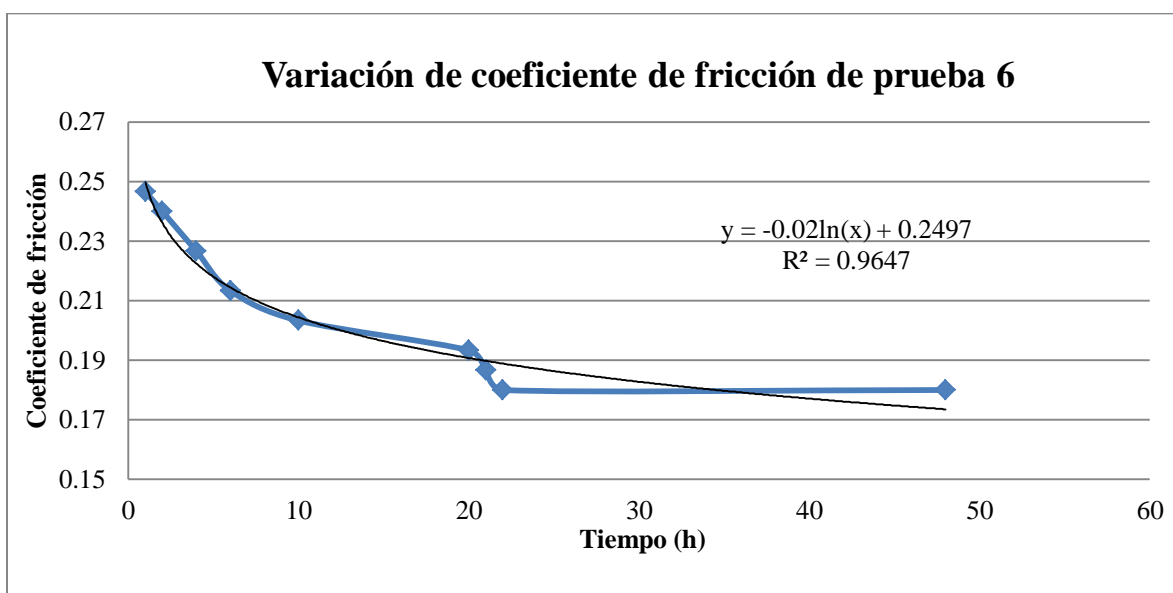
Gráfica No. 4: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 4



Gráfica No. 5: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 5



Gráfica No. 6: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 6



Por último cabe destacar que el costo del aditivo de control de coeficiente de fricción y su rendimiento al ser utilizado en 1.5%p/p en la elaboración de mezclas de resinas para la producción de películas de polietileno se muestra en la siguiente tabla. Este aditivo es de A. Schulman código CE-505®

Tabla No. 13: Costo y rendimiento del aditivo de control de coeficiente de fricción

Código de Material	Costo (Q/kg)	Rendimiento (kg de mezcla / kg de aditivo)
SLIP5%	Q26.80	66.67

VIII. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo de tesis fue la implementación de un aditivo de control de coeficientes de fricción a empaques flexibles de tres capas y de una capa en una planta productora de empaques flexibles.

Previo al inicio de la realización de las pruebas del aditivo de control de coeficiente de fricción en películas de polietileno para su implementación en la planta productora de empaques flexibles fue necesario determinar el aditivo de control de coeficiente para realizar las pruebas.

Para la elección del aditivo de control de coeficiente de fricción se analizaron dos opciones, la primera opción: Fabricar el aditivo a partir de un concentrado de erucamida al 98 % el cual es ingrediente activo de los aditivos de control de coeficiente de fricción mientras que la segunda opción sería: Adquirir al aditivo con una concentración de 5% de erucamida ya listo para ser utilizado en las mezclas de resinas. Este último aditivo sería el aditivo de marca A. Schulman código CE505® (Ficha técnica en Figura No. 46 página 122). Cabe resaltar que se trabaja con una concentración de cinco por ciento en peso ya que la mayoría de proveedores de aditivos de control de coeficiente de fricción se trabajan con este porcentaje.

Luego se procedió a fabricar el aditivo de control de coeficiente de fricción a partir del aditivo Crodamide-ER® fabricado por Croda (Ficha técnica en Figura No. 47 página 123), el cual tiene una concentración de 98% en peso de erucamida. Para lograr la concentración de 5% en peso de erucamida se realizó una mezcla con un polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) que no contenga aditivos como erucamida o carbonatos de calcio. Se utiliza polietileno de baja densidad para que el aditivo logre una buena afinidad con las demás resinas al momento de ser utilizado en proceso. Al tener la mezcla de LLDPE y Crodamide-ER® logrando una concentración de erucamida 5% en peso se utilizó una granuladora de plástico (conocida popularmente como peletizadora)

para producir el aditivo de control de coeficiente de fricción. En esta granuladora de plástico la mezcla pasa por un proceso de extrusión en el cual se le da forma de granulo a la mezcla. Las condiciones con que se trabajó este equipo para realizar el aditivo se pueden observar en las Tablas No.18 y 19 (Ver página 61).

Antes de ingresar la mezcla a la granuladora fue necesario limpiar con un lote de material transparente y proceder vaciar completamente el equipo eliminado todo el material acumulado del lote transparente. Al tener listo el equipo se ingresó la mezcla para empezar a producir el aditivo de control de coeficiente de fricción. En esta parte cabe destacar que el aditivo a la salida del equipo granulador mostró una tonalidad musgosa inesperada.

Para determinar el motivo de esta inesperada tonalidad del aditivo se propusieron dos teorías: la primera destaca el hecho de que por las temperaturas de operación del equipo granulador se degrado la erucamida y mostro una tonalidad musgosa y la segunda se centra en que el material utilizado para purgar el equipo antes de agregar el aditivo no limpia adecuadamente el equipo. La primera teoría se descartó analizando el espectro infrarrojo del aditivo con tonalidad musgosa y comparándolo con el espectro infrarrojo del aditivo de marca A. Schulman código CE-505®. Al comparar los dos espectros (Ver Figuras No. 27 y 28 en páginas 62 y 63) se observa que tienen espectros similares con picos en las mismas longitudes de onda, por lo que se descarta algún tipo de degradación de la erucamida como causante de la tonalidad.

Para verificar la segunda teoría se realizó una prueba en la granuladora con las mismas condiciones con que se elaboró la primera vez el aditivo de control de coeficiente de fricción con la única diferencia que no se trabajó con el aditivo Crodamide-ER® y solamente con el LLDPE sin aditivos. En esta prueba se obtuvo como resultado un granulado con la misma tonalidad musgosa que el aditivo que se produjo la primera vez. Con base a estos resultados se concluye que es necesario utilizar una purga química antes de poder producir el aditivo de control de coeficiente de fricción. Esto se debe a que al momento de utilizar un lote de material transparente para limpiar el equipo no es lo

suficientemente abrasivo para limpiar toda la suciedad que se acumula en el tambor y anillo del granulado, debido a que este material se encuentra en forma de película al momento de ingresar al granulador. Mientras que al momento de agregar la mezcla a la granuladora esta se encuentra en forma de gránulo, el cual tiene una mayor dureza que el material de purga utilizado y arrastra toda la suciedad del equipo lo cual le da la tonalidad musgosa. Es por eso que se concluye que es necesario agregar una material de purga química para lograr producir el aditivo de control de coeficiente de fricción de forma exitosa.

Después, para determinar con qué aditivo trabajar, se determinó el costo de elaborar el aditivo de control de coeficiente de fricción y se comparó con el costo del aditivo A. Schulman código CE-505®. Para el análisis del costo de producir el aditivo de control de coeficiente de fricción se tomó en cuenta los siguientes aspectos: Costos de Operación para la realización de la mezcla del aditivo, Costo de Operación de la producción del aditivo en el equipo granulador de plástico y los Costos de los Materiales (Ver tablas No. 64 a 67 en páginas 96 y 97). Este análisis se realizó para la producción de 500 kilogramos de aditivo lo cual es la cantidad que se requiere en la planta productora de empaques flexibles a lo largo de un mes de producción. De este análisis se obtuvo que el costo del aditivo es de Q 34.61 por kilogramo de aditivo producido. Mientras que el costo del aditivo ya procesado A. Schulman código CE505® tiene un costo de Q 26.80 por cada kilogramo de aditivo. Por la diferencia de costos se decidió trabajar con el aditivo de control de coeficiente de fricción más económico: A. Schulman código CE505®.

Otro factor por el que se descartó fabricar el aditivo de control de coeficiente de fricción dentro de la empresa productora de empaques flexibles es la pérdida del enfoque del negocio de la empresa productora de empaques.

Luego de que se definió que se va a utilizar el aditivo A. Schulman código CE505® para realizar las pruebas para implementar el aditivo de control de coeficiente de fricción fue necesario definir las películas en las cuales realizar las pruebas para la implementación del aditivo de control de coeficiente de fricción. Para realizar las pruebas

se trabajó con cuatro películas de polietileno de una capa y con dos películas de polietileno de tres capas. Se trabajó con una mayor cantidad de películas de una capa ya que en la planta productora de empaques flexibles se tiene una mayor demanda de aditivo de control de coeficiente de fricción en las películas de una capa que en las películas de polietileno de tres capas. Las muestras se seleccionaron de manera que incluyeran todos los tipos de resina que se trabajan en la planta productora de empaques flexibles. De esta manera se tienen muestras representativas de todas las películas que se trabajan en la planta de empaques flexibles. Las mezclas de las pruebas seleccionadas se pueden observar en las tablas No. 20 a 31 (Ver páginas 64 a 71)

Antes de procesar cada una de las pruebas fue necesario determinar las especificaciones de calidad que deben de cumplir cada uno de las pruebas que se realizaron. Estas especificaciones son determinadas por el departamento de calidad de la empresa productora de empaques flexibles con base a la aplicación que se le requiere dar a cada una de las pruebas.

Luego, a partir del coeficiente de fricción dinámico que se requiere obtener en cada una de las pruebas, se determinó la cantidad de aditivo de control de coeficiente de fricción a agregar; la cual se realizó con base a una curva que relaciona la concentración de aditivo de control de coeficiente de fricción en partes por millón y el coeficiente de fricción dinámico de la película. El coeficiente de fricción dinámico que se utilizó para realizar esta curva es el que se obtiene de la película de polietileno una vez que el aditivo de control de coeficiente de fricción migró completamente al exterior de la película. Por consiguiente, al obtener la cantidad que necesita cada película, se toma en cuenta la concentración de aditivo de control de coeficiente de fricción que trae cada una de las resinas de la mezcla de la prueba. Después, con base a la diferencia entre la cantidad de aditivo requerida para alcanzar el coeficiente de fricción deseado y la cantidad de aditivo que traen todas las resinas de la mezcla de la prueba, se determina el porcentaje de aditivo a adicionar a la mezcla (Ver apéndice F en página 64). De esta forma se determinó la cantidad necesaria de adicionar de aditivo de control de coeficiente de fricción para todas las pruebas realizadas.

Por consiguiente, una vez determinada la cantidad necesaria en cada prueba, se procedió a realizar cada una de las mezclas en donde se adicionó el aditivo A. Schulman código CE505® de control de coeficiente de fricción, para esto se utilizó un mezclador de tornillo vertical. Cabe destacar que la mezcla fue necesaria realizar para las pruebas en las extrusoras de una capa ya que éstas no cuentan con un dosificador. Al tener las mezclas las pruebas fueron procesadas en extrusoras de película soplada de una y tres capas. Las condiciones de operación de cada una de las pruebas se observan en el apéndice G (Ver página 72).

Finalmente para determinar la viabilidad de utilizar el aditivo en las diferentes mezclas sin que afecte sus propiedades físicas, se realizaron las respectivas pruebas de calidad a las muestras obtenida. Estas pruebas se realizaron en triplicado y se analizaron diferentes parámetros como: Fuerza de Impacto, Fuerza de Rasgado, Retracciones a las Muestras con propiedades de retracción térmica, Gramaje, Calibre y Porcentaje de Elongación de Ruptura. Se destaca que la fuerza de rasgado, retracciones y elongación a ruptura se analizaron tanto en sentido máquina como en sentido transversal de cada una de las muestras. El sentido máquina se refiere al sentido paralelo de cómo sale la película del dado formador de la extrusora mientras que el sentido transversal se refiere al sentido perpendicular del sentido máquina.

Los resultados de estas pruebas se compararon con los rangos permitidos por el departamento de control de calidad de la empresa productora de empaques flexibles, lo cual se observa en las tablas No. 2 a 7 (Ver páginas 31 a 34), de las cuales muestran que todas las películas se encuentran dentro de los rangos permitidos para cada parámetro; por lo cual se concluye que es viable utilizar el aditivo de control de coeficiente de fricción A. Schulman código CE505® sin que afecte las propiedades físicas de la película flexible en donde se aplique y cumple con todas las especificaciones de calidad determinadas por el departamento de control de calidad de la empresa productora de empaques flexibles.

Paralelamente a la implementación del aditivo se diseñó una línea de dosificación automática de materia prima para las mezclas que se realizan en la planta productora de empaques flexibles. Se propone este diseño ya que en la planta productora de empaques flexibles las mezclas se realizan de forma manual donde el operador agrega de saco en saco a la mezcladora cada una de las resinas de la mezcla. Con esta forma de trabajo se realiza una mezcla de 600 kilogramos de resina en 65 minutos, lo cual es poco eficiente y en ciertos momentos es un cuello de botella en el proceso de producción. Con el fin de eliminar este cuello de botella se propone un diseño de una línea de dosificado y mezclado.

Se resalta que en el diseño propuesto se utilizan los siguientes equipos que se poseen en la empresa productora de empaques flexibles: mezclador de tornillo vertical marca Azteca®, cuatro contenedores de almacenamiento de resinas y un contenedor de mezclas. Destacando que solamente es necesario comprar el dosificador Doteco® de 2000 kg/h el cual se dimensionó a partir de las especificaciones de diseño, determinadas para la bomba de vacío y las dimensiones necesarias de los ciclones que se muestran en el diagrama de flujo de la línea de dosificado y mezclado de resinas (Ver Figura No. 24 página 35). Cabe resaltar que el costo de la línea de dosificación y mezclado ya instalada es de Q.1,167,041.22. Este proyecto de inversión tiene una tasa interna de retorno (TIR) de 29%. Esta inversión se recupera en un periodo de 5 años.

La implementación de esta línea de dosificado y mezclado proporcionará importantes beneficios a la planta productora de empaques flexibles. Dentro de estos beneficios se destaca una reducción aproximada de 40% en el tiempo de elaboración de un lote de mezcla de 600 kilogramos. Esta reducción en el tiempo de elaboración reflejará un aumento de la capacidad de elaboración de mezclas de un turno del área de la empresa productora de empaques flexibles. Se aproxima que este aumento sería de 6,000 kilogramos por turno de doce horas. También se destaca que al tener este dosificador mejorará la calidad de mezclas, por la exactitud con que se agrega cada una de las resinas de la mezcla.

Se destaca que en el diseño que se maneja actualmente en la planta productora de empaques flexibles se tiene en marcha el mezclador de resinas durante todo el tiempo en que el operador vierte todos los sacos en el mezclador, lo cual produce que el material pase demasiado tiempo mezclándose y pierda una pequeña cantidad de sus aditivos por el roce con el tornillo. Este aspecto se evita al implementar esta línea de dosificado ya que se disminuirá el tiempo de residencia de los materiales en el mezclador lo cual evita que se pierdan los aditivos de las resinas.

Por consiguiente se destaca que al terminar de procesar cada una de las muestras se fue determinando cada cierto tiempo su coeficiente de fricción dinámico con el fin de obtener una curva que nos muestra la variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno analizada, de esta misma forma se determinó la curva de variación del coeficiente de fricción con respecto al tiempo para las demás muestras analizadas. Se destaca que esta variación se debe a la erucamida, ingrediente activo del aditivo de control de coeficiente de fricción, ya que, a medida que va transcurriendo el tiempo, migra hacia las paredes externas de la película de polietileno lo cual produce una disminución del coeficiente de fricción de la película por su efecto deslizante. Estas curvas obtenidas de cada una de las pruebas se analizaron por medio de un modelo matemático y se determinó que tienen un comportamiento que puede ser descrito por una regresión logarítmica o potencial. Esto se debe a que al inicio muestran un descenso rápido del coeficiente de fricción y a medida que transcurre el tiempo va disminuyendo lentamente el coeficiente de fricción hasta estancarse en un valor. Estas regresiones logarítmicas y exponenciales se observan en las gráficas No 1 a 6 (Ver páginas 38 a 40).

Por último cabe destacar que el aditivo de control de coeficiente de fricción que se validó con todas las pruebas realizadas puede ser utilizado en películas de una y tres capas que contengan en su composición polietilenos de baja densidad, polietilenos lineales o copolímeros de vinil acetato. Destacando que el aditivo de control de coeficiente de fricción implementado proviene de A. Schulman código CE505® y tiene un costo de Q26.80 por kilogramo con un rendimiento de 66.67 de kilogramo de mezcla

por kilogramo de aditivo al ser utilizado en una proporción de 1.5%p/p. Cabe destacar que este rendimiento se obtiene utilizando como base, una proporción promedio con que se utiliza el aditivo de control de coeficiente de fricción en las mezclas de la planta productora de empaques flexibles.

IX. CONCLUSIONES

- A. Es viable utilizar el aditivo de control de coeficiente de fricción A. Schulman código CE505 sin que afecte las propiedades físicas de la película flexible y cumple con todas las especificaciones de calidad determinadas por el departamento de control de calidad de la empresa productora de empaques flexibles.
- B. Se propone un sistema completo de una línea de dosificado y mezclado automático de resinas de polietileno utilizado un dosificador Blendo de Doteco®, un mezclador de tornillo vertical Azteca®, cuatro recipientes contenedores de resinas a mezclar y un contenedor de mezcla terminada.
- C. El costo de inversión inicial para la implementación de la línea de dosificación y mezclado incluida la instalación de equipo y la instalación eléctrica es de Q.1,167,041.22. La inversión tiene una tasa interna de retorno (TIR) de 29% con un periodo de recuperación de 5 años.
- D. Se propone un modelo regresión logarítmica o potencial para modelar el comportamiento del coeficiente de fricción dinámico de las muestras analizadas con el aditivo de control de coeficiente de fricción con respecto al tiempo.
- E. El aditivo de control de coeficiente de fricción implementado, A. Schulman código CE505®, puede ser utilizado en películas flexibles de una y tres capas compuestas de polietileno de baja densidad, polietileno lineal o copolímeros de vinil acetato.
- F. El aditivo de control de coeficiente de fricción implementado A. Schulman código CE505® tiene un costo de Q26.80 por kilogramo y tiene un rendimiento de 66.67 de kilogramo de mezcla por kilogramo de aditivo al ser utilizado en una proporción de 1.5%p/p.

X. RECOMENDACIONES

- A. Realizar un análisis de la forma en que la temperatura de almacenaje y tensión de embobinado de las extrusoras afectan la migración con respecto al tiempo de la erucamida presente en los aditivos de control de coeficiente de fricción. Modelando dicha migración utilizando diferentes modelos matemáticos.
- B. Comparar la viabilidad, beneficios y desventajas de utilizar aditivos de control de coeficiente de fricción que contengan oleamidas como ingrediente activo y compararlo con el aditivo utilizado en este estudio que contiene erucamida como ingrediente activo.
- C. Evaluar la factibilidad de eliminar el mezclador de tornillo vertical de la línea propuesta de dosificado y mezclado, dejando solamente el dosificador Blendo de Doteco®
- D. Analizar el efecto del aditivo de control de coeficiente de fricción A. Schulman CE-505 en la fuerza de sello de las películas de polietileno.
- E. Analizar el efecto del aditivo de control de coeficiente de fricción A. Schulman CE-505 en el coeficiente de fricción estático de las películas de polietileno.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Akay M. 2012. *“Introduction to Polymer Science and Technology”*. Mustafa Akay & Ventus Publishing ApS. 269 Páginas.
2. Gregory B.H. 2009. *“Polyethylene Film Extrusion A Process Manual”*. Victoria, Canada. Trafford Publishing. 227 Páginas.
3. Kanai T. Campbell G. 2011. *“Film Processing”*. Hanser Publications, Cincinnati, USA. 435 páginas.
4. Cantor K. 2006. *“Blown Film Extrusion”*. Hanser Publications, Cincinnati, USA. 183 páginas.
5. Butler T. 2012. *“Film Test Methods”* Blown Film Tech film extrusion expert. 9 páginas.
6. McKeen L. 2012. *“Film Properties of Plastics and Elastomers”*. Tercera Edición. William Andre Publications. 408 páginas.
7. German P. 2012. *“Metallocene Linear Low-Density Polyethylene”*. ExxonMobil Chemical Company. 15 páginas.
8. Butler T. 2012. *“Low-Density Polyethylene”* Blown Film Tech film extrusion expert. 18 páginas.

9. Perry, R. 1999. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. 7^a Edición. Estados Unidos. McGraw-Hill.

10. Towler, Gaby; R. Sinnott. *Chemical Engineering Design Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. Estados Unidos. Elsevier.

XII. APÉNDICE

A. Codificación de resinas, aditivos y pigmentos utilizados en las pruebas

Tabla No. 14: Codificación utilizada para las resinas utilizadas en las pruebas

Código a utilizar	Proveedor	Código de fabricante	Densidad (g/cm ³)	Índice de fluidez (g/10 min)	Agente deslizante (ppm)	Carbonato de calcio (ppm)
LD200M7	Certene	222C	0.922	2.0	700	2000
LD200M7.5	Petrothene	345-196	0.921	1.8	750	1600
LB100M15	Sabic	118W	0.918	1.0	1500	3500
LB100N0	Equistar	GA 5010-20	0.918	1.0	0	0
LH100A13.5	Certene	122XH	0.918	1.0	1350	7000
LH100N0	Formosa Plastics	62009H	0.919	0.9	0	0
ME100N5	Exceed	1018 FA	0.918	1.0	450	0
ELVAX316 5SA	Du Pont	ELVAX31 65SA	0.940	0.7	5929	9337
FR025N0	DOW	132 I	0.921	0.3	0	0
HD006N0	Equistar	5005	0.946	0.06	0	0

Tabla No. 15: Codificación utilizada para los pigmentos utilizados en las pruebas

Código a utilizar	Proveedor	Código de fabricante	Densidad (g/cm ³)	Índice de fluidez (g/10 min)	Agente deslizante (ppm)	Carbonato de calcio (ppm)
BLAAD	A. Schulman	8160 ME	-	25.0	0	0
NEG9101E8	Techmer PM	TPM9101E8	-	-	0	0
PLA601974-10	Clariant	601974-10	-	-	0	0

Tabla No. 16: Codificación utilizada para los aditivos utilizados en las pruebas

Código a utilizar	Proveedor	Código de fabricante	Densidad (g/cm ³)	Índice de fluidez (g/10 min)	Agente deslizante (ppm)	Carbonato de calcio (ppm)
SLIP5%	A. Schulman	CE-505	0.930	20.0	50000	0
SLIP98%	Croda	Crodamide ER	-	-	980000	0
AYUPRO	A. Schulman	AMF707	-	-	0	0
ABSN20	A. Schulman	F20	1.040	8.0	0	200000
PBA025	A. Schulman	AO 25A	-	11.0	0	0
Purga Química	Clariant	PLA-06219206	-	-	0	0

B. Metodología de pruebas de calidad

1. Determinación del coeficiente de fricción dinámico

- a. Cortar con una probeta de metal de 12.7 x 25.0 cm una sección de la película de polietileno que se quiere analizar.
- b. Cortar con una probeta de metal una sección de 7.0 x 7.0 cm de la película de polietileno que se quiere analizar.
- c. Colocar la sección de polietileno de 12.7x25.0 cm en la superficie de vidrio del equipo medidor de coeficiente de fricción de Sistemas Normalizados Computarizados ® CF-5.
- d. Asegurar la sección de polietileno colocada utilizando cinta adhesiva en cada esquina de la sección de polietileno.
- e. Luego se procede a colocar la sección cuadrada de 7.0 cm en la parte móvil del equipo medidor de coeficiente de fricción de Sistemas Normalizados Computarizados ® CF-5. Se asegura la sección de polietileno utilizando cinta adhesiva.

- f. Se coloca la parte móvil con la sección de polietileno en la superficie de vidrio encima de la sección de polietileno de 12.7x25cm asegurándose que las dos caras cubiertas con la película de polietileno queden cara con cara.
- g. Colocar el hilo plástico que proviene de la parte móvil en el censor del equipo medidor de coeficiente de fricción de Sistemas Normalizados Computarizados ® CF-5.
- h. Verificar que la pantalla digital marque 0. En caso de que no marque cero asegurarse que el hilo plástico no esté muy tenso y colocarlo de una forma holgada hasta que la pantalla digital marque 0.
- i. Proceder a iniciar la corrida del equipo.
- j. Anotar el coeficiente de fricción obtenido de la pantalla digital al momento que este se estabilice en un determinado valor.
- k. Al finalizar la corrida: levantar la parte móvil y regresar a la ubicación inicial la superficie de vidrio que se movió durante la prueba.
- l. Proceder a repetir los pasos 7 al 11 para las demás corridas que se deseen realizar.

2. Medición de retracciones

- a. Con una probeta circular de 10.0 cm de diámetro cortar una sección circular del plástico que se desean analizar sus retracciones
- b. Verificar que el baño térmico Cole Parmer ® se encuentre a una temperatura mayor de 130 C y menor a 140 C.
- c. Colocar la sección circular recortada anteriormente dentro de la canastilla metálica del baño térmico Cole Parmer ®.
- d. Utilizando unas pinzas metálicas colocar la canastilla metálica dentro del baño térmico Cole Parmer ®.
- e. Luego de cinco segundos dentro del baño térmico retirar rápidamente la canastilla de metálica.
- f. Esperar que la sección de polietileno deformada por la temperatura regrese a la temperatura ambiente y limpiarla adecuadamente.

- g. Anotar las nuevas medidas de la sección de polietileno en el sentido máquina y transversal de la misma.
 - h. Con las nuevas medidas se obtienen los porcentajes de retracción para cada sentido.
3. Medición de gramaje
- a. Utilizando una probeta de metal cuadra de 5.0 cm cortar una sección de la película de polietileno que se desea obtener un gramaje.
 - b. Utilizando una pinza de metal colocar cuidadosamente la sección de polietileno en la balanza analítica Ohaus ® MB45.
 - c. Anotar la lectura de la balanza analítica.
 - d. La lectura anotada multiplicarla por un factor de 400 (la cantidad de cuadros de 5.0 cm de lado que hay en un metro cuadrado) para obtener el gramaje de la película de polietileno en g/m²
4. Medición de porcentaje de elongación a ruptura
- a. Utilizando una probeta de metal de dimensiones de 2.54x12.7 cm cortar una sección de la película de polietileno que se desea analizar.
 - b. Ingresar en el programa del equipo Instron ® 3345.
 - c. Ingresar el nombre de la muestra que se va a analizar.
 - d. En el programa ingresar el calibre de la película de polietileno.
 - e. Colocar la sección de polietileno en los soportes del equipo Instron ® 3345 y ajustarla adecuadamente.
 - f. Iniciar la corrida utilizando el botón de inicio en el programa del equipo Instron ® 3345
 - g. Al terminar la corrida retirar la muestra de los soportes del equipo.
 - h. Repetir el procedimiento para obtener 2 corridas más y luego se procede a anotar los resultados de las propiedades de elongación.

5. Medición de fuerza de rasgado

- a. Utilizando una probeta de metal de dimensiones de 6.35x17.78 cm cortar una sección de la película de polietileno que se desea analizar.
- b. Ingresar al menú del equipo e ingresar el calibre de la película de polietileno que se desea analizar.
- c. Proceder a colocar la sección de plástico cortada en el equipo de Thwing-Albert Instrument Company ®.
- d. Realizar un precorte de la sección de plástico colocada en el equipo.
- e. Proceder a realizar la corrida.
- f. Repetir el procedimiento para obtener 2 corridas más y luego se procede a anotar los resultados de la fuerza de rasgado brindada por el equipo.

6. Medición del calibre

- a. Utilizando un micrómetro Mitutoyo ® 547-316S medir el calibre a lo largo de la película que se desea obtener su calibre.
- b. Realizar mediciones en triplicados para obtener el calibre de la película que se analiza.

7. Medición de fuerza de impacto

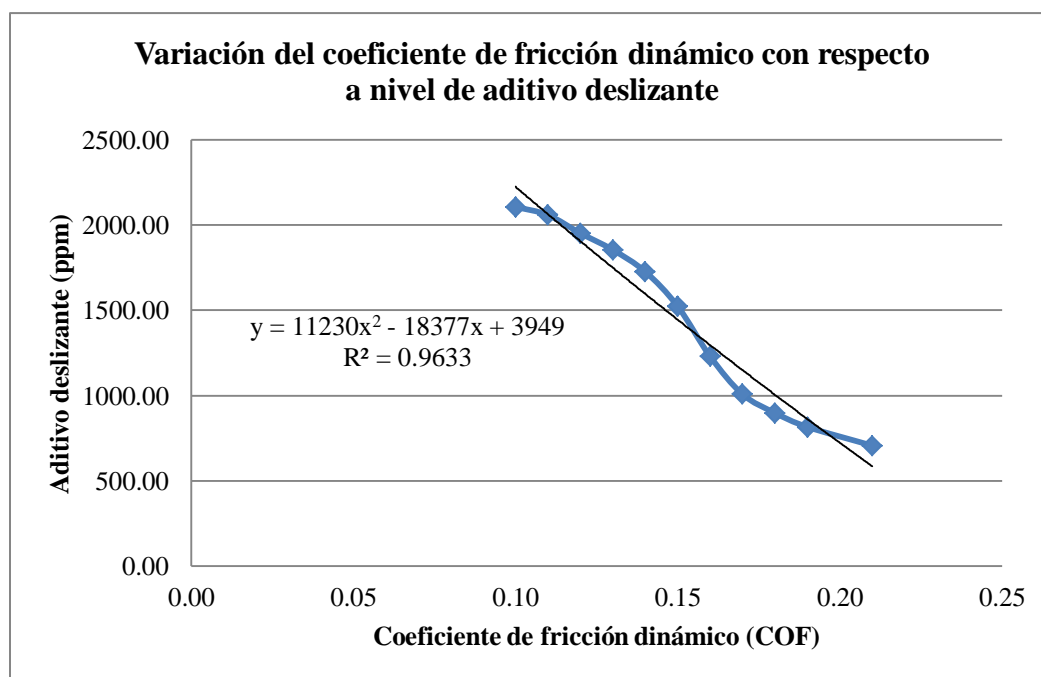
- a. Cortar una sección de la película de polietileno de 30 cm de ancho y 1 metro de ancho.

C. Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto a la concentración de aditivo de control de coeficiente de fricción.

Tabla No. 17: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto a nivel de aditivo deslizante (ppm)

Aditivo antideslizante (ppm)	Coeficiente de fricción dinámico			
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio
706.54	0.21	0.21	0.21	0.21 ± 0.00
816.15	0.19	0.19	0.19	0.19 ± 0.00
898.59	0.18	0.18	0.18	0.18 ± 0.00
1007.92	0.17	0.17	0.17	0.17 ± 0.00
1230.50	0.16	0.16	0.16	0.16 ± 0.00
1524.10	0.15	0.15	0.15	0.15 ± 0.00
1726.79	0.14	0.14	0.14	0.14 ± 0.00
1854.25	0.13	0.13	0.13	0.13 ± 0.00
1952.29	0.12	0.12	0.12	0.12 ± 0.00
2058.50	0.11	0.11	0.11	0.11 ± 0.00
2106.40	0.10	0.10	0.10	0.10 ± 0.00

Gráfica No. 7: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto a nivel de aditivo deslizante



D. Elaboración de aditivo de control de coeficiente de fricción

1. Metodología para la elaboración del aditivo

La metodología a seguir para la elaboración de 75 kilogramos de aditivo de control de coeficiente de fricción con una concentración de 5% p/p de ingrediente activo a partir del aditivo SLIP98% se presenta a continuación:

- a. Realizar una mezcla de 3.82 kg de SLIP98% y 71.18 kg de LB100N0 utilizando una mezcladora marca Azteca ®.
- b. Poner en operación la maquina granuladora de plástico Erema ®. Se ingresan las temperaturas de operación del equipo y se inicia el equipo de enfriamiento de la granuladora.
- c. Utilizando la banda transportada del equipo granulador ingresar el material de purga química para la limpieza de la granuladora de plástico Erema ®
- d. Dar un tiempo al equipo para alcanzar una temperatura de 80 °C en la sección de precalentamiento de la granuladora de plástico Erema ®.
- e. Esperar a que las temperaturas de las demás zonas del equipo alcancen la temperatura de operación que se ingresó al inicio.
- f. Encender el tornillo de la granuladora de plástico y colocarlo a una velocidad de 210 rpm.
- g. Dar un tiempo para que el material de purga química salga por completo de la granuladora de plástico Erema ®.
- h. Luego se procede a utilizar la banda transportada del equipo granulador para ingresar la mezcla del aditivo de control de coeficiente de fricción.
- i. Recolectar los 75 kg de aditivo de control de coeficiente de fricción con una concentración de 5% p/p de ingrediente activo.

Cálculo de la cantidad a agregar de aditivo SLIP98% para realizar 75kg de mezcla con un porcentaje de 5% p/p de ingrediente activo. Este cálculo se realiza a partir de que el aditivo SLIP98%.

$$\text{Cantidad Aditivo} = 75 \text{ kg Mezcla} * \frac{5 \text{ kg Aditivo}}{100 \text{ kg Mezcla}} * 1.02 = 3.82 \text{ kg Aditivo SLIP98\%}$$

Ecuación 1

2. Condiciones de operación del equipo para granular

Tabla No. 18: Perfil de temperaturas de operación de la granuladora Erema ® para la elaboración del aditivo de control de coeficiente de fricción

Zona	Temperaturas (°C)
Sección de Toma	97
Zona 1 Cilindro	224
Zona 2 Cilindro	280
Zona 3 Cilindro	236
Zona 4 Cilindro	232
Zona de Sellado	248
Adaptador	232
Zona 1 Cambiador	253
Zona 2 Cambiador	252
Triturador	94

Tabla No. 19: Velocidad del tornillo de la granuladora Erema ® utilizada para la elaboración del aditivo de control de coeficiente de fricción con 5% p/p de ingrediente activo.

Velocidad de tornillo de granuladora (rpm)
210

Figura No. 26: Aditivo de control de coeficiente de fricción obtenido de la granuladora de polietileno a partir del aditivo SLIP98%



E. Espectro infrarrojo de los aditivos de control de coeficiente de fricción

Figura No. 27: Espectro infrarrojo de aditivo SLIP5%

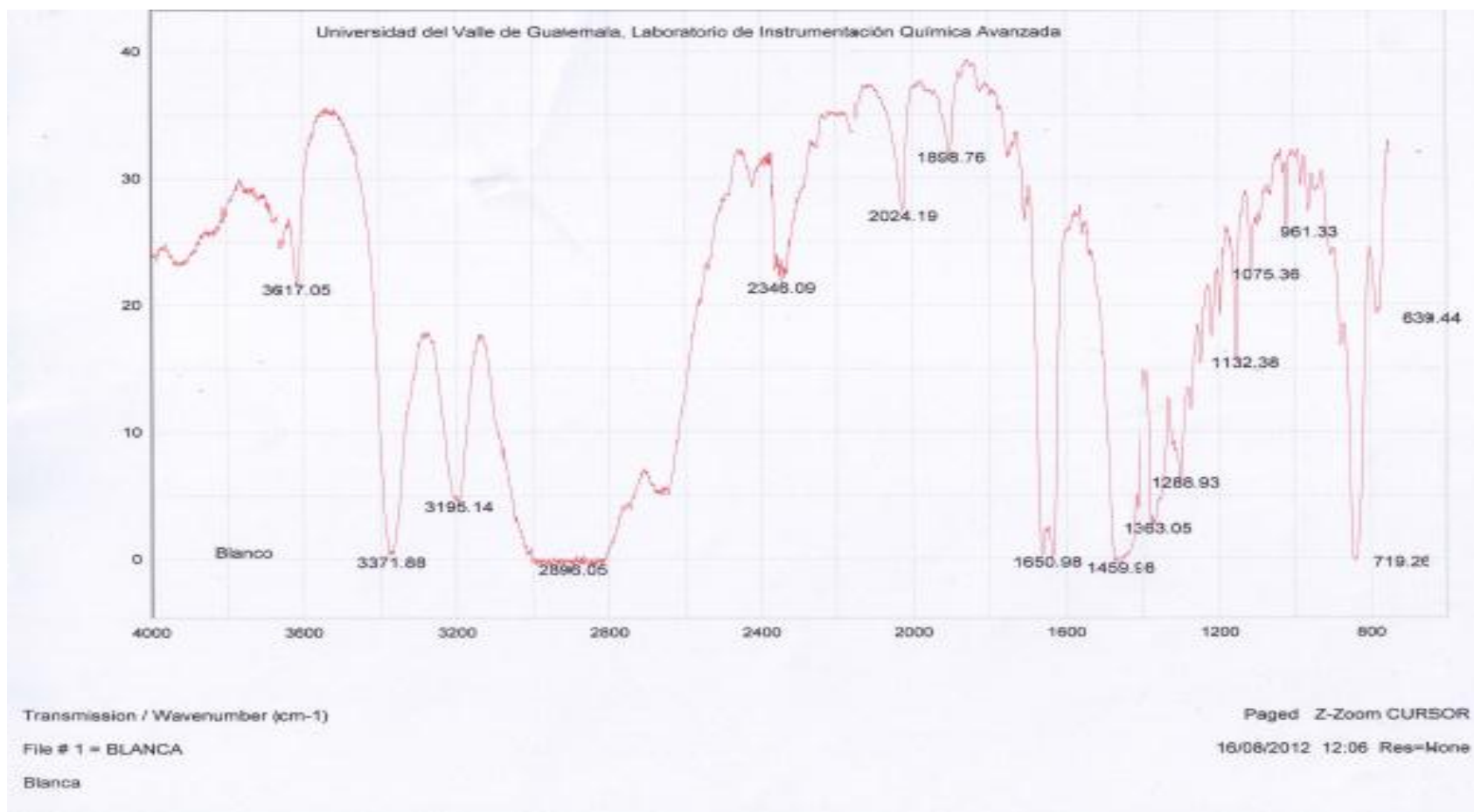
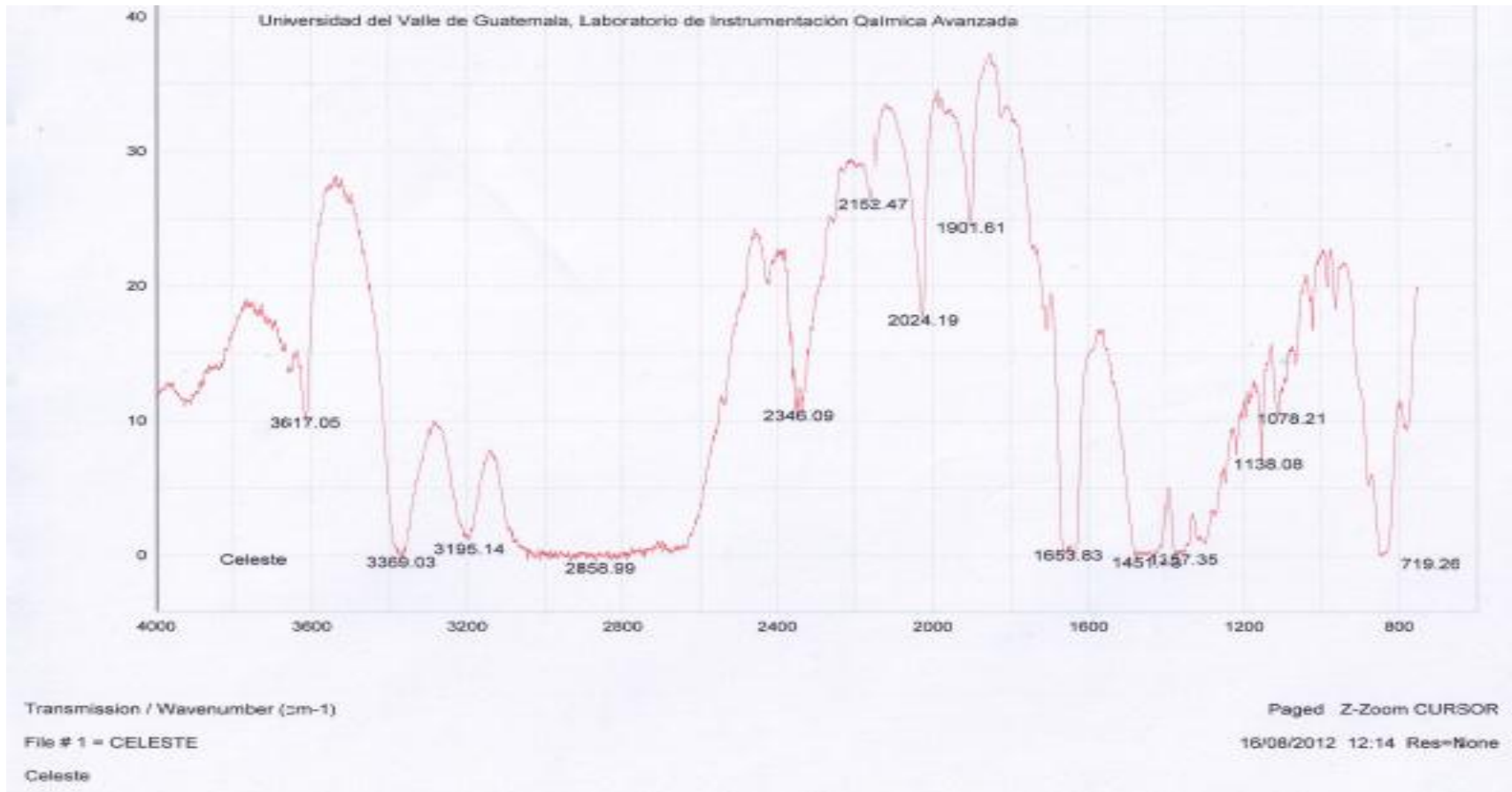


Figura No. 28: Espectro infrarrojo de aditivo de control de coeficiente de fricción con 5% p/p de ingrediente activo elaborado con la granuladora de polietileno Erema ®



F. Películas de polietileno utilizadas para la implementación el aditivo de control de coeficiente de fricción.

1. Películas de polietileno de una capa

a. Prueba 1: Película monocapa con propiedades de retracción térmica.

Tabla No. 20: Fórmula de la película monocapa con propiedades de retracción térmica sin el aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%

Material	Porcentaje (%)	Agente deslizante en material (ppm)	Aporte agente deslizante (ppm)
FR025A0	40.0	0	0.0
LH100M13.5	30.0	1300	390.0
ME100N5	29.0	500	145.0
ABSN20	1.0	0	0.0
	100.0	-	535.0

De la cual el aporte de agente deslizante se obtiene de la multiplicación del porcentaje de material y la cantidad de agente deslizante en dicho material.

Tabla No. 21: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 1

Parámetros	Mínimo	Máximo
Calibre (mm)	0.024	0.026
Coefficiente de Fricción Dinámico	0.15	0.20
Fuerza de impacto (N)	1.80	2.50
Fuerza rasgado máquina (N)	0.20	0.36
Fuerza rasgado transversal (N)	6.75	9.07
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	202	300
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	547	741
Retracción sentido máquina (%)	69	76
Retracción sentido transversal (%)	19	28

Con el coeficiente de fricción dinámico que se requiere en la prueba uno y la ecuación de regresión polinómica de segundo orden obtenido de la Gráfica 7 se obtiene la concentración

$$ppm \text{ de Aditivo deslizante} = 11230 * COF^2 - 18377 * COF + 3949$$

Ecuación 2

$$\begin{aligned} ppm \text{ de Aditivo deslizante} &= 11230 * 0.18^2 - 18377 * 0.18 + 3949 \\ &= 1004.99 \text{ ppm Aditivo deslizante} \end{aligned}$$

Luego de obtener la cantidad de aditivo deslizante que tiene que estar presente en la mezcla para alcanzar el coeficiente de fricción dinámico deseado (COF) se determina la cantidad a adicionar de aditivo para alcanzar la concentración deseada.

$$\begin{aligned} \text{Aditivo deslizante} \\ &= [ppm \text{ Aditivo necesarios}] - [ppm \text{ Aditivo presente mezcla}] \end{aligned}$$

Ecuación 3

$$\text{Aditivo deslizante} = (1004.99 - 535) ppm \text{ Aditivo} = 469.99 ppm \text{ Aditivo}$$

Por consiguiente se determina el porcentaje de SLIP5% a agregar a la mezcla original para alcanzar la concentración deseada de aditivo deslizante.

$$\% \text{ Adicionar} = \frac{ppm \text{ de aditivo necesario en mezcla}}{\text{Concentración de aditivo deslizante en SLIP5\%}} * 100\%$$

Ecuación 4

$$\% \text{ Adicionar} = \frac{469.99 ppm}{50000 ppm} * 100\% = 0.9399\% \approx 1\%$$

Al obtener el porcentaje necesario de adicionar de aditivo SLIP5% se adecua a la mezcla original para obtener la mezcla con que se realizara la prueba. De la misma forma se determinó el porcentaje a adicionar de SLIP5% a las demás mezclas.

Tabla No. 22: Fórmula de la película con propiedades de retracción térmica con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%

Material	Porcentaje (%)	Agente deslizante (ppm)	Aporte agente deslizante (ppm)
FR025A0	40.0%	0	0.0
LH100M13.5	30.0%	1300	390.0
ME100N5	28.0%	500	140.0
SLIP5%	1.0%	50000	500.0
ABSN20	1.0%	0	0.0
Total	100.0%	-	1030.0

b. Prueba 2: Película de baja densidad con lineal buteno en su composición.

Tabla No. 23: Fórmula de película de baja densidad con lineal buteno en su composición con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%

Material	Porcentaje (%)	Agente deslizante (ppm)	Aporte agente deslizante (ppm)
LD200M7.5	10.0%	750	75
LB100M15	67.5%	1500	1012.5
LH100M13.5	10.0%	1350	135
BLAAD	7.5%	0	0
ABSN20	2.0%	0	0
AYUPRO	2.0%	0	0
Slip5%	1.0%	50000	500
Total	100.0%	-	1722.5

Tabla No. 24: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 2

Parámetros	Mínimo	Máximo
Calibre (mm)	0.009	0.011
Coefficiente de Fricción Dinámico	0.13	0.17
Fuerza de impacto (N)	0.20	0.36
Fuerza rasgado máquina (N)	0.02	0.20
Fuerza rasgado transversal (N)	1.00	4.00
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	50	400
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	150	550
Retracción sentido máquina (%)	No aplica	No aplica
Retracción sentido transversal (%)	No aplica	No aplica

c. Prueba 3: Película de baja densidad con lineal hexeno en su composición.

Tabla No. 25: Fórmula de película de baja densidad con lineal hexeno en su composición con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%

Material	Porcentaje (%)	Agente deslizante (ppm)	Aporte agente deslizante (ppm)
LB100M15	25.0%	1500	375
LH100M13.5	26.0%	1350	351
LD200M7	36.0%	700	252
SLIP5%	1.0%	50000	500
ABSN20	3.0%	0	0
BLAAD	7.0%	0	0
AYUPRO	2.0%	0	0
Total	100.0%	-	1478.0

Tabla No. 26: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 3

Parámetros	Mínimo	Máximo
Calibre (mm)	0.012	0.013
Coefficiente de Fricción Dinámico	0.16	0.20
Fuerza de impacto (N)	0.50	1.00
Fuerza rasgado máquina (N)	0.01	0.20
Fuerza rasgado transversal (N)	1.40	4
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	133	179
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	450	641
Retracción sentido máquina (%)	No aplica	No aplica
Retracción sentido transversal (%)	No aplica	No aplica

- d. Prueba 4: Película de baja densidad con etileno-vinil acetato (ELVAX3165SA) en su composición.

Tabla No. 27: Fórmula de película de baja densidad con etileno-vinil acetato en su composición con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%

Material	Porcentaje (%)	Agente deslizante (ppm)	Aporte agente deslizante (ppm)
LD200M7.5	43.5%	750	326.25
LH100N0	30.0%	0	0
ELVAX 3165SA	25.0%	5929	1482.25
Slip5%	0.5%	50000	250
AYUPRO	1.0%	0	0
Total	100.0%	-	2058.5

Tabla No. 28: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 4

Parámetros	Mínimo	Máximo
Calibre (mm)	0.076	0.084
Coefficiente de Fricción Dinámico	0.08	0.12
Fuerza de impacto (N)	2.0	3.2
Fuerza rasgado máquina (N)	4.0	8.0
Fuerza rasgado transversal (N)	5.5	10.0
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	400	550
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	600	1000
Retracción sentido máquina (%)	No aplica	No aplica
Retracción sentido transversal (%)	No aplica	No aplica

2. Pruebas con películas de polietileno de tres capas

a. Prueba 5: Acolchado

Tabla No. 29: Película para acolchado o con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%

Capa	Porcentaje de capa (%)	Material	Porcentaje (%)	Agente deslizante (ppm)	Aporte agente deslizante (ppm)
A	30%	ME100A5	59.20	500	88.8
		LH100A13	14.06	1350	56.943
		SLIP5%	0.74	50000	111
		NEG9121E8	12.00	0	0
		PBA025	2.00	0	0
		FR025A0	10.00	0	0
		ABSN20	2.00	0	0
Total			100.00	-	-
B	40%	ME100A5	60.80	500	121.6
		LH100A13	14.44	1350	77.976
		SLIP5%	0.76	500	1.52
		NEG9121E8	12.00	0	0
		FR025A0	10.00	0	0
		PBA025	2.00	0	0
Total			100.00	-	-
C	30%	ME100A5	64.80	500	97.2
		LH100A13	15.39	1350	62.3295
		SLIP5%	0.81	500	1.215
		FR025A0	10.00	0	0
		PLA82459	9.00	0	0
Total			100.00	-	-
				Total	618.58

Tabla No. 30: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 5

Parámetros	Mínimo	Máximo
Calibre (mm)	0.017	0.019
Coefficiente de Fricción Dinámico	0.23	0.27
Fuerza de impacto (N)	1.4	2.0
Fuerza rasgado máquina (N)	0.1	2.0
Fuerza rasgado transversal (N)	3.5	7.5
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	150	350
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	400	700
Retracción sentido máquina (%)	No aplica	No aplica
Retracción sentido transversal (%)	No aplica	No aplica

b. Prueba 6: Película de tres capas de baja densidad y alta resistencia.

Tabla No. 31: Película de tres capas con propiedades de retracción térmica con aditivo de control de coeficiente de fricción dinámico SLIP5%

Capa	Porcentaje de capa (%)	Material	Porcentaje (%)	Agente deslizante (ppm)	Aporte agente deslizante (ppm)
A	35%	FR025N0	63.00	0	0
		ME100N5	35.00	450	55.125
		SLIP5%	2.00	50000	350
Total			100.00	-	-
B	30%	FR025N0	80.00	0	0
		HD006N0	20.00	0	0
Total			100.00	-	-
C	35%	FR025N0	63.00	0	0
		ME100N5	35.00	450	55.125
		SLIP5%	2.00	50000	350
Total			100.00	-	-
				Total	810.25

Tabla No. 32: Parámetros de calidad necesarios a cumplir de la prueba 6

Parámetros	Mínimo	Máximo
Calibre (mm)	0.050	0.056
Coefficiente de Fricción Dinámico	0.20	0.30
Fuerza de impacto (N)	3.0	4.5
Fuerza rasgado máquina (N)	1.0	2.0
Fuerza rasgado transversal (N)	3.0	4.0
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	400	779
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	650	975
Retracción sentido máquina (%)	No aplica	No aplica
Retracción sentido transversal (%)	No aplica	No aplica

G. Condiciones de operación para la elaboración de las muestras.

Tabla No. 33: Extrusoras en las que se realizó cada una de las pruebas.

Prueba	Número de extrusora
Prueba 1	21
Prueba 2	18
Prueba 3	18
Prueba 4	3
Prueba 5	26
Prueba 6	23

Se resalta que la codificación de las extrusoras presentada en la tabla anterior se encuentra en el apéndice en la sección de datos técnicos de equipo utilizado.

Tabla No. 34: Perfil de temperatura utilizado en las extrusoras para las películas de las pruebas: 1, 2, 3 y 4

Zona	Temperaturas (°C)
Tornillo 1	224
Tornillo 2	227
Tornillo 3	232
Tornillo 4	235
Tornillo 5	240
Dado formador A	232
Dado formador B	238
Dado formador C	232

Tabla No. 35: Perfil de temperatura utilizado en el tornillo A, B y C de la extrusora de tres capas para realizar las pruebas 5 y 6

Zona	Temperaturas (°C)
Tornillo 1	175
Tornillo 2	185
Tornillo 3	190
Tornillo 4	195
Tornillo 5	205

Tabla No. 36: Perfil de temperatura utilizado en el cabezal o dado formador de la extrusora de tres capas para realizar las pruebas 5 y 6

Zona	Temperaturas (°C)
Zona 1	210
Zona 2	210
Zona 3	210
Zona 4	215
Zona 5	215
Zona 6	215
Zona 7	220

Tabla No. 37: Velocidades con que se trabajó cada una de las extrusoras al realizar cada una de las pruebas

Prueba	Velocidad de operación (kg/h)
Prueba 1	35
Prueba 2	55
Prueba 3	100
Prueba 4	110
Prueba 5	350
Prueba 6	250

Tabla No. 38: Ancho de la película producida en las extrusoras al realizar cada una de las pruebas

Prueba	Ancho de película (mm)
Prueba 1	711
Prueba 2	813
Prueba 3	914.4
Prueba 4	1396
Prueba 5	2070
Prueba 6	1854

H. Resultados de pruebas de calidad

Tabla No. 39: Resultados de las diferentes corridas de las pruebas de calidad realizadas a la prueba 1

Propiedad física	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Fuerza rasgado sentido máquina ($\pm 0.1N$)	0.4	0.3	0.4
Fuerza rasgado sentido transversal ($\pm 0.1N$)	9.1	9.0	9.0
Calibre ($\pm 0.001mm$)	0.024	0.023	0.024
Gramaje ($\pm 0.001g/m^2$)	32.84	32.73	32.69
Fuerza de impacto ($\pm 0.01N$)	1.85	1.85	1.85
Retracción sentido máquina ($\pm 0.1\%$)	73.0	74.0	74.0
Retracción sentido transversal ($\pm 0.1\%$)	25.0	24.0	25.0
Elongación a ruptura sentido máquina ($\pm 0.01\%$)	274.00	301.85	285.54
Elongación a ruptura sentido transversal ($\pm 0.01\%$)	708.00	727.47	729.33

Tabla No. 40: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 1

Propiedad física	Valor promedio	Intervalo de confianza 95%
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	0.4 \pm 0.0	0.3 - 0.4
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	9.0 \pm 0.0	9.0 - 9.1
Calibre (mm)	0.02 \pm 0.01	0.02 - 0.03
Gramaje (g/m ²)	32.75 \pm 0.07	32.66 - 32.84
Fuerza de impacto (N)	1.85 \pm 0.00	- - -
Retracción sentido máquina (%)	73.7 \pm 0.6	73.0 - 74.3
Retracción sentido transversal (%)	24.7 \pm 0.6	24.0 - 25.3
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	287.1 \pm 14.0	271.3 - 303.0
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	721.6 \pm 11.8	708.20 - 735.0

Tabla No. 41: Resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 2

Propiedad física	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Fuerza rasgado sentido máquina ($\pm 0.1\text{N}$)	0.1	0.1	0.1
Fuerza rasgado sentido transversal ($\pm 0.1\text{N}$)	3.3	3.4	3.3
Calibre ($\pm 0.001\text{mm}$)	0.012	0.012	0.011
Gramaje ($\pm 0.001\text{g/m}^2$)	15.06	15.10	15.09
Fuerza de impacto ($\pm 0.01\text{N}$)	0.55	0.55	0.55
Elongación a ruptura sentido máquina ($\pm 0.01\%$)	310.00	313.33	305.00
Elongación a ruptura sentido transversal ($\pm 0.01\%$)	450.00	571.67	510.83

Tabla No. 42: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 2

Propiedad física	Valor promedio	Intervalo de Confianza 95%
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	0.1 \pm 0.0	-
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	3.3 \pm 0.0	3.3 - 3.4
Calibre (mm)	0.012 \pm 0.001	0.011 - 0.012
Gramaje (g/m^2)	15.08 \pm 0.02	15.06 - 15.10
Fuerza de impacto (N)	0.55 \pm 0.00	-
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	309.40 \pm 4.20	304.70 - 314.20
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	510.80 \pm 60.80	442.00 - 579.70

Tabla No. 43: Resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 3

Propiedad física	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Fuerza rasgado sentido máquina ($\pm 0.1N$)	0.1	0.1	0.1
Fuerza rasgado sentido transversal ($\pm 0.1N$)	3.7	3.6	3.7
Calibre ($\pm 0.001mm$)	0.011	0.012	0.012
Gramaje ($\pm 0.001g/m^2$)	21.90	22.40	22.12
Fuerza de impacto ($\pm 0.01N$)	0.55	0.55	0.55
Elongación a ruptura sentido máquina ($\pm 0.01\%$)	150.00	148.33	149.17
Elongación a ruptura sentido transversal ($\pm 0.01\%$)	573.33	531.67	552.50

Tabla No. 44: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 3

Propiedad física	Valor promedio	Intervalo de confianza 95%
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	0.1 \pm 0.0	-
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	3.7 \pm 0.0	3.6 - 3.7
Calibre (mm)	0.012 \pm 0.001	0.011 - 0.012
Gramaje (g/m ²)	22.14 \pm 0.25	21.85 - 22.42
Fuerza de impacto (N)	0.55 \pm 0.00	-
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	149.20 \pm 0.80	148.20 - 150.10
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	552.50 \pm 20.80	528.90 - 576.10

Tabla No. 45: Resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 4

Propiedad física	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Fuerza rasgado sentido máquina ($\pm 0.1\text{N}$)	6.9	6.9	7.0
Fuerza rasgado sentido transversal ($\pm 0.1\text{N}$)	9.7	9.9	9.7
Calibre ($\pm 0.001\text{mm}$)	0.079	0.080	0.079
Gramaje ($\pm 0.001\text{g/m}^2$)	51.20	51.18	51.01
Fuerza de impacto ($\pm 0.01\text{N}$)	3.14	3.14	3.14
Elongación a ruptura sentido máquina ($\pm 0.01\%$)	775.00	823.33	748.33
Elongación a ruptura sentido transversal ($\pm 0.01\%$)	991.67	983.33	987.50

Tabla No. 46: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 4

Propiedad física	Valor promedio	Intervalo de confianza 95%
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	6.9 \pm 0.0	6.9 - 7.0
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	9.8 \pm 0.1	9.7 - 9.9
Calibre (mm)	0.079 \pm 0.001	0.079 - 0.080
Gramaje (g/m ²)	51.13 \pm 0.10	51.01 - 51.24
Fuerza de impacto (N)	3.14 \pm 0.00	-
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	782.20 \pm 38.00	739.20 - 825.20
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	987.50 \pm 4.20	982.80 - 992.20

Tabla No. 47: Resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 5

Propiedad física	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Fuerza rasgado sentido máquina ($\pm 0.1N$)	1.3	1.4	1.4
Fuerza rasgado sentido transversal ($\pm 0.1N$)	6.1	6.3	6.2
Calibre ($\pm 0.001mm$)	0.018	0.018	0.019
Gramaje ($\pm 0.001g/m^2$)	0.21	0.21	0.28
Fuerza de impacto ($\pm 0.01N$)	1.686	1.686	1.686
Elongación a ruptura sentido máquina ($\pm 0.01\%$)	318.00	301.85	391.67
Elongación a ruptura sentido transversal ($\pm 0.01\%$)	605.00	660.00	645.25

Tabla No. 48: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 5

Propiedad física	Valor promedio	Intervalo de confianza 95%
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	1.4 \pm 0.1	1.3 - 1.4
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	6.2 \pm 0.1	6.1 - 6.3
Calibre (mm)	0.018 \pm 0.001	0.018 - 0.019
Gramaje (g/m ²)	0.23 \pm 0.04	0.18 - 0.28
Fuerza de impacto (N)	1.686 \pm 0.000	-
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	337.20 \pm 47.90	283.00 - 391.40
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	636.80 \pm 28.50	604.50 - 669.00

Tabla No. 49: Resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 6

Propiedad física	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Fuerza rasgado sentido máquina ($\pm 0.1\text{N}$)	1.4	1.4	1.4
Fuerza rasgado sentido transversal ($\pm 0.1\text{N}$)	3.3	3.4	3.3
Calibre ($\pm 0.001\text{mm}$)	0.053	0.054	0.053
Gramaje ($\pm 0.001\text{g/m}^2$)	45.29	45.29	45.30
Fuerza de impacto ($\pm 0.01\text{N}$)	3.920	3.920	3.920
Elongación a ruptura sentido máquina ($\pm 0.01\%$)	400.00	428.33	413.81
Elongación a ruptura sentido transversal ($\pm 0.01\%$)	686.67	728.33	696.58

Tabla No. 50: Promedio e intervalo de confianza al 95% de los resultados de las diferentes pruebas de calidad realizadas a la prueba 6

Propiedad física	Valor promedio	Intervalo de confianza 95%
Fuerza rasgado sentido máquina (N)	1.4 \pm 0.0	-
Fuerza rasgado sentido transversal (N)	3.3 \pm 0.0	3.3 - 3.4
Calibre (mm)	$\frac{0.053}{3} \pm 0.0005$	0.0530 - 0.0536
Gramaje (g/m ²)	45.30 \pm 0.01	45.29 - 45.30
Fuerza de impacto (N)	3.920 \pm 0.000	-
Elongación a ruptura sentido máquina (%)	414.0 \pm 14.2	398.0 - 430.1
Elongación a ruptura sentido transversal (%)	703.9 \pm 21.8	679.2 - 728.5

I. Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de las películas de polietileno analizadas.

Se destaca que las gráficas y sus respectivas regresiones logarítmicas y exponenciales se realizaron utilizando la herramienta de Microsoft Excel® 2010

Tabla No. 51: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 1

Tiempo (h)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio coeficiente de fricción dinámico
0	0.20	0.21	0.21	0.21 ± 0.01
1	0.19	0.20	0.19	0.19 ± 0.01
2	0.19	0.19	0.19	0.19 ± 0.00
4	0.18	0.19	0.18	0.18 ± 0.01
6	0.17	0.19	0.19	0.18 ± 0.01
10	0.18	0.18	0.18	0.18 ± 0.00
20	0.18	0.18	0.17	0.18 ± 0.01
21	0.18	0.17	0.17	0.17 ± 0.01
22	0.17	0.17	0.17	0.17 ± 0.00
48	0.17	0.17	0.17	0.17 ± 0.00

Gráfica No. 8: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 1

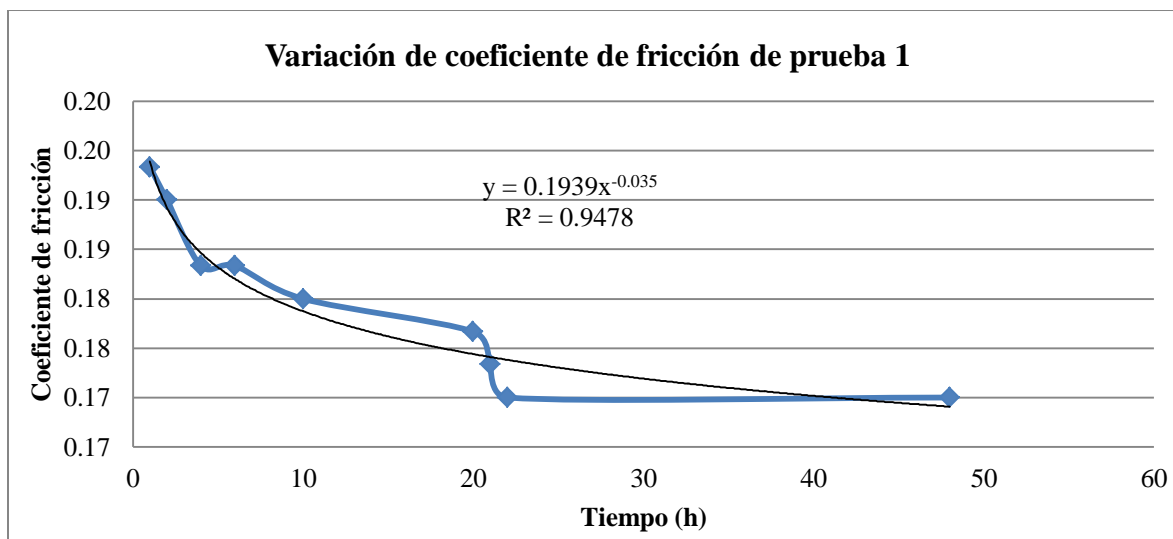


Tabla No. 52: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 2

Tiempo (h)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio coeficiente de fricción dinámico
0	0.24	0.25	0.25	0.25 ± 0.01
1	0.24	0.24	0.25	0.24 ± 0.01
2	0.22	0.21	0.22	0.22 ± 0.01
4	0.19	0.20	0.19	0.19 ± 0.01
6	0.18	0.17	0.18	0.18 ± 0.01
10	0.16	0.15	0.16	0.16 ± 0.01
20	0.15	0.15	0.15	0.15 ± 0.00
21	0.15	0.14	0.14	0.14 ± 0.01
22	0.14	0.14	0.14	0.14 ± 0.00
48	0.14	0.14	0.14	0.14 ± 0.00

Gráfica No. 9: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 2

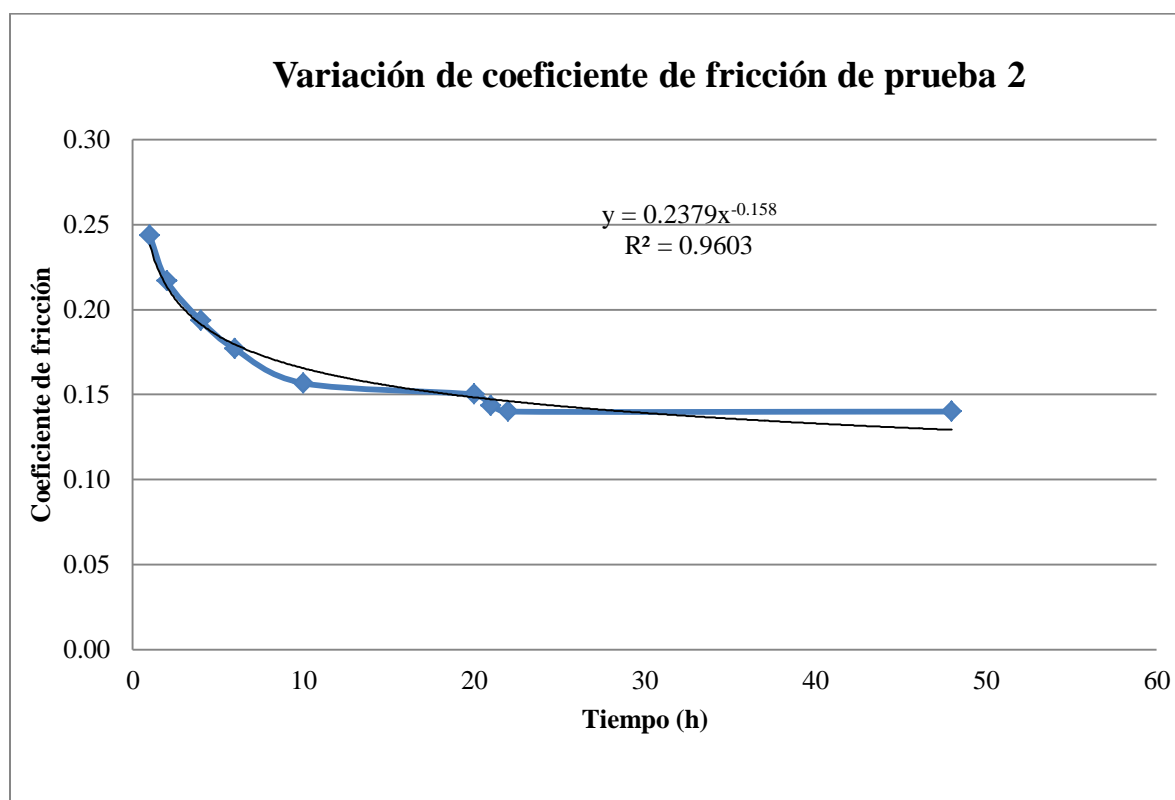


Tabla No. 53: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 3

Tiempo (h)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio coeficiente de fricción dinámico
0	0.21	0.21	0.21	0.21 ± 0.00
1	0.20	0.20	0.19	0.20 ± 0.01
2	0.19	0.19	0.19	0.19 ± 0.00
4	0.19	0.19	0.18	0.19 ± 0.01
6	0.18	0.18	0.17	0.18 ± 0.01
10	0.17	0.17	0.18	0.17 ± 0.01
20	0.17	0.16	0.17	0.17 ± 0.01
21	0.16	0.15	0.15	0.15 ± 0.01
22	0.15	0.15	0.15	0.15 ± 0.00
48	0.15	0.15	0.15	0.15 ± 0.00

Gráfica No. 10: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 3

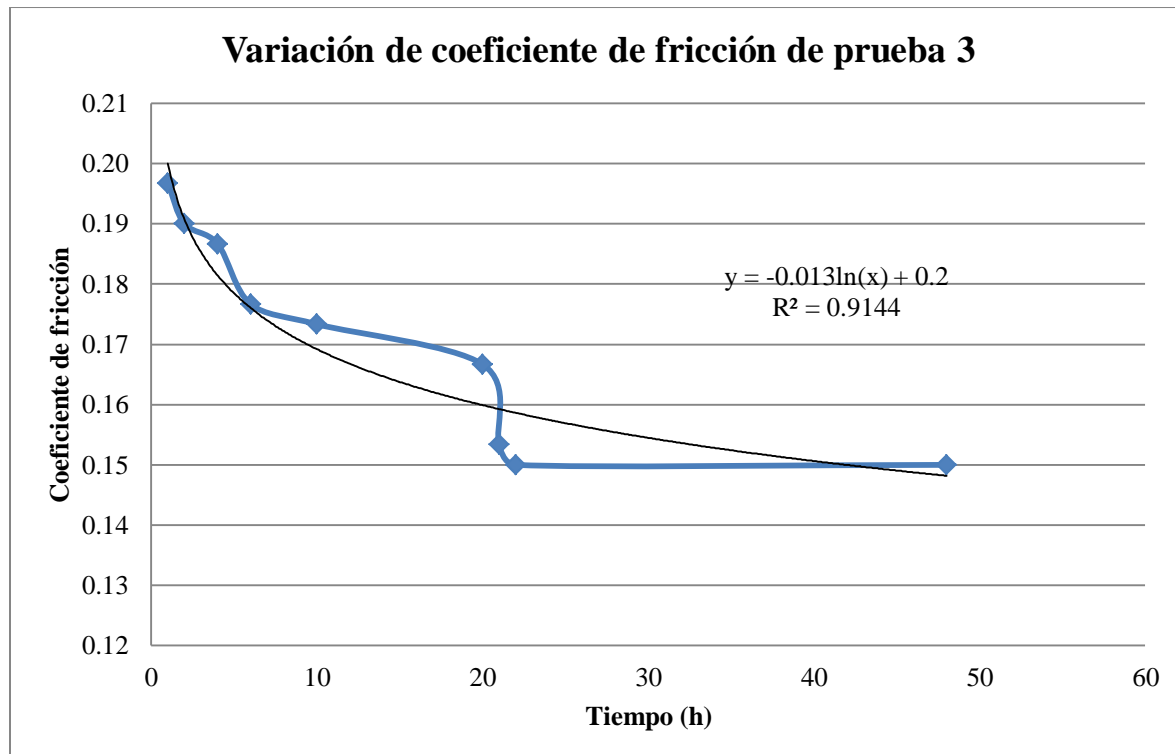


Tabla No. 54: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 4

Tiempo (h)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio coeficiente de fricción dinámico
0	0.20	0.21	0.21	0.21 ± 0.01
1	0.20	0.19	0.19	0.19 ± 0.01
2	0.18	0.19	0.19	0.19 ± 0.01
4	0.15	0.16	0.15	0.15 ± 0.01
6	0.14	0.14	0.15	0.14 ± 0.01
10	0.13	0.13	0.14	0.13 ± 0.01
20	0.11	0.12	0.11	0.11 ± 0.01
21	0.10	0.11	0.10	0.10 ± 0.01
22	0.10	0.10	0.10	0.10 ± 0.00
48	0.10	0.10	0.10	0.10 ± 0.00

Gráfica No. 11: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 4

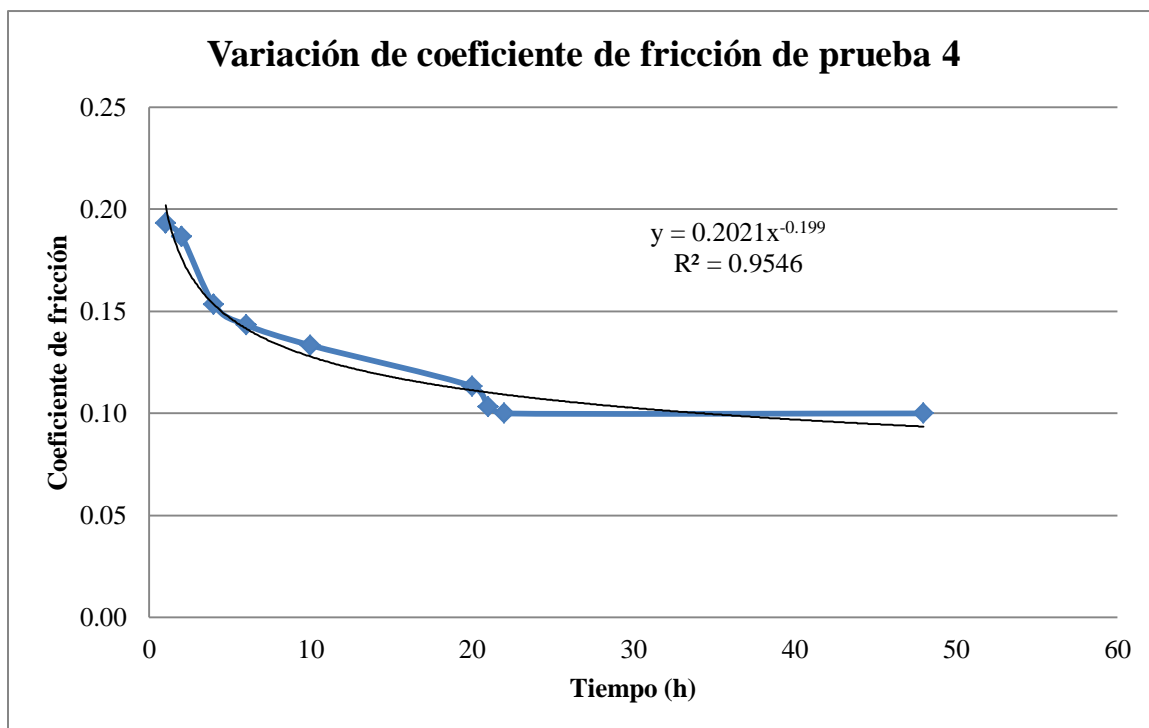


Tabla No. 55: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 5

Tiempo (h)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio coeficiente de fricción dinámico
0	0.31	0.32	0.31	0.31 ± 0.01
1	0.30	0.31	0.30	0.30 ± 0.01
2	0.29	0.30	0.28	0.29 ± 0.01
4	0.28	0.28	0.29	0.28 ± 0.01
6	0.28	0.28	0.28	0.28 ± 0.00
10	0.27	0.27	0.28	0.27 ± 0.01
20	0.27	0.26	0.27	0.27 ± 0.01
21	0.26	0.25	0.26	0.26 ± 0.01
22	0.25	0.24	0.24	0.24 ± 0.01
48	0.24	0.24	0.24	0.24 ± 0.00

Gráfica No. 12: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 5

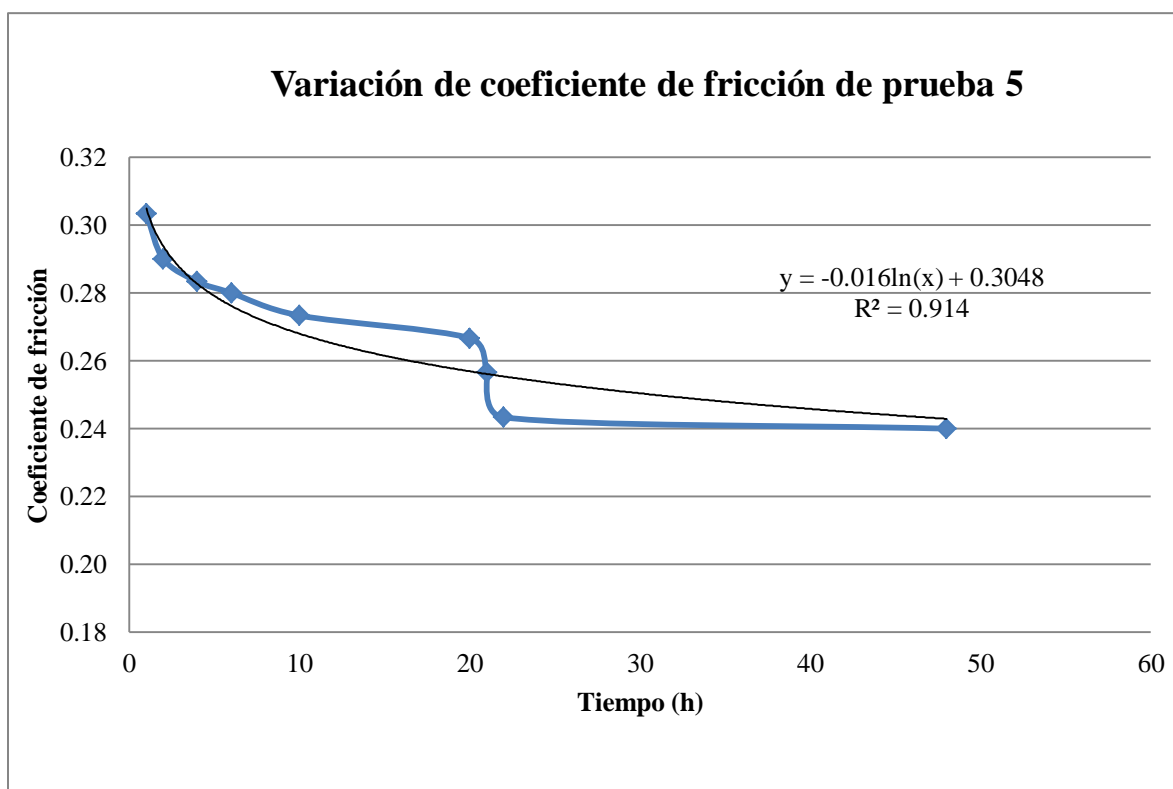
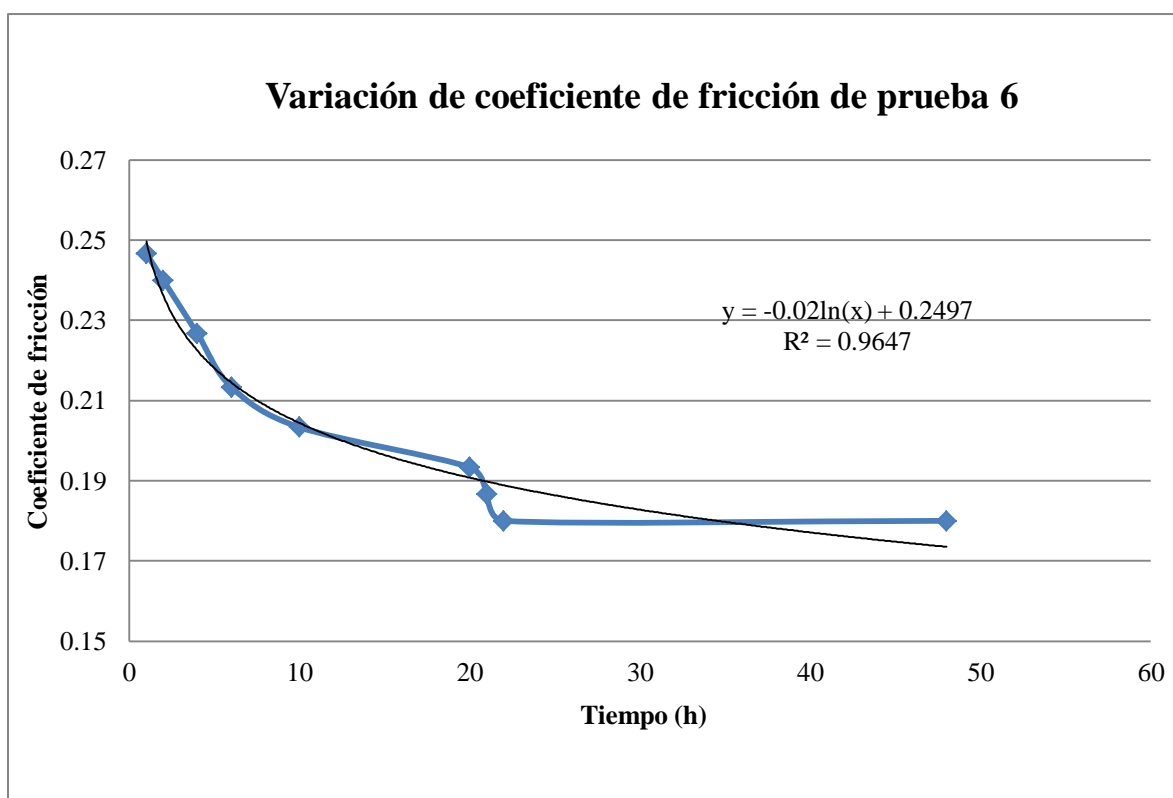


Tabla No. 56: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 6

Tiempo (h)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio coeficiente de fricción dinámico
0	0.27	0.27	0.26	0.27 ± 0.01
1	0.25	0.24	0.25	0.25 ± 0.01
2	0.24	0.24	0.24	0.24 ± 0.00
4	0.23	0.22	0.23	0.23 ± 0.01
6	0.22	0.21	0.21	0.21 ± 0.01
10	0.20	0.21	0.20	0.20 ± 0.01
20	0.19	0.20	0.19	0.19 ± 0.01
21	0.18	0.19	0.19	0.19 ± 0.01
22	0.18	0.18	0.18	0.18 ± 0.00
48	0.18	0.18	0.18	0.18 ± 0.00

Gráfica No. 13: Variación del coeficiente de fricción dinámico con respecto al tiempo de la película de polietileno de la prueba 6



J. Situación actual de la línea de dosificado de resinas en la empresa productora de empaques flexibles.

Actualmente en la planta productora de empaques flexibles cuenta solamente con una mezcladora de tolva vertical (mezcladora de tornillo vertical) de marca Azteca®. Esta línea de dosificado es completamente manual y es realizada por operarios. Los operarios al momento de que reciben una orden de elaboración de una mezcla proceden a determinar la cantidad de cada resina de la mezcla a preparar. Luego proceden a juntar todos los materiales necesarios y los colocan a la par de la mezcladora Azteca®. Luego proceden a accionar la mezcladora y empiezan a verter cada resina en la mezcladora. Al finalizar de verter cada material le dan un tiempo de mezclado de cinco minutos y proceden a verter la mezcla creada en un contenedor el cual es trasladado a las extrusoras para ser procesado. A continuación se muestra una tabla con el tiempo estándar de realización de una mezcla.

Tabla No. 57: Actividades y tiempos de realizar una mezcla en la empresa productora de empaques flexibles.

Actividad	Tiempo (min)
Limpieza mezcladora	10
Verificación de requerimiento de mezcla	1
Calculo de kilogramos a verter de cada material	3
Colección y colocación de material en área de mezcladoras	25
Encender mezcladora y verter materiales	10
Tiempo de mezclado de material	5
Recopilación de sacos utilizados y preparación de recipiente contenedor	
Descarga de mezcla en contenedor	3
Recolectar el material que se ha caído en la parte inferior de la máquina y depositarla en mezcla	3
Cerrado de lote	2
Colocación en área de despacho	3
Tiempo total (min)	65

K. Diseño propuesto de la línea de dosificación de resinas.

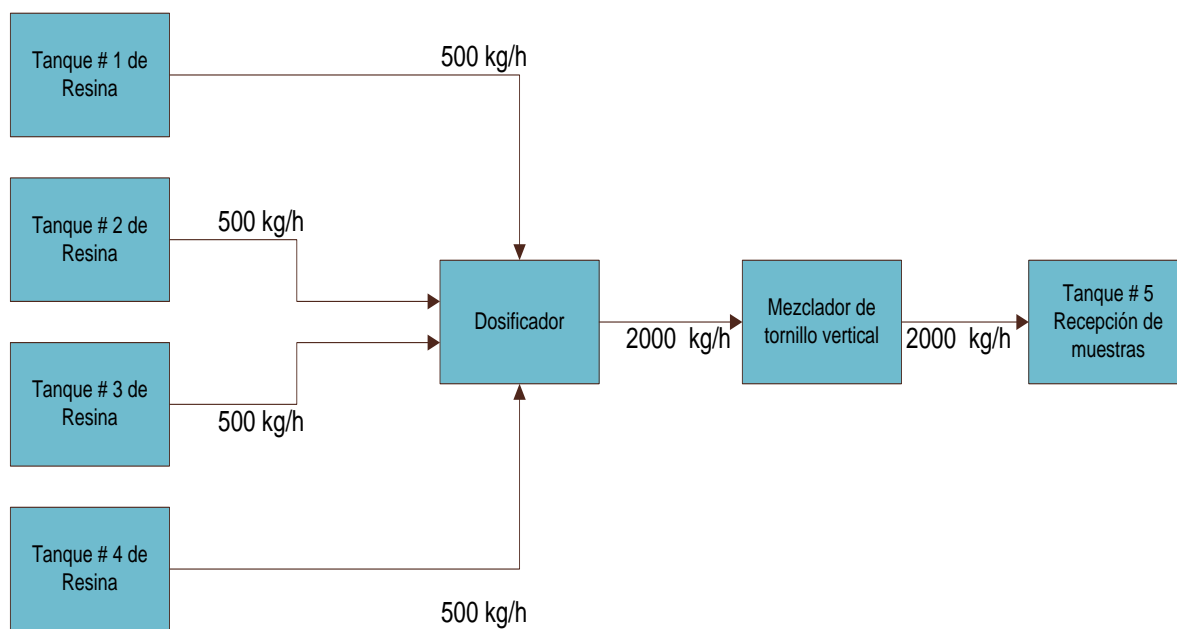
1. Diagrama de bloques

Figura No. 29: Diagrama de procesos de línea de dosificado y mezclado de resinas



2. Balance de masa

Figura No. 30: Balance de masa de línea de dosificado y mezclado de resinas



3. Diagrama de flujo

Figura No. 31: Diagrama de flujo de línea de dosificado y mezclado de resinas

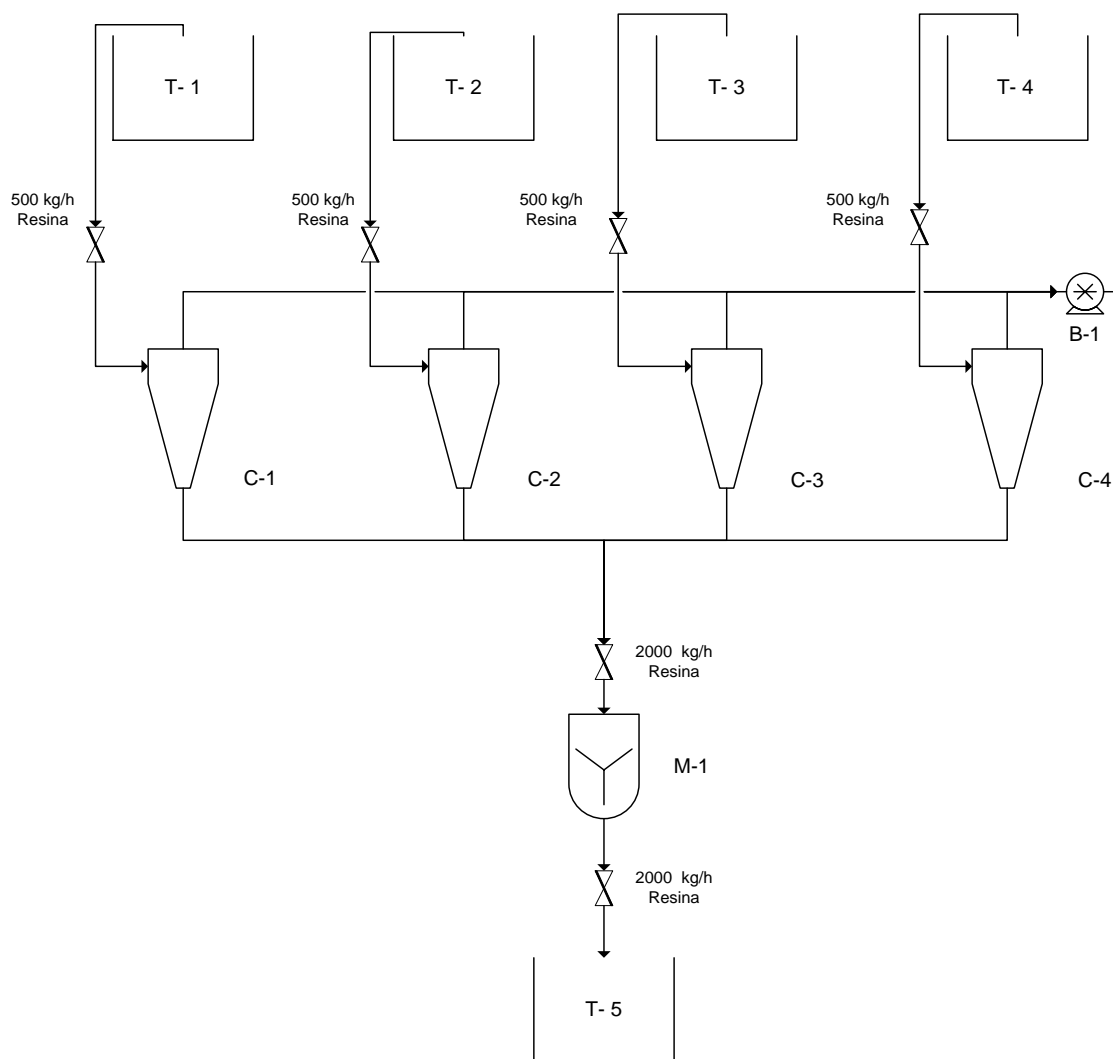


Tabla No. 58: Descripción de la nomenclatura utilizada en el diagrama de flujo del diseño de línea de mezclado y dosificado.

Nomenclatura	Descripción
T-1	Tanque de resina A
T-2	Tanque de resina B
T-3	Tanque de resina C
T-4	Tanque de resina D
T-5	Tanque de recepción de mezcla terminada
C-1	Ciclón de resina A
C-2	Ciclón de resina B
C-3	Ciclón de resina C
C-4	Ciclón de resina D
B-1	Bomba de vacío
M-1	Mezclador de tornillo vertical

4. Listado de equipo y diseño de equipo

a. Diseño de bomba de vacío y ciclones. Esta línea de dosificado se va a utilizar para trabajar por lotes de 300 a 600 kilogramos. Para el diseño de la bomba con que se va a trabajar se utilizaron los nomogramas de diseño de bombas de vacío que se encuentran en la séptima edición del *Manual de Ingenieros Químicos de Perry* en el tomo número 21 páginas 22 a 27.

De estos nomogramas fue necesaria contar con la siguiente información para poder determinar la potencia de la bomba a utilizar en el sistema neumático a diseñar.

- Diámetro de tubería: se seleccionó una tubería de 63.5 mm de diámetro.
- Flujo másico de 2000 kg/h de la resina que se va a manejar.
- Densidad promedio de la resina de 940 kg/m³
- Distancia a transportar de 3 metros.

De estos nomogramas se obtuvo una potencia de 2268.42 W para la bomba a utilizar para operar la línea de dosificado y mezclado. La cual con un factor de sobredimensionamiento de 10% se obtiene que es necesaria una bomba de 2500 W.

Luego se procede a determinar las dimensiones que tendrán los 4 ciclones a utilizar mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{d_2}{d_1} = \left[\left(\frac{D_{c2}}{D_{c1}} \right)^3 * \frac{Q_1}{Q_2} * \frac{\Delta\rho_1}{\Delta\rho_2} * \frac{\mu_2}{\mu_1} \right]^{1/2}$$

Ecuación 5

En donde: d_1 = es el diámetro de partícula separada a condiciones estándar. d_2 = Diámetro de partícula que se desea separar. D_{c1} = Diámetro de un ciclón estándar (203 mm). D_{c2} = diámetro del ciclón a diseñar. Q_1 = flujo estándar del material a separar ($223\text{m}^3/\text{h}$). Q_2 = Flujo propuesto para el diseño (m^3/h). $\Delta\rho_1$ = Diferencia de densidades del sólido y fluido a condiciones estándar (2000 kg/ m^3). $\Delta\rho_2$ = Diferencia de densidades del diseño propuesto (kg/ m^3). μ_2 = Viscosidad del fluido utilizado para condiciones estándar (aire a 20°C y presión atmosférica = 0.018 mN/sm^2). μ_1 = Viscosidad del fluido a utilizar para el diseño.

Para determinar el d_1 se utiliza la figura 10.45 en la página 596 del libro de “*Chemican Engineering Desing Principles*” de Gabi Towler y Ray Sinnot. Para seleccionar este diámetro de partícula se utiliza la eficiencia de separación que se desea alcanzar en el diseño la cual sería de 99%. Para esta eficiencia de separación se obtiene un diámetro de partícula de $50\text{ }\mu\text{m}$.

También se determina Q_2 = Flujo propuesto para el diseño (m^3/h) y $\Delta\rho_2$ = Diferencia de densidades del diseño propuesto (kg/ m^3).

$$Q_2 = \frac{500\text{kg}}{h} * \frac{\text{m}^3}{960\text{ kg}} = 0.5208\text{ m}^3/\text{h}$$

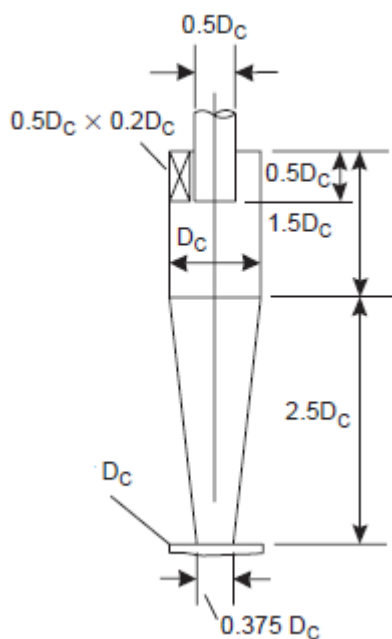
$$\Delta\rho_2 = (960 - 1.2) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 958.8\text{ kg/m}^3$$

Luego se procede a determinar el D_{c2} = diámetro del ciclón a diseñar al sustituir las condiciones en que se va a trabajar.

$$\frac{4000\mu\text{m}}{50\mu\text{m}} = \left[\left(\frac{D_{c2}}{203\text{mm}} \right)^3 * \frac{223\frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0.5208\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} * \frac{2000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{958.8\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} * \frac{0.018\frac{\text{mN}}{\text{sm}^2}}{0.018\frac{\text{mN}}{\text{sm}^2}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

La cual al despejar para D_{c2} se obtiene un valor de 391.36mm. El cual con un factor de sobredimensionamiento de 10% se obtiene un diámetro de ciclón de 430.50mm para lograr la separación deseada. Con D_c de 430.50 mm se procede a determinar las dimensiones de todas las partes del ciclón, lo cual se observa en la siguiente figura.

Figura No. 32: Dimensiones de los cuatro ciclones a utilizar para el diseño de la línea de dosificado y mezclado de resinas.



Con las especificaciones de diseño determinadas para la bomba de vacío y las dimensiones necesarias de los ciclones de la línea de dosificado y mezcla se utilizaron para seleccionar un dosificador de marca Doteco ®. Las especificaciones de este equipo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla No. 59: Especificaciones técnicas de dosificador de marca Doteco ®

Marca	Doteco ®
Modelo	Blendo
Capacidad de mezclado	2000 kg/h
Tipo de dosificador	Sistema gravimétrico
País de procedencia	Italia
Ingredientes de mezclado	4

b. Diseño de tanques. Luego se procede a diseñar el tamaño de los tanques los cuales se requiere que tengan una capacidad de 150 kg de la resina a almacenar. Se determina el volumen que debe de tener el tanque a partir de la densidad promedio de la resina a almacenar.

$$Volumen\ Tanque = 150\ kg * \frac{1\ m^3}{960\ kg} = 0.1563\ m^3$$

Ecuación 6

Se desea que el tanque tenga forma de cilindro con una relación de altura dos veces más grande que el diámetro del tanque ($h = 2d$). A partir de esta información se procede a determinar las dimensiones del tanque.

$$Volumen\ Tanque = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 h = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 2d$$

Ecuación 7

En donde d = diámetro del tanque (m) y h = altura. Luego se procede a determinar el diámetro de los tanques al sustituir valores.

$$0.1563\ m^3 = \pi \frac{d^3}{2}$$

$$d = 0.4633\ m$$

Con la relación de diámetro del tanque y altura se determina la respectiva altura del tanque.

$$h = 2d = 0.4633 * 2 = 0.9268\ m$$

Con un factor de sobredimensionamiento de 10% se determinan las dimensiones de cada uno de los cuatro tanques. Se destaca que igual forma se determinó las dimensiones del tanque de almacenamiento de mezclas utilizando un volumen de 0.625 m^3 .

Tabla No. 60: Dimensiones de los tanques utilizados para la línea de dosificado y mezcla de resinas.

Descripción	Altura (m)	Diámetro (m)
Tanque de resina A	1.0	0.50
Tanque de resina B	1.0	0.50
Tanque de resina C	1.0	0.50
Tanque de resina D	1.0	0.50
Tanque de recepción de mezcla terminada	1.6	0.80

c. Mezclador de tornillo vertical. Para el mezclador de tornillo vertical necesario para la línea de dosificado se va utilizar un mezclador de marca Azteca ® el cual es utilizado en la actual área de mezclado de la planta productora de empaques flexibles. Las especificaciones de dicho mezclador se muestran a continuación.

Tabla No. 61: Especificaciones técnicas de mezclador de tornillo vertical marca Azteca ®

Marca	Azteca ®
País de procedencia	México
Potencia efectiva	3 HP
Capacidad nominal	500 kg
Velocidad de tornillo	600 rpm
Altura total	283 cm
Ancho total	110 cm
Peso	195 kg

L. Análisis de error

Se determinó la media aritmética, desviación estándar e intervalo de confianza al 95 % de los resultados de cada análisis de calidad realizado a las películas de polietileno. Para ello se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x} = \frac{\sum Xi}{N} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$IC = \bar{x} \pm \frac{Z\sigma}{\sqrt{N}} \quad \text{Ecuación 10}$$

Como ejemplo del cálculo se utilizó la información de las pruebas de calidad de calibre de la prueba 6.

Tabla No. 62: Resultados de la pruebas de calidad de gramaje realizadas a la prueba 6

Propiedad física	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Calibre (± 0.001 mm)	0.053	0.054	0.053

- Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum Xi}{N} = \frac{0.053 + 0.054 + 0.053}{3} = 0.0533$$

- Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{1.11 \times 10^{-9} + 4.44 \times 10^{-7} + 1.11 \times 10^{-9}}{3 - 1}} = 0.0005$$

- Intervalo de confianza al 95%

$$IC = \bar{x} \pm \frac{Z\sigma}{\sqrt{N}} = 0.0533 \pm \frac{0.95 * 0.0005}{\sqrt{2}} = 0.0533 \pm 0.0003$$

Tabla No. 63: Resultados del análisis estadístico de la prueba calidad de gramaje realizadas a la prueba 6

Propiedad física	Valor promedio	Intervalo de confianza 95%
Calibre (mm)	0.0533 \pm 0.0005	0.0530 - 0.0536

Los cálculos anteriores fueron realizados por medio de Microsoft Excel ® 2010 y se utilizaron las mismas fórmulas para calcular los demás promedios, desviaciones estándar e intervalos de confianza al 95%.

M. Análisis económico

1. Costo de elaboración de aditivo de control de coeficiente de fricción. Para la determinación del costo de elaboración del aditivo de control de coeficiente de fricción se calculó produciendo un lote de 500 kilogramos de aditivo.

Para elaborar el aditivo se toma en cuenta el material de purga química que se utiliza para limpiar la máquina para granular. Para este lote se utilizan 250 kilogramos de material de purga química.

Tabla No. 64: Costos de material para la elaboración de un lote de 500 kilogramos de aditivo de control de coeficiente de fricción

Cantidad necesaria (kg)	Material	Costo (Q/kg)	Costo total (Q)
474.50	LB100N0	Q10.92	Q5,181.54
25.50	SLIP98%	Q27.70	Q706.35
300.00	Purga química	Q29.69	Q8,907.00
Total (Q)			Q14,794.89

Tabla No. 65: Costos de operación para la elaboración de un lote de 500 kilogramos de aditivo de control de coeficiente de fricción

Operación	Costo (Q/kg)	Cantidad procesada (kg)	Costo total (Q)
Mezclado de materia prima	Q1.50	500	750.00
Producción de aditivo en equipo granulador	Q2.20	800	1,760.00
Total (Q)			2,510.00

Tabla No. 66: Costo total para la elaboración de un lote de 500 kilogramos de aditivo de control de coeficiente de fricción

Costos de materiales (Q)	Costos de operación (Q)	Costo total (Q)	Costo unitario del aditivo (Q/kg)
Q14,794.89	Q2,510.00	Q17,304.89	Q34.61

Tabla No. 67: Costo unitario del aditivo SLIP5% comprado directamente sin necesidad de procesarlo

Material	Costo unitario (Q/kg)
SLIP5%	Q26.80

Ya que se tiene un menor costo unitario del aditivo SLIP5% que se compra directamente del proveedor sin necesidad de fabricarlo, se determina en base a este el rendimiento del aditivo. Para este cálculo se utiliza una aplicación promedio de 1.5% de SLIP5% en las fórmulas que lo necesiten.

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} &= 1 \text{ kg de SLIP5\%} * \frac{1 \text{ kg película plástica}}{0.015 \text{ kg de SLIP5\%}} \\ &= 66.67 \text{ kg de película plástica} \end{aligned}$$

Con este valor se tiene que con un kilogramo de aditivo SLIP5% se pueden producir 66.67 kilogramo de película de polietileno con 1.5% de aditivo de control de coeficiente de fricción.

2. Costo de línea de dosificación de resinas. Cabe resaltar que para la determinación de los costos de la línea de dosificado no es necesario determinar el costo de los cuatro contenedores de las resinas a dosificar, la mezcladora Azteca® y el contenedor de mezcla terminada. Es por dicho motivo que el costo de la línea de dosificado se reduce al costo del dosificador Doteco® con una capacidad de 2000 kg/h y su respectiva instalación.

Para determinar el costo del dosificador Doteco® se utiliza el método exponencial de estimación de costos, con este método se utiliza el precio de un dosificador de marca

Doteco®, con una capacidad de 600 kg/h y un sistema neumático de carga, que es de Q446,645.33 puesto en la planta de empaques flexibles en Guatemala.

$$\frac{Ca}{Cb} = \left(\frac{qa}{qb}\right)^n$$

Ecuación 11

En donde: Ca es el costo del equipo con capacidad q_a , Cb es el costo del equipo con capacidad q_b y n es el exponente característico del equipo que se quiere obtener el costo.

Con este método se utiliza un factor exponencial de 0.56 el cual es propuesto para sistemas de vacío por la tabla 9-50 del Manual de Ingenieros Químicos de Perry en el tomo número 9 página 69.

$$Ca = Cb \left(\frac{qa}{qb}\right)^n = 446,645.33 * \left(\frac{2000 \frac{kg}{h}}{600 \frac{kg}{h}}\right)^{0.56} = 876,546.38$$

Luego para determinar los costos de instalación del equipo y la instalación eléctrica se utilizó la tabla 9-51 del Manual de Ingenieros Químicos de Perry en el tomo número 9 página 70.

Tabla No. 68: Factores utilizados para determinar costos de instalación del dosificador Doteco®

Tipo de instalación	Porcentaje del costo del equipo (%)
Instalación de equipo	19 %
Instalación eléctrica del equipo.	13 %

Luego ya es posible a determinar el costo total de la línea de dosificado y mezclado.

Tabla No. 69: Costo de la línea de dosificado y mezclado de resinas.

Detalle de gasto	Valor (Q)
Costo dosificador de 2000 kg/h con sistema neumático de carga	Q876,546.38
Costo accesorio control remoto	Q10,000.00
Costo de instalación de equipo	Q166,543.81
Costo de instalación eléctrica	Q113,951.03
Costo total	Q1,167,041.22

Tabla No. 70: Flujo de caja a diez años de la inversión de la línea de dosificado.

Descripción/Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos por aumento de mezclas producidas	Q0.00	Q200,000.00	Q200,000.00	Q200,000.00	Q200,000.00	Q200,000.00	Q200,000.00	Q200,000.00	Q200,000.00	Q200,000.00	Q200,000.00
Ahorro Salario de 2 operadorres	Q0.00	Q143,080.00	Q71,540.00	Q71,540.00	Q71,540.00	Q71,540.00	Q71,540.00	Q71,540.00	Q71,540.00	Q71,540.00	Q71,540.00
Ahorro en desperdicio por mezclas malas	Q0.00	Q184,800.00	Q184,800.00	Q184,800.00	Q184,800.00	Q184,800.00	Q184,800.00	Q184,800.00	Q184,800.00	Q184,800.00	Q184,800.00
Depreciación 10 años	Q0.00	-Q116,704.12	-Q116,704.12	-Q116,704.12	-Q116,704.12	-Q116,704.12	-Q116,704.12	-Q116,704.12	-Q116,704.12	-Q116,704.12	-Q116,704.12
Total sin Interes	Q0.00	Q411,175.88	Q339,635.88	Q339,635.88	Q339,635.88	Q339,635.88	Q339,635.88	Q339,635.88	Q339,635.88	Q339,635.88	Q339,635.88
Impuesto 31%	Q0.00	-Q127,464.52	-Q105,287.12	-Q105,287.12	-Q105,287.12	-Q105,287.12	-Q105,287.12	-Q105,287.12	-Q105,287.12	-Q105,287.12	-Q105,287.12
Total con interes	Q0.00	Q283,711.36	Q234,348.76	Q234,348.76	Q234,348.76	Q234,348.76	Q234,348.76	Q234,348.76	Q234,348.76	Q234,348.76	Q234,348.76
Depreciación	Q0.00	Q116,704.12	Q116,704.12	Q116,704.12	Q116,704.12	Q116,704.12	Q116,704.12	Q116,704.12	Q116,704.12	Q116,704.12	Q116,704.12
Inversión	-Q1,167,041.22										
Total	-Q1,167,041.22	Q400,415.48	Q351,052.88	Q351,052.88	Q351,052.88	Q351,052.88	Q351,052.88	Q351,052.88	Q351,052.88	Q351,052.88	Q351,052.88
Valor Actual	-Q1,167,041.22	Q357,513.82	Q279,857.20	Q249,872.50	Q223,100.45	Q199,196.83	Q177,854.31	Q158,798.49	Q141,784.37	Q126,593.19	Q113,029.63
Acumulado	-Q1,167,041.22	-Q809,527.40	-Q529,670.20	-Q279,797.69	-Q56,697.24	Q142,499.59	Q320,353.90	Q479,152.40	Q620,936.77	Q747,529.95	Q860,559.58

De dicho flujo de caja de la inversión para realizar la línea de dosificado se pueden obtener los siguientes datos:

Tabla No. 71: Flujo de caja a diez años de la inversión de la línea de dosificado.

TIR	0.29
VAN	Q768,356.77
TIEMPO RECUPERACIÓN	5 AÑOS

N. Datos técnicos de equipo utilizado

Tabla No. 72: Especificaciones técnicas de extrusora de tres capas Luigi Bandera® serie 220449-PL


Número de identificación en empresa productora de empaques	23
Marca	Luigi Bandera®
País de origen	Italia
Año	2003
Serie	220449-PL
Tipo	Co-extrusora 3 capas
Molde	250 y 400 mm
Motor	1770 rpm
Ancho útil	2184 mm
Imagen equipo	

Tabla No. 73: Especificaciones técnicas de extrusora de tres capas Luigi Bandera® serie 2505931-TE

Número de identificación en empresa productora de empaques	26
Marca	Luigi Bandera®
País de origen	Italia
Año	2006
Serie	2505931 TE
Tipo	Co-extrusora 3 capas
Molde	450 y 300mm
Motor	1770 rpm
Ancho útil	2388 mm
Imagen equipo	

Tabla No. 74: Especificaciones técnicas de extrusora monocapa Ibañez S.L. ® serie DO-035


Número de identificación en empresa productora de empaques	18
Marca	Ibañez S.L. ®
País de origen	España
Año	1992
Serie	DO035
Tipo	Extrusora Monocapa
Molde	160 mm
Motor	1765 rpm
Ancho útil	1067 mm
Imagen equipo	

Tabla No. 75: Especificaciones técnicas de extrusora monocapa Mateu & Sole S.A®


Número de identificación en empresa productora de empaques	21
Marca	Mateu & Sole S.A®
País de origen	España
Año	N.E
Serie	BVC 50B No. 100
Tipo	Extrusora Monocapa
Molde	140 mm
Motor	1770 rpm
Ancho útil	762 mm
Imagen equipo	

Tabla No. 76: Especificaciones técnicas de extrusora monocapa Ibañez S.L. ® serie CR3TA-1700


Número de identificación en empresa productora de empaques	3
Marca	Ibañez S.L. ®
País de origen	España
Año	1998
Serie	CR3TA-1700
Tipo	Extrusora Monocapa
Molde	200 mm
Motor	1770 rpm
Ancho útil	1675 mm
Imagen equipo	

Tabla No. 77: Especificaciones técnicas de máquina universal utilizada para determinar la elongación a ruptura de las películas analizadas


Marca	Instron®
Modelo	3345
Serie	56618
País de origen	Estados Unidos
Imagen equipo	

Tabla No. 78: Especificaciones técnicas de equipo utilizado para determinar fuerza de rasgado de las películas analizadas

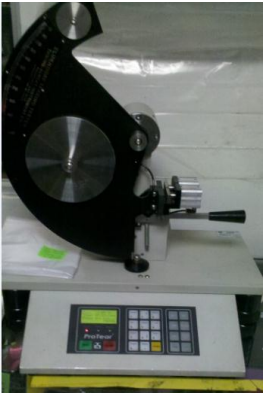
Marca	Thwing-Albert Instrument Company®
Modelo	60-2005
Capacidad	200, 400, 800, 1600, 3200 & 6400 gms
Peso	15.2 kg
Dimensiones	483 x 398 x 578 mm
Precisión	0.2% de la capacidad del pendulo
País de origen	Estados Unidos
Imagen equipo	

Tabla No. 79: Especificaciones técnicas de equipo utilizado para medición de coeficiente de fricción dinámico de las películas analizadas


Marca	Sistemas Normalizados Computarizados®
Modelo	CF-5
Dimensiones	500 x 250 x 300 mm
Velocidad Ensayo	150mm/min
País de origen	Argentina
Imagen equipo	

Tabla No. 80: Especificaciones técnicas de equipo utilizado para determinar el calibre de las películas analizadas


Marca	Mitutoyo®
Serie	547-316S
País de origen	Estados Unidos
Rango	0-10 mm
Resolución	0.01 mm
Imagen equipo	

Tabla No. 81: Especificaciones técnicas de balanza analítica utilizada en la determinación del gramaje de las películas analizadas


Marca	Ohaus®
Serie	MB45
País de origen	Estados Unidos
Resolución	0.001 g
Dimensiones	36 x 19 x 15.2 cm
Capacidad	45 g
Imagen equipo	

Tabla No. 82: Especificaciones técnicas de balanza analítica utilizada en la determinación de la fuerza de impacto de las películas analizadas


Marca	Ohaus®
Modelo	Scout Pro SP2001
País de origen	Estados Unidos
Resolución	0.1 g
Dimensiones	21.0 x 19.2 x 5.4 cm
Capacidad	2000 g
Peso neto	0.8 kg
Imagen equipo	

Tabla No. 83: Especificaciones técnicas del baño térmico utilizado en el análisis de las retracciones de las películas analizadas.



Marca	Cole Parmer®
Modelo	Polystat ® EW-12107-00
País de origen	Estados Unidos
Estabilidad térmica	$\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
Capacidad	6 L
Voltaje	120 VAC
Control de temperatura	Análogo
Imagen equipo	

Tabla No. 84: Especificaciones técnicas de la granuladora de plástico

Marca	Erema®
Modelo	Erema TVEplus
País de origen	Australia
Año	2005
Capacidad	225 kg/h
Motor	1780 rpm
Imagen equipo	

O. Fichas técnicas de resinas, aditivos y pigmentos utilizados en las pruebas

Figura No. 33: Ficha técnica de la resina Certene®-222C codificada como LD200M7

Technical Data Sheet

LDF-222C Low Density Polyethylene

LDF-222C is a certified prime resin specially designed for production of high clarity Blown films for packaging of articles requiring good opticals such as baked products, sandwich bags, light duty produce bags, toilet paper and textiles. LDF-222C features easy processability, and optimal balance of film strength, stiffness, good openability and excellent sealability. Maximum recommended film drawdown is 1.0 mil. LDF-222C contains medium slip and medium antiblock. LDF-222C complies with FDA regulation 21CFR 177.1520 (c) 2.1 + 2.2 and most International regulations concerning the use of Polyethylene in contact with food articles.

Typical Properties

PROPERTIES*	ASTM TEST	UNIT ENGLISH (METRIC)	NOMINAL VALUES
RESIN			
Melt Index	D 1238E	gr./10 min	2.0
Density	D 1505	gr./cm ³	0.922
FILM**			
Haze	D 1003	%	5.5
Gloss	D 2457	@ 45°	75
Tensile Modulus ¹	D 882	psi x 1000 (MPa)	34/38 ² (234/248)
Yield	D 882	psi x 1000 (MPa)	1.5/1.6 ² (10/11)
Break	D 882	psi x 1000 (MPa)	3.8/2.2 ² (26/15)
Ult. Elongation	D 882	%	175/550 ²
Elmendorf Tear	D 1922	gr.	540/160 ²
Dart Impact, F50	D 1709A	gr.	85

TYPICAL VALUE OF PROPERTIES NOT TO BE CONSTRUED AS SPECIFICATIONS.

* - Test specimens from compression molded plaque according to ASTM D 1928 Procedure C.

** - 1.25 mils (31µ) film, melt temperature 350-370°F (175-185°C), blow-up-ratio 2.25:1.

1 - 1% secant.

2 - MD/TD.

THIS PRODUCT DATA SHEET EFFECTIVE JANUARY 2001 SUPERSEDES ALL DATA PREVIOUSLY PUBLISHED

The technical information, suggested uses and applications presented are made without charge and are believed to be reliable; however, H. Muehlstein & Co., Inc. disclaims responsibility for results of use of this information. H. MUEHLSTEIN & CO. INC. MAKES NO WARRANTIES, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, CONCERNING OUR MATERIALS, INCLUDING ANY WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR USE. H. Muehlstein & Co. expressly disclaims any statements or suggestions as being inducement. All users should rely upon their own test in determining suitability.



The Global Leader in Polymer Distribution



Figura No. 34: Ficha técnica de la resina Petrothene®-345-196 codificada como LD200M7.5

EQUISTAR
A Lyondell Company

Petrothene®

NA345

Low Density Polyethylene

Film Extrusion Grade

Melt Index 1.8 Density 0.921

Applications

PETROTHENE NA345 is a series of homopolymer resins that combine premium clarity with strength and stiffness. In addition, NA345 exhibits good impact strength on both flat and creased film. NA345 is recommended for textile packaging, light produce, bread bags and other thin packaging films enhanced by clarity and sparkle. The optical values of NA345 actually improve with decreases in film gauge and are maintained at wide die gap settings. This fact leads to important cost savings. Film can be drawn down to a minimum gauge consistent with required physical properties, with the assurance that optical properties will not suffer, but improve. With wider die gaps back pressures are reduced, as are extrusion costs.

Regulatory Status

The basic resin NA345 meets the requirements of the Food and Drug Administration, regulation 21 CFR 177.1520. This regulation allows the use of this olefin polymer in "...articles or components of articles intended for use in contact with food." Specific limitations or conditions of use may apply. Contact your Equistar sales representative for further information.

Processing Techniques

Specific recommendations for processing NA345 can only be made when the processing conditions, equipment and end use are known. For further suggestions please contact your Equistar sales representative.

Typical Properties

Property	Nominal Value	Units	ASTM Test Method
Melt Index	1.8	g/10 min	D 1238
Base Resin Density	0.921	g/cc	D 1505
Vicat Softening Point	100	°C	D 1525
Film*			
Haze ¹	5.0	%	D 1003
Gloss, 45° ¹	70	units	D 2457
Dart Drop impact Strength, F ₅₀	90	g	D 1709
Tensile Strength @ Yield, TD	1,600	psi	D 882
Tensile Strength @ Break, MD (TD)	4,000 (3,400)		
Elongation, MD (TD)	300 (500)	%	D 882
1% Secant Modulus, MD (TD)	26,000 (30,000)	psi	D 882
Elmendorf Tear Strength, MD (TD)	360 (200)	g	D 1922

Product	NA346013	NA346184	NA346196	NA346245X01
Slip	0	0	750	1,500
Antiblock	0	1,500	1,600	6,000

Figura No. 35: Ficha técnica de la resina Sabic®-118W codificada como LB100N15

**SABIC® LLDPE 118W**

Saudi Basic Industries Corporation (SABIC) - Linear Low Density Polyethylene

Friday, February 27, 2009

General Information			
General			
Material Status	• Commercial: Active		
Availability	• Europe		
Additive	• Antiblock	• Antioxidant	• Slip
Features	• Antiblocking • Antioxidant • Food Contact Acceptable	• General Purpose • Good Toughness • High Tensile Strength	• Puncture Resistant • Slip
Uses	• Agricultural Applications • Bags • Film	• Food Packaging • Laminates • Liners	• Packaging • Stretch Wrap
Forms	• Pellets		
Processing Method	• Blown Film		
ASTM and ISO Properties ¹			
Physical	Nominal Value	Unit	Test Method
Density	0.918	g/cm ³	ISO 1183/A
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (190°C/2.16 kg)	1.0	g/10 min	ASTM D1238
Films	Nominal Value	Unit	Test Method
Film Thickness - Tested	30.0	µm	
Secant Modulus			ASTM D882
MD: 30.0 µm	220	MPa	
TD: 30.0 µm	260	MPa	
Tensile Strength			ASTM D882
MD: Yield, 30.0 µm	11.0	MPa	
TD: Yield, 30.0 µm	11.5	MPa	
MD: Break, 30.0 µm	40.0	MPa	
TD: Break, 30.0 µm	32.0	MPa	
Tensile Elongation			ASTM D882
MD: Break, 30.0 µm	750	%	
TD: Break, 30.0 µm	800	%	
Dart Drop Impact (30.0 µm, Blown Film)	150	g	ASTM D1709
Elmendorf Tear Strength			ASTM D1922
MD: 30.0 µm	170	g	
TD: 30.0 µm	300	g	

Figura No. 36: Ficha técnica de la resina Equistar®-GA501020 codificada como LB100N0

EQUISTAR
A Lyondell Company

Petrothene®

GA501

Linear Low Density Polyethylene
Film Extrusion Grade

Melt Index 1.0 Density 0.918

Applications The PETROTHENE GA501 series of resins is pelletized linear low density polyethylene for film extrusion applications that require excellent drawdown and toughness. These resins have excellent puncture resistance, elongation and heat seal strength. Applications include heavy duty shipping sacks, prime liners, commercial and industrial packaging, as well as food and consumer packaging.

Regulatory Status The GA501 series resins meet the requirements of the Food and Drug Administration, 21 CFR 177.1520. This regulation allows the use of this olefin polymer in " ...articles or components or articles intended for use in contact with food." Specific limitations or conditions of use may apply. Contact your Equistar sales representative for more information GA501 is available without additives or fully formulated with slip and antiblock additives.

Processing Techniques Recommended conditions are 400°-450°F melt temperature and a 1.5-3.0:1 blow-up ratio. Using proper techniques, these products can readily be drawn below 0.90 mil at optimum production rates. Specific recommendations for type of resin and extrusion conditions can be made only when the end use, required properties and processing equipment are known. For further suggestions, please contact your Equistar sales representative.

Property	Nominal Value	Units	ASTM Test Method
Melt Index (190/2.16)	1.0	g/10 min	D 1238
Density	0.918	g/cc	D 1505
Vicat Softening Point	107	°C	D 1525
Film			
Gauge	1.0	mil	
Blow-up Ratio	2.5:1		
Haze	20	%	D 1003
Gloss, 45°	40		D 523
Dart Drop Impact Strength, F ₅₀	100	g	D 1709/A
Tensile Strength @ Break, MD (TD)	6,600 (4,700)	psi	D 882
Elongation @ Break, MD (TD)	580 (725)	%	D 882
1% Secant Modulus, MD (TD)	27,000 (28,000)	psi	D 638
Elmendorf Tear, MD (TD)	125 (330)	g	D 1922

Product	GA501020	GA501021	GA501022	GA501023	GA501025	GA501026
Slip	None	None	High	Medium	Very High	Low
Antiblock	None	High	High	Medium	High	High

Figura No. 37: Ficha técnica de la resina Certene®-122XH codificada como LH100A13.5



Technical Data Sheet


LLHF-122XH Linear Low Density Polyethylene

LLHF-122XH is a certified prime grade Ethylene-Hexene Copolymer specially developed for BLOWN FILM extrusion for applications requiring SUPER STRENGTH with outstanding Impact and Toughness. LLHF-122XH features exceptional Elmendorf Tear strength for maximum downgauging potential. LLHF-122XH major applications include super strong liners, and high performance strength films. Maximum recommended film drawdown is 0.35 mil. LLHF-122XH contains high slip and extra high antiblock. LLHF-122XH complies with FDA regulation 21CFR 177.1520 (c) 3.1(a) + 3.2(a) and most international regulations concerning the use of Polyethylene in contact with food articles.

Typical Properties

PROPERTIES*	ASTM TEST	UNIT ENGLISH (METRIC)	NOMINAL VALUES
RESIN			
Melt Index	D 1238E	gr./10 min	1.0
Density	D 1505	gr./cm ³	0.918
FILM**			
Haze	D 1003	%	25.0
Gloss	D 2457	@45°	35
Tensile Modulus ¹	D 882	psi x 1000 (MPa)	24/25 ² (170/175)
Yield	D 882	psi x 1000 (MPa)	1.1/1.2 ² (8/8)
Break	D 882	psi x 1000 (MPa)	8.0/5.8 ² (55/40)
Ult. Elongation	D 882	%	650/780 ²
Elmendorf Tear	D 1922	gr.	410/600 ²
Dart Impact, F50	D 1709A	gr.	570

Figura No. 38: Ficha técnica de la resina Formosa Plastics® -62009H codificada como 62009H



Formosa Plastics®

Technical Data Sheet

Formolene® LLDPE

Formolene L62009

*Linear Low Density Polyethylene
Hexene Copolymer for Film Extrusion*

Formolene L62009 is a general-purpose film grade linear low density made using the BP Gas Phase Process™. The resin exhibits excellent toughness and strength when drawn down to thin gauges.

Formolene L62009 meets all requirements of the U.S. Food and Drug Administration as specified in 21 CFR 177.1520, covering safe use of polyolefin articles intended for direct food contact.

Suggested Applications

Blending resin	Industrial liners
Industrial packaging	Garment Bags
Coextrusion	

Nominal Physical Properties

PROPERTY**	TEST METHOD	UNIT	VALUE
Density	D1505	g/cc	0.919
Melt Index, Condition E, 190°C/2.16 kg	D1238	g/10 min.	0.95
Dart Impact	D1709	g/mil.	160
Tear Strength	D1922	g/mil.	400/630*
Tensile Strength at Break	D882	psi.	4,750/3,485*
Elongation	D882	%	520/780*
Gloss, 45°	D523		33
Haze	D1003	%	21

* MD / TD

Available in the following additive packages:

Additive	L62009A	L62009B	L62009H	L62009E2	L62009X
Antiblock	High	None	None	High	None
Slip	None	None	None	High	None
Special	-	-	High Antioxidant	-	High Antioxidant

Melt Index – 0.95

Density – 0.919

Figura No. 39: Ficha técnica de la resina Exceed®-1018FA codificada como ME100NE

EXCEED™ mLLDPE

ExxonMobil
Chemical

EXCEED 1018 Series

Blown Film Resins

Description

Exceed 1018 Series grades are ethylene based polymers produced with metallocene single site catalysts using ExxonMobil's proprietary Exxpol technology.

Films made of Exceed 1018 Series grades have outstanding tensile, impact, puncture resistance, and low temperature properties. Exceed 1018 EB and Exceed 1018 FA contain slipagent and antiblock, which makes them suitable for formulations which require good openability and a low friction coefficient. They are ready-to-use versatile polymers for demanding mono layer and multi layer blown film applications.

Applications

- film for frozen foods
- high speed Form Fill Seal packaging
- overwrap films, e.g., for tissue
- thin gauge industrial and consumer films
- bag in box film
- trash bags
- liners

Additive Package	PPA	Antiblock	Slip	Thermal Stabilizer
Exceed 1018EB	Yes	2500 ppm	750 ppm	Yes
Exceed 1018FA	Yes	4500 ppm	450 ppm	Yes

Resin Properties	Test Based On	Typical Value / Unit
Melt Index	ASTM D1238	1.0 g/10 min
Density	ASTM D4703 / D1505	0.918 g/cm ³
Peak Melting Temperature	ASTM D3418	118 °C 244 °F

Film Properties				
Tensile Strength	MD	ASTM D882	50 MPa	7500 psi
	TD		35 MPa	5100 psi
Elongation @ Break	MD	ASTM D882	440 %	
	TD		510 %	
1% Secant Modulus	MD	ASTM D882	180 MPa	26000 psi
	TD		180 MPa	26000 psi
Haze		ASTM D1003	4 %	
Gloss, 60° angle		ASTM D2457	13 %	

Figura No. 40: Ficha técnica de la resina DuPont®-ELVAX3165SB codificada como ELVAX3165SB


DuPont Packaging & Industrial Polymers		 <i>The miracles of science™</i>	
		DuPont™ Elvax® 3165SB	
Elvax® resins Product Data Sheet			
Description			
Product Description	DuPont™ Elvax® 3165SB is an extrudable ethylene-vinyl acetate copolymer resin available in pellet form for use in conventional extrusion equipment designed to process polyethylene resins		
Restrictions			
Material Status	<ul style="list-style-type: none"> Commercial: Active 		
Availability	<ul style="list-style-type: none"> Globally 		
Typical Characteristics			
Composition	18% By Weight Vinyl Acetate Slip additive, Antiblock additive Thermal Stabilizer: BHT antioxidant		
Applications	This resin is designed to provide a low temperature heat seal to itself or many other materials commonly used in flexible packaging applications. The melt properties of this resin allow it to be processed on blown film equipment over a wide range of film thickness and blow-up ratios. It can also be co-extruded with a variety of other polymers. This resin is typically used as low temperature seal layer in co-extruded films.		
Typical Properties			
Physical	Nominal Values	Test Method(s)	
Density ()	0.94 g/cm ³	ASTM D792	ISO 1183
Melt Index (190°C/2.16kg)	0.7 g/10 min	ASTM D1238	ISO 1133
Thermal	Nominal Values	Test Method(s)	
Melting Point (DSC)	88°C (190°F)	ASTM D3418	ISO 3146
Freezing Point (DSC)	68°C (154°F)	ASTM D3417	
Vicat Softening Point ()	67°C (153°F)	ASTM D1525	ISO 306

Figura No. 41: Ficha técnica de resina DOW®-132I codificada como FR025A0

Technical Information


DOW™ LDPE 132I
 Low Density Polyethylene Resin

Overview

- A barefoot resin for heavy duty film applications
- Optimum gauge range: 2.0-8.0 mil
- Used in shrink film, shipping sacks, construction film and other gauge film applications
- Complies with U.S. FDA 21 CFR 177.1520 (c) 2.2.
- Complies with Canadian HPFB No Objection (With Limitations)
- Complies with EU, No 10/2011
- Consult the regulations for complete details.

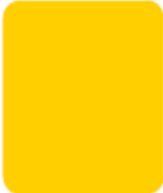
Additive

- Antiblock: No
- Slip: No
- Processing Aid: No

Physical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Density	0.921 g/cm ³	0.921 g/cm ³	ASTM D792
Base Density	0.921 g/cm ³	0.921 g/cm ³	Dow Method ¹
Melt Index (190°C/2.16 kg)	0.25 g/10 min	0.25 g/10 min	ASTM D1238
Films	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Film Thickness - Tested	2.0 mil	51 µm	
Film Puncture Resistance (2.0 mil (51 µm))	69.0 ft-lb/in ²	5.71 J/cm ²	Dow Method
Film Toughness			ASTM D882
MD: 2.0 mil (51 µm)	2610 ft-lb/in ²	216 J/cm ²	
TD: 2.0 mil (51 µm)	2660 ft-lb/in ²	211 J/cm ²	
Tensile Strength			ASTM D882
MD: Yield, 2.0 mil (51 µm)	1750 psi	12.1 MPa	
TD: Yield, 2.0 mil (51 µm)	1750 psi	12.1 MPa	
MD: Break, 2.0 mil (51 µm)	4610 psi	31.8 MPa	
TD: Break, 2.0 mil (51 µm)	4190 psi	28.9 MPa	
Tensile Elongation			ASTM D882
MD: Break, 2.0 mil (51 µm)	470 %	470 %	
TD: Break, 2.0 mil (51 µm)	660 %	660 %	
Dart Drop Impact (2.0 mil (51 µm))	190 g	190 g	ASTM D1709A
Elmendorf Tear Strength			ASTM D1922
MD: 2.0 mil (51 µm)	300 g	300 g	
TD: 2.0 mil (51 µm)	180 g	180 g	
Thermal	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Vicat Softening Temperature	205 °F	96.1 °C	ASTM D1525
Melting Temperature (DSC)	230 °F	110 °C	Dow Method
Optical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Gloss (45°, 2.00 mil (50.8 µm))	50	50	ASTM D2457
Haze (2.00 mil (50.8 µm))	11 %	11 %	ASTM D1003

Figura No. 42: Ficha técnica de resina Equistar®-L5005 codificada como HD006N0

EQUISTAR
A Lyondell Company



Alathon®
L5005
High Density Polyethylene
HMW Film Grade
Melt Index 0.057 Density 0.949

- Applications** ALATHON L5005 is a high molecular weight high density copolymer that provides broad bimodal molecular weight distribution, high stiffness and good heat seal response and strength. Typical applications include merchandise bags, grocery sacks, trash can liners, produce bags and roll stock.
- Regulatory Status** L5005 meets the requirements of the Food and Drug Administration regulation 21 CFR 177.1520. This regulation allows the use of this olefin polymer in "...articles or components of articles intended for use in contact with food." Specific limitations or conditions of use may apply. Contact your Equistar sales representative for more information.
- Processing Techniques** Specific recommendations for processing L5005 can only be made when the processing conditions, equipment and end use are known. For further suggestions please contact your Equistar sales representative.

Typical Properties

Property	Nominal Value	Units	ASTM Test Method
Melt Index	0.057	g/10 min	D 1238
Density	0.949	g/cc	D 1505
Total Energy Dart Drop	2.05	ft-lbs/mil	D 4272
Elmendorf Tear Strength, MD (TD)	14 (35)	g	D 1922
Tensile Strength @ Yield, MD (TD)	3,800 (3,400)	psi	D 882
Tensile Strength @ Break, MD (TD)	8,500 (5,000)	psi	D 822
Elongation @ Break, MD (TD)	300 (420)	%	D 882
Secant Modulus, MD (TD)	115,000 (140,000)	psi	D 882

Typical Process Condition Ranges:

BUR=3.5-4.5:1; Neck Height=6-9 Die Diameters; Die Gap (nominal), in.=0.040-0.050;
Tower Height=Relatively Short; Output, Lb/Hr/In of Die Circumference=10-12;
Melt Temperature - 390-420°F (199-216°C)

Figura No. 43: Ficha técnica de pigmento Schulman®-8160ME codificado como BLAAD



POLYBATCH® BLANCO 8160 ME

Polybatch® Blanco 8160 ME es un concentrado de color blanco base polietileno que contiene 60% de dióxido de titanio (TiO₂).

PROPIEDAD	METODO	VALOR TIPICO	UNIDAD
Resina base.		LDPE	
Índice de fluidez.	ASTM D1238	25	g/10 min.
Porcentaje de cenizas	ASM MA-002-08	60	%
Conteo de pelets.	ASM MA-003-08	30	pelet/g.
Humedad.	ASTM D789	1000 Max	ppm

Características

- ✓ Rango de temperatura de extrusión hasta 260° C.
- ✓ Compatible con LDPE, LLDPE y HDPE.
- ✓ Resistencia mejorada al amarillamiento fenólico
- ✓ Excelente dispersión.
- ✓ Excelente blancura y opacidad.

Aplicaciones

- ✓ Especialmente diseñado para extrusión de película plana.
- ✓ Extrusión de película plana y soplada.
- ✓ Moldeo por inyección y soplo.
- ✓ Extrusión de lámina.

Estatus FDA

Polybatch® Blanco 8160 ME contiene sólo materiales reconocidos por FDA. Para mayor información contacte al Departamento Técnico.

Empaque y Almacenamiento

- ✓ Presentación en caja Octabin. y bolsa de PE de 25 Kgs.
- ✓ En tiempos largos de almacenamiento adquiere humedad por lo que se recomienda rotar el inventario en un período máximo de 1 año después de la compra.

Figura No. 44: Ficha técnica de pigmento Techmer®-TPM910E8 codificado como NEG9101E8



April 13, 2010

Armando Catalan
Polytec.
1a. Calle 2-68, Zona 2,
San Jose Villa Nueva, Guatemala, C.A na

18420 Laurel Park Road
Rancho Dominguez, CA 90220
(310) 632-9211
FAX (310) 632-8635

#1 Quality Circle
Clinton, TN 37716
(865) 457-6700
FAX (865) 457-3012

Dear Armando:

This product is being offered to you based on the criteria listed below. The product was formulated and designed using only these items. No other special criteria or application information were used or considered unless noted in this letter. **It is critical that you carefully review this information.** If you wish us to consider some other criteria, please communicate the information to us so that we can adjust the design or specifications if necessary.

PRODUCT	DESCRIPTION
TPM9101E8	BLACK
Recommended LDR%:	10%
Application:	Black
Customer Base Resin:	LLDPE/LDPE
Thickness of Product:	1 mil
Service Life	10 months
Customer Process	Blown Film
Customer's Regulatory Requirement:	Non-Heavy Metal
Customer's Maximum Melt Temperature:	420°F
Residence Time:	1 minutes
Special Notes:	<p>(1) Criteria used for failure are 50% retention of elongation.</p> <p>(2) Prime resin is recommended.</p> <p>(3) Applications of Agrochemical contain chlorine over 50 ppm and/or sulfur over 250 ppm on the surface of film is considered critical levels for mulch films.</p>

Figura No. 45: Ficha técnica de pigmento Clariant®-601974-10 codificado como PLA
601974-10

Masterbatches	
<i>Technical Product Information</i>	
Producto	Remafin Gris PL601974-10 (PL73619211)
	
Exactly your chemistry.	
Ciente	181618 Polímeros y Tecnología, S.A.
Descripción	Concentrado de color utilizado para la coloración de polímeros. Este concentrado puede contener colorantes orgánicos y/o inorgánicos
Nº TAR	601974-10
Dosificación requerida	2.000 %
Forma	GRANULADO CILINDRICO
Solidez a la luz	8 (EN ISO 4892-2)
Solidez a la temperatura	280 (DIN EN 12877)
Resistencia intemperie	4
Empaque	Bolsas de 25 Kg
Almacenaje	Este masterbatch debe ser almacenado en una área fresca y seca El tiempo de almacenaje no deberá exceder de 12 meses
Regulaciones	Por favor, contáctenos para obtener más información.
Salud y Seguridad	Por favor, contáctenos para obtener MSDS

Figura No. 46: Ficha técnica de aditivo Schulman®-CE505 codificado como SLIP5%



POLYBATCH® FILM CE-505 Slip

POLYBATCH® CE-505 is a 5% oleamide slip concentrate based in polyethylene. This concentrate is designed to reduce film COF in LDPE, LLDPE, and mPE cast and blown films. POLYBATCH® CE-505 can also be used in injection molding applications as a release agent. POLYBATCH® CE-505 is typically recommended for use at 1 to 2% addition levels.

Properties	Standard	Parameters	Unit
Appearance			
Pellet Count		70	pellets/gram
Chemical			
Additive Content		5	%
Moisture (Karl Fischer)	ASTM D789	190°C	1000 ppm
General			
Melt Flow Rate	ASTM D1238	190°C/2.16 kg	20 g/10 minutes
Specific Gravity	ASTM D792	0.93	

Figura No. 47: Ficha técnica de aditivo Croda®-CrodamideER codificado como SLIP98%

Slip & anti-block

Crodamide™ ER

General

Chemical Description:	Refined erucamide
CAS:	112-84-5
EINECS:	204-009-2

Applications

Crodamide ER is a primary amide additive from a vegetable source. It is an extremely effective slip agent in polyolefin films, and is the preferred amide for use in LDPE, LLDPE, and PP due to its good oxidative stability, low volatility and excellent slip performance. Addition levels of 1000 ppm can be used to obtain a coefficient of friction (CoF) as low as 0.1 in LDPE film.

Mode of Action

In the melt phase Crodamide ER is evenly distributed through the polymer. As the polymer begins to cool the molecules migrate to the surface to form a thin lubricating layer. This layer of Crodamide ER reduces the CoF between surfaces and prevents any unwanted adhesion.

Specification

Acid value max	1	mgKOH/g
Melting point	78 – 81	°C
Colour max	2	Gardner
Iodine value	75 – 82	gI ₂ /100g
Amide purity min	98	%
Moisture max		
Bead:	0.4	%
Microbead:	0.1	%
Pastille:	0.1	%
Powder:	0.2	%

Figura No. 48: Ficha técnica de aditivo Schulman®-AMF707 codificado como AYUPRO



POLYBATCH® AMF 707

PRELIMINAR

Polybatch® AMF 707 es un concentrado de ayuda de proceso de última generación, base polietileno. Esta ayuda de proceso es compatible para ser usada junto con estabilizadores UV tipo HALS.

PROPIEDAD	METODO	VALOR TIPICO	UNIDAD
Resina base.		LDPE	
Índice de fluidez.	ASTM D1238	A ser determinado	g/10 min.
Conteo de pelets.	ASM MA-003-08	A ser determinado	pelet/g.
Humedad.	ASTM D789	1000 Max	ppm

Características

- ✓ Mejora la procesabilidad de las poliolefinas pues recubre internamente las superficies de metal del equipo de extrusión (barril y dado) lo cual le permite al polímero fluir con más facilidad.
- ✓ Reduce y elimina la "fractura de melt.", piel de tiburón ó piel de naranja, etc.
- ✓ Reduce los ciclos de inyección y mejora el brillo superficial de las piezas inyectadas.
- ✓ Polybatch® AMF 707 contiene un fluoroelastómero que no interfiere químicamente con los aditivos HALS por lo que es recomendado para uso en producción de películas agrícolas.

Recomendaciones de uso

- ✓ Compatibilidad con poliolefinas pigmentadas y naturales de LLDPE, mLLDPE, HDPE y PP.

- ✓ Inyección y extrusión en niveles entre 1 y 3%.
- ✓ Puede ser usado en aplicaciones con contacto directo con alimentos hasta un 5%.

Estatus FDA

Polybatch® AMF 707 contiene sólo materiales reconocidos por FDA. Para mayor información contacte al Departamento Técnico.

Empaque y Almacenamiento

- ✓ Cajas de cartón y bolsas de 25 Kgs.
- ✓ Se recomienda mantener cerradas las bolsas durante el almacenamiento y se recomienda rotar el inventario en un período máximo de una año después de la compra.

Figura No. 49: Ficha técnica de aditivo Schulman®-F20 codificado como ABSN20



POLYBATCH® FILM F-20 Antiblock

POLYBATCH® F-20 is an antiblock concentrate containing 20% natural silica based in LDPE and designed for use in polyethylene film applications. Both the particle size and the dispersion of this antiblock have been optimized to offer effective coefficient of friction (COF) values when used in conjunction with standard slip concentrates of either oleamide (POLYBATCH® CE-505) or erucamide (POLYBATCH® CE-505-E).

Properties	Standard	Parameters	Unit
Appearance			
Pellet Count		35	pellets/gram
Chemical			
Moisture (Karl Fischer)	ASTM D789	190°C	1000 ppm
Total Ash	ASTM D2765		20 %
General			
Melt Flow Rate	ASTM D1238	190°C / 2.16 kg	8 g/10 minutes
Specific Gravity	ASTM D792		1.04

Figura No. 50: Ficha técnica de aditivo Schulman®-AO25A codificado como PBA025



POLYBATCH® AO 25A

Polybatch® AO 25A es un concentrado que contiene una mezcla de antioxidantes térmicos en base LDPE.

PROPIEDAD	METODO	VALOR TIPICO	UNIDAD
Resina base.		LDPE	
Índice de fluidez.	ASTM D1238	11	g/10 min.
Tamaño de pelets.	ASM MA-003-08	50	pelet/g.
Humedad.	ASTM D789	1000 ppm Max	Karl Fisher 190°C

Características

- ✓ Minimiza la degradación térmica de las poliolefinas que origina (oxidación, cross-linking, geles, pérdida de propiedades mecánicas y aparición de partículas carbonizadas.
- ✓ Minimiza los depósitos en el dado durante la fabricación de películas.
- ✓ Estabilización térmica de poliolefinas expuestas a altas temperaturas de extrusión ó largos períodos de residencia dentro del extrusor.
- ✓ Permite incrementar porcentaje de material reciclado.

Recomendaciones de uso

- ✓ Para minimizar depósitos en el dado y aparición de carbonos y geles usar 1%
- ✓ Para mejorar estabilidad térmica de reciclado usar 2%.

Estatus FDA

Polybatch® AO 25A contiene sólo materiales reconocidos por FDA regulados de acuerdo a:

- 21 CFR 175.300.
- 21 CFR 177.1520.
- 21 CFR 178.2010.

Empaque y Almacenamiento

- ✓ Cajas de cartón Octabin y bolsas de 25 Kgs.
- ✓ Aunque no se ha determinado un tiempo máximo de almacenamiento, recomendamos rotar los inventarios y utilizar el producto antes de un año después de la compra.

Figura No. 51: Ficha técnica de aditivo Clariant®- PLA-06219206 codificado como
Purga Química



Ficha Técnica del Producto

CESA CLEAN PLA06219206

Versión: 02
Actualización: Enero 2007
Código: F-0&D-MB-022

Información Producto:

N° Desarrollo:
Código: **PLA06219206**
Descripción: Masterbatch Purga para Equipo de procesamiento de poliolefinas
Resina Base: Polietileno lineal de baja densidad
Granulometría: 35-55 Pellets/gramo
Densidad: ----- g/cc

Campo de Aplicación:

Proceso / artículo: Purga
Dosificación sugerida: Llenar el tornillo con material de purga. Permitir un tiempo de residencia de 3 minutos, con el perfil usual de temperatura usual; expulsar el material de purga; corroborar el efecto de purga con material virgen. Repetir el ciclo si es necesario, hasta 3 veces.
Aditivos: Este producto contiene agentes abrasivos, dispersantes y tensoactivos, para facilitar la eliminación de adherencias y reducir el tiempo de cambio entre colores.
Torsión: No aplica

Información Pigmentos*:

Solidez a La Luz (1 a 8): No aplica
Solidez a la Intemperie (1 a 5): No aplica
Resistencia a la Temperatura: 3 min. @ 320 C*

* Datos suministrados por el/los proveedor(s) de pigmentos

Información General:

Fisiología: Este producto NO contiene metales pesados. Por lo tanto, cumple con las directrices de la recomendación IX de la BFR, la regulación CONEG y la Resolución MERCOSUR GMC N° 3/92 en lo relacionado con la coloración de plásticos para la fabricación bienes de consumo, envases y juguetes
Unidad de Empaque: Bolsas de 25 Kg.
Almacenamiento: Debe ser almacenado en un área fresca y seca. El tiempo de almacenamiento no debe exceder de 12 meses.