

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIAL

EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE UN MASTERBATCH CON EFECTO ANTITÉRMICO EN LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS SOPLADAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

JUAN PABLO PILLAJO SINAILÍN
pablop17@hotmail.com

DIRECTOR: ING. FRANCISCO JAVIER QUIROZ CHAVEZ
francisco.quiroz@epn.edu.ec

Quito, noviembre 2017

© Escuela Politécnica Nacional (2017)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Juan Pablo Pillajo Sinailín, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente

Juan Pablo Pillajo Sinailín

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Pablo Pillajo Sinailín bajo mi supervisión.

Ing. Francisco Quiroz
DIRECTOR DE PROYECTO

A mi padres, Juan y Bety

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, ya que por ellos soy quien soy el día de hoy, los principales actores de esta meta, por siempre estar pendiente de mí y ser el impulso para lograr mis objetivos. Les agradeceré siempre y los amaré toda la vida.

Al Ing. Francisco Quiroz, quien con sus conocimientos y experiencia supo guiarme en el desarrollo de este proyecto.

A la Ing. Ruth Salinas por brindarme su confianza y apoyo en este proyecto, además de su amistad.

A Agroplásticos S.A, especialmente a los Ingenieros Manuel Varón y Juan David quienes me apoyaron en la realización de este proyecto y a cada una de las personas que de una u otra manera colaboraron y participaron en esta etapa de mi vida.

Al personal del Centro de Investigaciones Aplicada a Polímeros (CIAP): Iván Chango, Miguel Aldás y Elizabeth Venegas, por la amistad brindada.

A la Ing. Alicia Guevara y a todo el personal del Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX).

A mi familia por todo su apoyo, abuelitos, tíos, primos, en especial a Miriam quien fue un apoyo fundamental.

A Daniela, por estar a mi lado en esta aventura.

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi papá.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	xiii
 1. PARTE TEÓRICA	 1
1.1. Aditivos antitérmicos	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Radiación solar	2
1.1.2.1. Radiación ultravioleta UV	3
1.1.2.2. Radiación fotosintética activa PAR	4
1.1.2.3. Radiación infrarrojo cercano NIR	4
1.1.3. Radiación solar sobre películas plásticas	5
1.1.3.1. Transmisión	6
1.1.3.2. Absorción	6
1.1.3.3. Reflexión	7
1.1.4. Aditivos	7
1.1.4.1. Masterbatch	8
1.1.4.2. Rellenos	8
1.1.4.3. Colorantes	8
1.1.4.4. Aditivos modificadores de las propiedades ópticas	9
1.1.5. Pigmentos reflectivos del infrarrojo cercano	10
1.1.5.1. Pigmentos orgánicos	11
1.1.5.2. Pigmentos inorgánicos	12
1.1.5.3. Reflectancia del NIR en películas	12
1.1.6. Películas plásticas con pigmentos reflectivos del NIR	14
1.1.6.1. Polietileno de baja densidad	14
1.1.6.2. Películas de invernadero	15
1.1.6.3. Propiedades de las películas antitérmicas	16
1.1.6.4. Aplicaciones de las películas antitérmicas	16
1.2. Proceso de extrusión de películas sopladas	17
1.2.1. Extrusión de polímeros	17
1.2.1.1. Extrusora monohusillo o de husillo simple	18
1.2.1.2. Componentes de la extrusora	19
1.2.2. Extrusión de películas sopladas	22
1.2.2.1. Proceso de elaboración de películas sopladas	22
1.2.2.2. Parámetros del proceso de elaboración de películas sopladas	25
1.2.3. Propiedades de las películas sopladas	27
1.2.3.1. Propiedades mecánicas	27
1.2.3.2. Propiedades ópticas	29

2.	PARTE EXPERIMENTAL	31
2.1.	Caracterización orgánica e inorgánica de un <i>masterbatch</i> de polietileno con efecto antitérmico	31
2.1.1.	Caracterización orgánica del <i>masterbatch</i>	31
2.1.2.	Caracterización inorgánica del <i>masterbatch</i>	31
2.1.2.1.	Contenido de cenizas en termoplásticos	31
2.1.2.2.	Análisis por espectroscopia de infrarrojo (FTIR)	32
2.1.3.	Análisis por difracción de rayos X (DRX)	32
2.1.4.	Análisis por microscopia electrónica de barrido (MEB)	33
2.2.	Evaluación del proceso de obtención de las películas sopladas de PEBD con y sin <i>masterbatch</i>	33
2.2.1.	Condiciones y variables del proceso de extrusión	33
2.2.1.1.	Condiciones	34
2.2.1.2.	Variable del proceso	34
2.2.2.	Proceso de extrusión de las películas antitérmicas	35
2.2.2.1.	Preparación de la mezcla	35
2.2.2.2.	Extrusión de las películas sopladas	35
2.2.3.	Determinación de las propiedades mecánicas	36
2.2.3.1.	Ensayo de tracción deformación	36
2.2.3.2.	Ensayo de rasgado	37
2.2.4.	Determinación de las propiedades ópticas	38
2.2.4.1.	Determinación del porcentaje de turbidez y transmitancia luminosa	38
2.2.4.2.	Determinación de los porcentajes de bloqueo en diferentes regiones del espectro	39
2.2.5.	Determinación de la concentración de <i>masterbatch</i>	40
2.3.	Diseño del proceso para la producción de 30 000 kg/mes de películas sopladas con <i>masterbatch</i>	40
2.3.1.	Diseño conceptual	41
2.3.2.	Diseño básico	41
2.3.2.1.	Alcance del proyecto	41
2.3.2.2.	Selección y dimensionamiento de equipos	41
2.4.	Estimación del costo de producción de las películas de PEBD con <i>masterbatch</i>	41
2.4.1.	Estimación de costo de producción	42
2.4.1.1.	Costos de materia prima	42
2.4.1.2.	Costo del uso de equipos	42
2.4.1.3.	Costo de servicios industriales	42
2.4.2.	Rentabilidad del proyecto	43
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1.	Caracterización orgánica e inorgánica del <i>masterbatch</i> de polietileno con efecto antitérmico	44
3.1.1.	Caracterización orgánica del <i>masterbatch</i>	44
3.1.2.	Caracterización inorgánica del <i>masterbatch</i>	46

3.1.2.1.	Contenido de cenizas en el masterbatch	46
3.1.2.2.	Análisis por espectroscopia de infrarrojo (FTIR)	47
3.1.3.	Análisis por difracción de rayos X (DRX)	49
3.1.4.	Análisis por microscopia electrónica de barrido (MEB)	50
3.2.	Evaluación del proceso de obtención de las películas sopladas de PEBD con y sin <i>masterbatch</i>	52
3.2.1.	Condiciones y variables del proceso de extrusión	52
3.2.1.1.	Condiciones fijas	52
3.2.1.2.	Variable del proceso	53
3.2.2.	Proceso de extrusión de las películas antitérmicas	54
3.2.2.1.	Preparación de la mezcla	54
3.2.2.2.	Extrusión de las películas sopladas	55
3.2.3.	Determinación de las propiedades mecánicas	58
3.2.3.1.	Ensayo de tracción deformación	58
3.2.3.2.	Ensayo de rasgado	59
3.2.4.	Determinación de las propiedades ópticas	60
3.2.4.1.	Determinación del porcentaje de <i>haze</i> y transmitancia luminosa	60
3.2.4.2.	Determinación de los porcentajes de bloqueo en diferentes regiones del espectro	65
3.2.5.	Determinación de la concentración de <i>masterbatch</i>	71
3.3.	Diseño del proceso para la producción de 30 000 kg/mes de películas sopladas con <i>masterbatch</i>	72
3.3.1.	Ingeniería conceptual	72
3.3.2.	Ingeniería básica	74
3.4.	Estimación del costo de producción de las películas de PEBD con <i>masterbatch</i>	80
3.4.1.	Costo de producción	80
3.4.1.1.	Costo de materia prima	80
3.4.1.2.	Costo de uso de equipos	80
3.4.1.3.	Costos de servicios industriales	81
3.4.2.	Rentabilidad del proyecto	82
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
4.1.	Conclusiones	88
4.2.	Recomendaciones	89
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
	ANEXOS	100

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1.1	Índice de refracción de tres minerales 13
Tabla 2.1	Características de la extrusora TECNOVA ES75N/30D 33
Tabla 2.2	Formulaciones de las películas extruidas 35
Tabla 2.3	Condiciones para la prueba de tensión 37
Tabla 2.4	Condiciones para el ensayo de rasgado 38
Tabla 3.1	Análisis de los principales grupos funcionales del espectro IR del MB 45
Tabla 3.2	Análisis de los grupos funcionales del espectro IR de las cenizas del <i>masterbatch</i> 48
Tabla 3.3	Composición cualitativa y cuantitativa de las cenizas del <i>masterbatch</i> 50
Tabla 3.4	Perfil de temperaturas en la extrusora 53
Tabla 3.5	Porcentaje de MB y pesos de los componentes de las películas extruidas 54
Tabla 3.6	Condiciones del proceso 57
Tabla 3.7	Resultados de prueba de tensión en el sentido longitudinal y transversal 58
Tabla 3.8	Resultados de prueba de rasgado en el sentido longitudinal y transversal 60
Tabla 3.9	Porcentaje de <i>haze</i> y transmitancia luminosa en la región del espectro visible 61
Tabla 3.10	Porcentaje de bloqueo en la región del ultravioleta 65
Tabla 3.11	Porcentaje de bloqueo en la región del visible 67
Tabla 3.12	Porcentaje de bloqueo en la región del infrarrojo cercano 69
Tabla 3.13	Características de la película antitérmica 72
Tabla 3.14	Cantidad de los materiales a ser procesados en la extrusora 75

Tabla 3.15	Consumo energético de los equipos empleados en el proceso de extrusión	78
Tabla 3.16	Costo de materia prima	80
Tabla 3.17	Costo de uso de equipos de la planta al mes	81
Tabla 3.18	Estimación del costo de mano obra para 30 000 kg de películas sopladas	81
Tabla 3.19	Estimación del costo de la energía consumida en la producción de 30 000 kg de películas sopladas	82
Tabla 3.20	Estimación de costos de las películas sopladas	82
Tabla 3.21	Costo de equipos principales para el proceso de extrusión de películas sopladas	83
Tabla 3.22	Costos de construcción de la planta	83
Tabla 3.23	Equipos para control de calidad, muebles y equipos de oficina	84
Tabla 3.24	Capital fijo para la planta de producción de películas sopladas	84
Tabla 3.25	Costo anual de la nómina de personal	84
Tabla 3.26	Costos de materia prima y consumo eléctrico al año	85
Tabla 3.27	Capital de trabajo	85
Tabla 3.28	Inversión total	85
Tabla 3.29	Indicadores económicos del proyecto	85
Tabla 3.30	Flujo de caja para el proyecto de la implementación de una planta de películas sopladas de PEBD antitérmicas	87
Tabla A.I.1	Resultados de ensayo de tensión deformación en la dirección MD	101
Tabla A.I.2	Resultados de ensayo de tensión deformación en la dirección TD	101
Tabla A.I.3	Resultados de ensayo de rasgado en la dirección MD	102
Tabla A.I.4	Resultados de ensayo de tensión deformación en la dirección TD	102
Tabla A.II.1	Resultados de porcentaje de <i>haze</i>	103

Tabla A.II.2	Resultados de porcentaje de transmitancia luminosa	103
Tabla A.II.3	Porcentaje de transmitancia desde 200 nm hasta 1 100 nm de las diferentes películas	104
Tabla A.II.4	Resultados de porcentaje de bloqueo en la región UV	108
Tabla A.II.5	Resultados de porcentaje de bloqueo en la región PAR	109
Tabla A.II.6	Resultados de porcentaje de bloqueo en la región NIR	109
Tabla A.III.1	Balance de masa para la procesar 31 500 kg/mes de películas sopladas con MB.	112
Tabla A.IV.1	Precios de materias primas para procesar 30 000 kg/mes	113

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1. Componentes del espectro solar desde 0 a 2 500 nm	3
Figura 1.2. Porcentajes de energía de las tres regiones	5
Figura 1.3. Luz incidente absorbida, transmitida y reflejada por un vidrio verde	5
Figura 1.4. Radiación solar transmitida, reflejada y absorbida	6
Figura 1.5. Estructura química de dos pigmentos orgánicos del grupo benzimidazona	11
Figura 1.6. Reflectancia de partículas de óxido de titanio de tamaño nanocristales y macrocristales	13
Figura 1.7. Extrusora de un husillo	18
Figura 1.8. Partes del husillo	19
Figura 1.9. Zonas del husillo	19
Figura 1.10. Plato rompedor y filtros	21
Figura 1.11. Equipos para el proceso de extrusión de películas sopladas	23
Figura 1.12. Película soplada	27
Figura 1.13. Ensayo de tensión	28
Figura 1.14. Dimensiones de la probeta para el ensayo de rasgado	29
Figura 1.15. Esquema de un medidor de opacidad	30
Figura 2.1. Molde empleado en el troquel para recortar las probetas para el ensayo de tracción deformación	37
Figura 2.2. Molde empleado en el troquel para cortar probetas utilizadas en el ensayo de rasgado	38
Figura 3.1. Espectro infrarrojo del MB antitérmico.	44
Figura 3.2. Acercamiento del espectro infrarrojo del MB antitérmico en el rango de 1 400 – 1 320 cm ⁻¹	46
Figura 3.3. Cenizas, compuestos inorgánicos del MB antitérmico	47

Figura 3.4.	Espectros infrarrojos de las cenizas del <i>masterbatch</i> antitérmico y estándar del mineral talco superpuestos	48
Figura 3.5.	Difractograma de las cenizas del <i>masterbatch</i> antitérmico	49
Figura 3.6.	Micrografía de la superficie de las cenizas del <i>masterbatch</i> mediante microscopia electrónica de barrido con escala 100 μm .	51
Figura 3.7.	Material mezclado de PEBD y MB.	55
Figura 3.8.	Material extruido en forma de tubo	55
Figura 3.9.	Burbuja formada de PEBD	56
Figura 3.10.	Rollo de una película soplada antitérmica, FL5	57
Figura 3.11.	Incremento del porcentaje de <i>haze</i> de las películas que contienen <i>masterbatch</i> con respecto a la película sin <i>masterbatch</i>	62
Figura 3.12.	Incremento del porcentaje de <i>haze</i> de las películas sopladas con respecto a la variación de la concentración del <i>masterbatch</i>	63
Figura 3.13.	Reducción del porcentaje de transmitancia luminosa de las películas que contienen <i>masterbatch</i> con respecto a la película sin <i>masterbatch</i>	64
Figura 3.14.	Reducción del porcentaje de transmitancia luminosa de las películas sopladas con respecto a la variación de la concentración del <i>masterbatch</i>	64
Figura 3.15.	Incremento del porcentaje de bloqueo al agregar 1% de concentración de <i>masterbatch</i>	66
Figura 3.16.	Incremento del porcentaje de bloqueo en la región del visible al agregar 1% la concentración de MB en las películas sopladas	68
Figura 3.17.	Incremento del porcentaje de bloqueo en la región del infrarrojo cercano al agregar 1% de la concentración de MB en las películas sopladas	70
Figura 3.18.	Variación del porcentaje de bloqueo de la radiación NIR en función de la concentración de MB	71
Figura 3.19.	Diagrama de bloques (BFD) del proceso para la producción de películas sopladas antitérmicas	76
Figura 3.20.	Balance de masa del proceso de producción de películas sopladas antitérmicas	77

Figura 3.21.	Diagrama de flujo PFD del proceso para la producción de películas sopladas de PEBD y MB antitérmico mediante extrusión soplado.	79
Figura A.V.1.	Hoja de datos del polietileno de baja densidad de la casa comercial Braskem	119
Figura A.V.2.	Hoja de datos del masterbatch antitérmico de la casa comercial Repsol	120
Figura A.V.3.	Características técnicas del equipo de extrusión de películas sopladas	121
Figura A.V.4.	Características técnicas del equipo mezclador de PEBD y <i>masterbatch</i>	123

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
Mediciones propiedades mecánicas	101
ANEXO II	
Mediciones propiedades ópticas	103
ANEXO III	
Calculo para el diseño de la planta de películas sopladas	110
ANEXO IV	
Calculo para la estimación del costo de producción de las películas sopladas	113
ANEXO V	
Hojas técnicas de materias primas utilizadas en la planta de películas sopladas	118
ANEXO VI	
Proforma de los equipos	120

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tuvo como objetivo la evaluación de la incorporación de un *masterbatch* con efecto antitérmico en las propiedades de películas sopladas de polietileno de baja densidad. La materia prima con la que se trabajó fue material virgen de PEBD y un *masterbatch* antitérmico proporcionados por la empresa “Agroplásticos S.A, Plastilene”.

El proyecto se inició con la caracterización orgánica del *masterbatch* por espectroscopia FTIR determinándose la presencia de PEBD, sin hallar pigmento orgánico alguno. Para la caracterización inorgánica se eliminó compuestos orgánicos mediante la calcinación del *masterbatch* y se obtuvo sus cenizas para luego analizarlas por espectroscopia FTIR y difracción de rayos X. Los resultados de la parte inorgánica mostraron la presencia de talco en 94% en las cenizas del *masterbatch*. Además, empleando microscopia electrónica de barrido se determinó que la mayoría de partículas tienen un tamaño aproximado de 10 micras.

Para la evaluación de las películas sopladas con *masterbatch* se utilizó como referencia una película soplada de PEBD. El estudio de la influencia del *masterbatch* se realizó mediante 6 niveles de concentración de *masterbatch*, partiendo desde 5% con incrementos de 1% hasta el 10% W/W.

Las condiciones del proceso fueron el perfil de temperaturas de la extrusora, 180, 185, 190, 195 y 195 °C, la velocidad del tornillo en 26 rpm y velocidad del halador en 210 m/h. Se evaluó propiedades mecánicas y ópticas de las películas extruidas. Como propiedades mecánicas se realizó la prueba de tensión y rasgado. Para la prueba de tensión se obtuvo como resultado una baja influencia del *masterbatch*. A la concentración más alta de 10% del aditivo, esta propiedad aumentó en 3,63% en la dirección MD y 3,57% en la dirección TD. Para la prueba de rasgado de igual modo se determinó poca influencia del aditivo, este parámetro aumentó en 11,78% en la dirección MD y 7,50% en la dirección TD.

Dentro de las propiedades ópticas de las películas obtenidas se midió el porcentaje de *haze*, transmitancia y bloqueo en las regiones del ultravioleta, visible e infrarrojo cercano. El porcentaje de *haze* se incrementó hasta 148,76% mientras que la transmitancia disminuyó en 36,75%.

Con respecto al porcentaje de bloqueo o radiación solar que no atraviesa una película plástica, el *masterbatch* incremento su valor en las tres regiones de estudio, es decir el aditivo no contiene un filtro selectivo de la radiación NIR. En la región del ultravioleta aumentó hasta 88,36%, en el visible en 254% y en el infrarrojo cercano en 426%. Dentro de esta región se logró porcentajes de bloqueo del 57% que se encuentran dentro del rango de una película antitérmica, como concentración del *masterbatch* se determinó en 6,6% para un bloqueo del infrarrojo cercano de alrededor del 40%.

El diseño del proceso para la producción de 30 000 kg/mes de películas sopladas con *masterbatch* antitérmico se llevó a cabo considerando las operaciones unitarias presentes en el proceso de extrusión. El valor de la producción corresponde al 1% del mercado de películas de invernadero para cultivos de tomate riñón. Además se elaboró los balances de masa y energía del proceso y sus respectivos diagramas de bloques y flujos.

Para la estimación del costo de producción de las películas sopladas con aditivo, a partir de los costos de materia prima, uso de equipos de extrusión y servicios industriales, se obtuvo un valor de \$ 2,41 por cada kilogramo, un valor menor en comparación a una película antitérmica importada que cuesta alrededor de \$ 4,26 cada kilogramo. Finalmente se evaluó la rentabilidad del proyecto para la instalación de una planta de películas sopladas mediante los indicadores económicos valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR), determinándose los valores de \$ 1 272 184,33 y 33% respectivamente para este proyecto.

INTRODUCCIÓN

El uso de películas plásticas como cubiertas en la agricultura permite incrementar la producción y reducir la influencia de las condiciones ambientales. Actualmente, los cultivos bajo invernadero disminuyen el consumo de herbicidas y pesticidas, mejoran la seguridad de los alimentos y permiten un eficiente uso del agua (Delgado, 2011, p. 51).

La principal materia prima empleada para la fabricación de películas de invernadero es polietileno de baja densidad PEBD debido a su fácil procesamiento con aditivos, a las propiedades mecánicas que brinda a la película y su reducido costo (Caldarí, 2007, p. 3).

La radiación solar se puede dividir en radiación ultravioleta UV, radiación activa fotosintética PAR y radiación infrarrojo cercano NIR. La PAR absorbida por los cultivos es indispensable para el crecimiento y la fotosíntesis. La NIR es menos asimilada por el cultivo sin embargo es absorbido en mayor proporción por los elementos interiores del invernadero provocando el aumento de la temperatura del aire interior por convección. Evitar altas temperaturas en invernaderos durante períodos del medio día, es uno de los problemas que se debe resolver en cultivos protegidos en la mayoría de países, sobre todo de regiones tropicales caracterizados por recibir altos valores de radiación solar y mayores temperaturas (Hemming, 2006, p. 97).

A las películas plásticas se las puede modificar la capacidad de transmisión de luz, sobretodo en la región del infrarrojo cercano, aplicando en ellas aditivos como reflectantes y absorbedores de luz combinados con pigmentos metálicos de interferencia. Los bajos rendimientos, filtros no selectivos, de estos materiales y su alto precio han limitado su uso, pero gracias a continuos trabajos de investigación, se ha desarrollado una nueva generación de películas denominadas antitérmicas con un buen balance costo/beneficio (Espí, 2012, p. 81).

La característica principal de las películas plásticas antitérmicas es reducir la temperatura interior dentro de un invernadero. Para este objetivo lo ideal es una alta reflexión de la NIR y alta transmisión de la PAR. Sin embargo al ser regiones del espectro próximas, al modificar una de las regiones se altera la segunda. El reducir la región de la PAR, indispensable para la fotosíntesis vegetal, significa reducir la productividad del cultivo (Meca, 2013, p. 2).

Las películas de PEBD antitérmicas reflejan la NIR e impiden el calentamiento excesivo del invernadero en todo el ciclo del cultivo permitiendo el desarrollo de cultivos en regiones tropicales o regiones con períodos largos de temperaturas sobre los 25°C (Castilla, 2013, p. 58).

Ecuador importó en 2013, alrededor de 1 600 toneladas de películas de invernadero de polietileno de baja densidad que permiten controlar algunos factores, entre ellos la luz y la temperatura, para provocar un microclima que debe ser el más cercano a las condiciones biológicas óptimas para la especie vegetal cultivada y con ello permitir su crecimiento fuera de la estación climática (Caldarí, 2007, p. 1).

En el presente proyecto se plantea evaluar un *masterbatch* con efecto antitérmico para obtener películas de PEBD con características antitérmicas que permitan bloquear la región del NIR en un 40%. Estas películas serán utilizadas como cubiertas de invernadero principalmente para cultivos protegidos de tomate riñón. Para el procesamiento de las películas se empleará materiales y las instalaciones de la empresa Agroplásticos S.A. Además el proyecto permitirá evaluar la rentabilidad de producir 30 000 kg/mes películas plásticas antitérmicas que reducirán las importaciones de las mismas y emplear este tipo de tecnología en cultivos de diferentes regiones del país.

1. PARTE TEÓRICA

1.1. ADITIVOS ANTITÉRMICOS

1.1.1. ANTECEDENTES

La popularidad de los materiales plásticos en diferentes aplicaciones se atribuye a la incorporación de los aditivos en la matriz polimérica. Los aditivos pueden alterar la estructura molecular fundamental de los polímeros lo que permite modificar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los mismos.

El número de aditivos que existen en la actualidad es de miles y sus estructuras químicas a menudo son complejas. El poder seleccionar el aditivo adecuado para una determinada aplicación muchas veces puede ser desconcertante.

Los cultivos cubiertos o bajo invernadero logran recrear ambientes y condiciones climáticas favorables para el desarrollo de un cultivo. Entre los diferentes materiales utilizados como cubierta, los materiales plásticos, en especial las películas, ofrecen variadas propiedades y menor costo. La selección del material de cubierta se lo establece mediante sus propiedades mecánicas y ópticas y además del clima, ubicación del invernadero y cultivo (Waaijenberg y Sonneveld, 2004, p. 138-139).

Los países localizados en la región tropical y subtropical reciben altos niveles de radiación solar ocasionando la elevación de la temperatura en el interior de los cultivos cubiertos que influyen negativamente en el rendimiento del cultivo. Para reducir la temperatura del interior de un invernadero una de las soluciones más utilizadas por agricultores es aplicar pinturas de sombreado o blanqueamiento sobre la cubierta, con carbonato de calcio, para disminuir la cantidad de radiación que ingresa al cultivo. Sin embargo existen algunas desventajas, entre las más importantes, la carencia de homogeneidad en el recubrimiento y la inexistencia de selectividad para transmitir la radiación de las distintas regiones del espectro en diferentes porcentajes. Este método reduce la radiación solar que atraviesa la película incluyendo la radiación fotosintética activa (PAR), la cual es esencial para

el crecimiento vegetal (Abdel, Al-Helal, Alzahrani, Alsadon, Ali y Elleithy, 2012, p. 3; Meca, 2012, p. 1).

Por algunos años compañías y científicos han trabajado en materiales de cubiertas para reducir la temperatura máxima en el interior de invernaderos durante el día para mejorar la productividad y calidad de los productos a un menor costo. Persiguiendo este objetivo en 1939 se emplearon cubiertas con filtros líquidos, de aplicación similar a una pintura, que absorbían parte de la radiación infrarroja en un 5%. Posteriores investigaciones de estas películas han buscado optimizar y reducir selectivamente el paso de la radiación del infrarrojo cercano. Sin embargo, este objetivo vino acompañado de la reducción de la PAR que limita la aplicación de esta técnica. Además de la complejidad y altos costos de las cubiertas con filtros líquidos (Abdel et al., 2012, p. 3; Hemming, Kempkes, Van de Braak, Dueck y Marissen, 2006, p. 97).

Las recientes investigaciones están enfocadas en desarrollar materiales sólidos como plásticos o vidrios que contienen filtros de radiación del infrarrojo cercano (NIR). Estos materiales pueden ser utilizados como cubiertas de invernadero que permiten reducir la temperatura en el interior sin influir en los niveles de luz que los atraviesa. Las películas que bloquean determinadas regiones de la radiación solar son una forma económica de reducir la temperatura del interior del invernadero (Abdel et al., 2012, p. 4; Hemming et al, 2006, p. 97; Mutwiwa, 2007, p. 8; Mutwiwa et al, 2008, p. 33).

1.1.2. RADIACIÓN SOLAR

La luz es una forma de energía electromagnética o también conocida como radiación que se desplaza en forma de ondas emitidas desde un objeto (Askeland, Fulay y Wright, 2010, p. 800; Inzunza, 2006, p. 63).

El sol irradia continuamente con un espectro de energía específico llamado espectro solar y como todas las radiaciones electromagnéticas, la radiación solar

se propaga en forma de ondas. La radiación se caracteriza por la longitud de onda y frecuencia.

La mayor parte de la energía solar, alrededor del 99%, llega a la superficie de la tierra y se encuentra entre 300 y 2 500 nm. La misma se puede dividir en tres categorías de radiación en función de la composición espectral, como se muestra en la Figura 1.1, la radiación ultravioleta UV (200-400 nm), radiación activa fotosintética PAR (400-700 nm) y radiación del infrarrojo cercano NIR (800-2 500 nm) (Castilla, 2013, p. 18; Hemming et al, 2006, p. 97; Zabeltitz, 2011, p. 160).

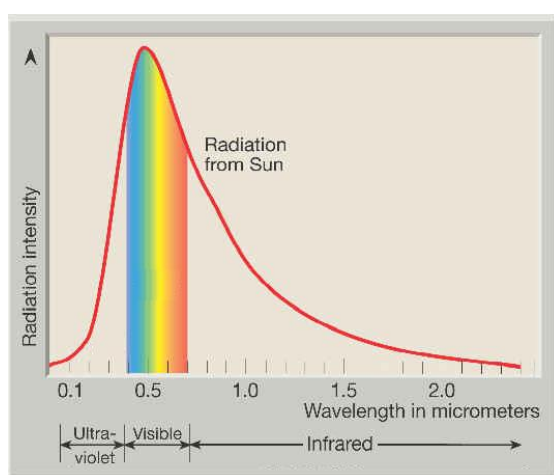


Figura 1.1. Componentes del espectro solar desde 0 a 2 500 nm (Inzunza, 2006, p. 65)

1.1.2.1. Radiación ultravioleta UV

La radiación UV no es visible para el ojo humano y representa alrededor del 5% de la energía de la radiación solar. Se caracteriza por provocar excitaciones en los átomos que producen reacciones químicas. Este tipo de radiación en exceso es perjudicial para los tejidos de los seres vivos.

Parte de la radiación UV estimula la aparición de plagas de insectos debido a que permite su orientación. El bloqueo de la transmisión en este rango permite reducir el grado de infestación del cultivo por parte de insectos (Abdel et al., 2012, p. 2; Álvarez, 2009, p. 18; Mutwiwa et al, 2008, p. 34; Zabeltitz, 2001, p. 152).

Adicionalmente la radiación UV interviene en el envejecimiento de los materiales plásticos a causa transformaciones fotoquímicas como la degradación (Cadena y Salazar, 2003, p. 6).

1.1.2.2. Radiación fotosintética activa PAR

De la radiación solar que recibe la superficie de un vegetal, solo una porción es empleada en la fotosíntesis denominada radiación fotosintética activa. Esta radiación es visible para el ojo humano y su contenido energético representa al menos el 45% de la radiación solar. Toda la luz visible es capaz de ocasionar la fotosíntesis, sin embargo las regiones de 400 a 500 y de 600 a 700 nm son más eficientes (Bello, González y Torres, 2015, p. 1).

Una disminución en la disponibilidad de la radiación PAR ocasiona una reducción de la actividad fotosintética de los vegetales. Al travesar la radiación solar una película de invernadero se reduce la transmisión de radiación PAR (Castilla, 2013, p. 19; Grossi, 2009, p. 27; Hemming, 2006, p. 1).

1.1.2.3. Radiación infrarrojo cercano NIR

Es una radiación térmica responsable del calentamiento de un cuerpo al recibir radiación solar y representa al menos el 50% de radiación total. Esta radiación es la principal fuente de carga calórica que debería ser rechazada para prevenir las altas temperaturas (Abdel et al., 2012, p. 3; Castilla, 2013, p. 19).

La región de mayor producción de calor en la región del NIR se encuentra en el rango desde 700 a 1 100 nm, esta fracción de radiación puede ser reducida por mecanismos como absorción y reflexión. Mientras que la región de 1 100 a 2 500 nm no transporta cantidades significativas de calor (Abdel et al., 2012, p. 8 – 9; Fang et al., 2013, p. 1). En la Figura 1.2, se observan los diferentes porcentajes de las tres regiones del espectro solar que transportan energía por radiación.

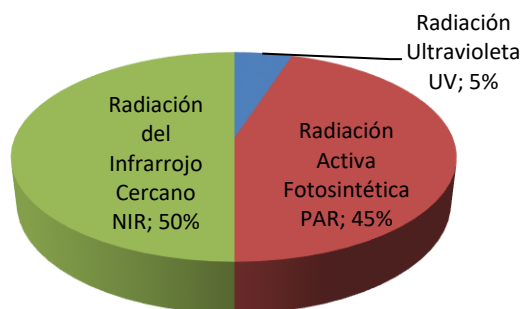


Figura 1.2. Porcentajes de energía de las tres regiones (Abdel et al., 2012, p. 2)

1.1.3. RADIACIÓN SOLAR SOBRE PELÍCULAS PLÁSTICAS

Todos los materiales interactúan de diferentes formas con la luz. La radiación solar que incide sobre una película plástica puede ser parcialmente transmitida, absorbida y/o reflejada, dependiendo de las propiedades del material. Los diferentes mecanismos mencionados provocan un decrecimiento de la radiación solar que reciben los cultivos (Askeland, Fulay y Wright, 2010, p. 806; Callister, 2007, p. 722; Castilla, 2013, p. 34; Pohl, 2010, p. 359).

Los principales fenómenos de la interacción de materia y radiación son denominados absorbancia, reflectancia y transmitancia. En la figura 1.3 se puede observar las fracciones de energía de los tres fenómenos de la luz a diferentes longitudes de onda al interactuar la una fuente de luz con un vidrio verde.

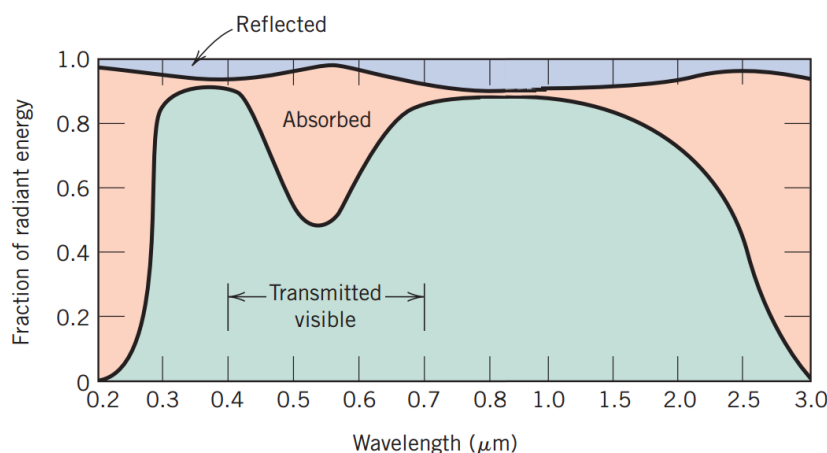


Figura 1.3. Luz incidente absorbida, transmitida y reflejada por un vidrio verde (Callister, 2007, p. 731)

1.1.3.1. Transmisión

Es la fracción de radiación solar que logra atravesar la película también denominada transmisividad. Es una propiedad de los cuerpos transparentes ya que los cuerpos opacos no transmiten la luz sino la reflejan. Los factores como el tipo de material de la película y la longitud de onda de la radiación incidente pueden limitar la transmisión de los cuerpos transparentes (Askeland et al., 2010, p. 806; Castilla, 2013, p. 32)

1.1.3.2. Absorción

La radiación solar puede ser absorbida por la película cuando parte de esta energía interacciona sobre las partículas del material. La interacción provoca que la radiación se disipe en el interior del objeto en forma de calor que eleva la temperatura del objeto. Existen materiales que poseen la característica de una absorción selectiva de la radiación. Esta absorción ocurre si la frecuencia de la radiación coincide con la frecuencia a la cual los electrones de los átomos del material vibran (Callister, 2007, p. 727; Panwar y Rathore, 2007, p. 111).

En la Figura 1.4 se muestran los tres mecanismos de interacción de la luz con una película plástica.

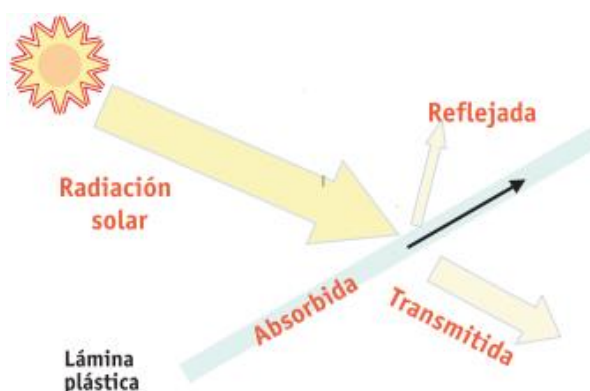


Figura 1.4. Radiación solar transmitida, reflejada y absorbida (Castilla, 2013, p. 39)

1.1.3.3. Reflexión

El fenómeno sucede cuando una porción de radiación solar regresa o es refleja desde un cuerpo después de chocar con su superficie, también se lo denomina reflectancia. El porcentaje de reflectancia es la cantidad de energía reflejada a una longitud de onda (Kaur, 2012, p. 47).

Índice de Refracción

La medida de la capacidad de un cuerpo transparente para refractar o desviar la luz cuando lo atraviesa se denomina índice de refracción. Esta medida es el cociente del seno de los ángulos de incidencia y de refracción. Los valores de índices de refracción típicos para los polímeros se encuentran entre 1,35 y 1,67 (Seymour y Carraher, 2002, p. 149).

1.1.4. ADITIVOS

Desde el inicio de la industria plástica ha sido necesario adicionar compuestos al polímero básico con el fin de poder procesarlos y mejorar sus propiedades.

Los aditivos son compuestos químicos, inorgánicos y orgánicos incorporados a un polímero para obtener un producto final con diferentes características. El número de aditivos empleados en la actualidad es amplia y su química son a menudo extremadamente complejos (Bart, 2005, p. 2).

Los aditivos plásticos empleados son clasificados de acuerdo a su mecanismo de acción que está ligado a su química y son incorporados al producto final, al inicio, durante el proceso o aplicado al final sobre su superficie.

La selección apropiada de uno o varios aditivos desarrolla un valor añadido al polímero procesado. La elección del aditivo depende del tipo de polímero y de la aplicación del producto deseado.

1.1.4.1. Masterbatch

Existen aditivos que pueden integrarse en el proceso de polimerización a través de procesos posteriores o en el proceso de transformación del polímero por medio del empleo de *masterbatch*, de aquí en adelante denominado MB.

El MB consiste de una alta concentración de uno o varios aditivos dispersados en una matriz polimérica como medio de transporte. Una de sus principales ventajas es la facilidad de procesamiento del aditivo con el polímero favoreciendo su dispersión en el producto final (Wheeler, 1999, p. 59).

La utilización de un MB evita el uso de pequeñas cantidades de aditivos. Los aditivos en polvos se adhieren al equipo de procesamiento y crean nubes de polvo en suspensión que generan pérdidas en la producción y lesiones a los operadores. Los aditivos líquidos son comúnmente viscosos y ocasionan residuos en los equipos de procesamiento.

1.1.4.2. Rellenos

Son materiales sólidos inorgánicos que se agregan a los polímeros como poliolefinas para incrementar sus propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, a la compresión y la tenacidad. También se los utiliza para mejorar la estabilidad dimensional y sus propiedades térmicas. Son ejemplos de rellenos, sílice, vidrio, talco, carbonato de calcio u otros polímeros (Bolgar, Groeger, Hubball y Meronek, 2007, p. 5; Callister, 2007, p. 512; Groover, 2010, p. 195).

1.1.4.3. Colorantes

Permiten obtener un color específico al polímero y pueden ser tintes o pigmentos. Los tintes son sustancias líquidas generalmente solubles en los polímeros. Los

pigmentos son materiales orgánicos e inorgánicos que no se disuelven en el polímero, de tamaño pulverizado (Bolgar et al, 2007, p. 6; Callister, 2007, p. 512).

1.1.4.4. Aditivos modificadores de las propiedades ópticas

Las propiedades ópticas de los polímeros se relacionan con su estructura. Los polímeros empleados en la agricultura como el polietileno de baja densidad (PEBD) son translucidos, sin embargo, se los pueden alterar aplicando colorantes. Algunos pueden llegar a ser opacos al añadir aditivos como filtros y estabilizadores (Seymour y Carraher, 2002, p. 148).

Los primeros aditivos empleados en cubiertas de invernaderos fueron los estabilizadores de radiación UV que absorben parte de este segmento del espectro para modificar la vida útil de una película plástica. La siguiente generación de aditivos ha desarrollado películas con el objetivo de mejorar la productividad de los cultivos como por ejemplo películas térmicas y fotoselectivas.

Las películas fotoselectivas empleadas como cubiertas de invernadero permiten generar beneficios al cultivo al reducir o bloquear determinada región o regiones del espectro solar que atraviesan la película plástica.

Filtros Ultravioletas UV

Las cubiertas más conocidas y empleadas en la agricultura son las que contienen filtros de radiación ultravioleta. Estos filtros pueden brindar propiedades antiplagas a las cubiertas, dentro de un cultivo cubierto alteran la actividad de los insectos interfiriendo en su orientación y visión. Además al bloquear parte de esta radiación evita las quemaduras del sol, esencial en la producción de flores (Catalina, 2001, p. 23).

Filtros Radiación Infrarroja Cercana NIR

A las películas plásticas se las puede alterar la capacidad de transmisión de luz, sobretodo en la región del IR, aplicando en ellas aditivos como pigmentos reflectivos y absorbedores de luz combinados con pigmentos metálicos (Espí, 2012, p. 81; Zabeltitz, 2011, p. 160).

Las películas plásticas con filtros NIR evitan la entrada de toda la radiación calorífica para de esta manera prevenir un sobrecalentamiento. Son empleadas sobretodo en regiones tropicales que reciben mayor cantidad de radiación solar.

Los materiales plásticos que contienen absorbedores de radiación NIR tienden a calentarse y emitir parte de este calor al interior del invernadero, esto provoca el incremento de temperatura del aire en el interior del invernadero (Hemming et al, 2006, p. 98; Zabeltitz, 2011, p. 160).

Existen aditivos que pueden modificar la interacción de la superficie de un material con la radiación ultravioleta, visible e infrarroja. Los óxidos metálicos como dióxido de titanio (TiO_2) u óxido de indio (InO) son muy conocidos por su alto nivel de transmitancia para la luz visible y gran reflexión del UV o infrarrojo cercano. La mejor manera de emplear estos óxidos es mediante nano partículas como un recubrimiento superior o depositado en la superficie del polímero (Pohl, 2010, p. 185).

Hemming et al (2006) concluyó que los materiales plásticos que contienen pigmentos reflectivos de la NIR son más eficientes que los pigmentos absorbedores de la NIR (p. 101).

1.1.5. PIGMENTOS REFLECTIVOS DEL INFRARROJO CERCANO

Son pigmentos orgánicos e inorgánicos que reflejan selectivamente longitudes de onda en la región del infrarrojo y en menor proporción de la región del visible. La

reflectividad de estos pigmentos es característico de cada uno de ellos (Fang et al, 2013, p. 1).

1.1.5.1. Pigmentos orgánicos

Los pigmentos orgánicos poseen propiedades superiores a los pigmentos inorgánicos como el nivel de sombra, brillo, mayor intensidad de color y baja toxicidad. A estos pigmentos se los puede clasificar en grupos y de cada grupo se puede elaborar distintos pigmentos al introducir un sustituyente diferente, como se observa en la Figura 1.5. Entre estos pigmentos se encuentran las benzimidazona, isoindolina, tetracloroisoindonona, entre otros (Kaur, 2012, p. 29).

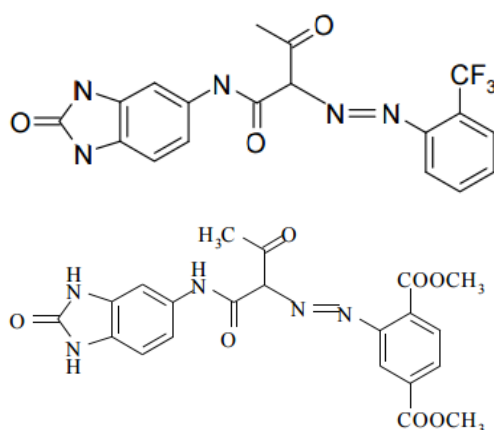


Figura 1.5. Estructura química de dos pigmentos orgánicos del grupo benzimidazona
(Kaur, 2012, p. 30)

Los pigmentos orgánicos son más costosos por lo que son utilizados en aplicaciones de gama alta como cubiertas decorativas, automóviles y partes de equipos. Además estos pigmentos son empleados en aplicaciones de ahorro de energía como cubiertas de barcos, refrigeradores, edificios, etc., para reducir el consumo de energía en un enfriamiento (Wang, 2013, p. 9).

1.1.5.2. Pigmentos inorgánicos

La mayoría de pigmentos reflectivos del NIR son pigmentos inorgánicos. Entre estos se encuentran metales como plata y oro; óxidos de metal como óxido de titanio y óxido de hierro. Estos pigmentos tienen la capacidad de maximizar la reflectividad de la región del NIR. Son estables y químicamente inertes.

Dentro de este grupo se encuentran los pigmentos de interferencia que son sustratos laminares como mica (óxido de hierro y aluminio), caolín (óxido de titanio) o talco (óxido de aluminio), cubiertas de una capa delgada óxidos metálicos (Espí, 2012, p. 81; Kaur, 2012, p. 32; Orient, 2004, p. 3).

1.1.5.3. Reflectancia del NIR en películas

La reflexión de la radiación en la zona del infrarrojo cercano produce una reducción de la carga termal que atraviesa una película (Ganguly.y Ghosh, 2011, p. 40; Kaur, 2012, p. 50).

La reflectividad del NIR producida por los pigmentos reflectivos presentes en una película depende principalmente de un valor del índice de refracción alto y del tamaño de partícula del pigmento.

Índice de refracción

Los pigmentos inorgánicos con valores altos de índice de refracción poseen una alta reflectancia de la radiación del infrarrojo cercano (Kaur, 2012, p. 51).

En la Tabla 1.1 se presentan los valores de índice de refracción de algunos minerales empleados como pigmentos reflectivos.

Tabla 1.1. Índice de refracción de tres minerales (Schweigger, 2005, p. 135)

Mineral	Índice de refracción
Dióxido de titanio	2,49
Pentóxido de dihierro	2,35
Talco	1,57

Tamaño de partícula

Es un factor importante ya que mientras el tamaño de la partícula disminuye la reflectancia del material aumenta (Fang et al, 2013, p. 4; Kaur, 2012, p. 50).

Jeevanandam et al (2006), señaló que la reflectancia del NIR de óxidos de metal de partículas de tamaño nanocristales aumentan entre 15% a 20% comparados con macrocristales (p. 1917). En la Figura 1.6 se observa el incremento de la reflectancia con el tamaño de partícula.

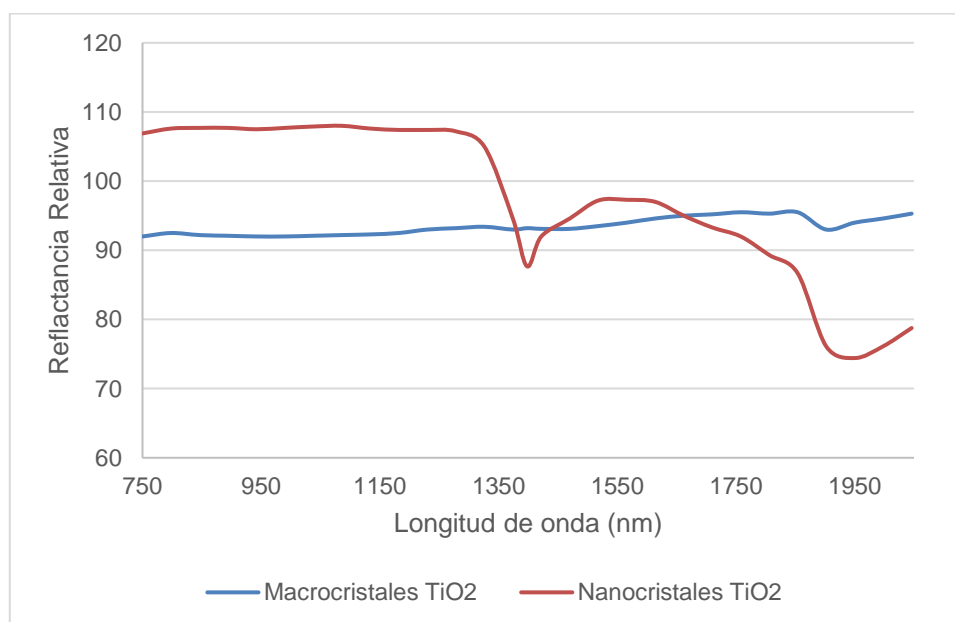


Figura 1.6 Reflectancia de partículas de óxido de titanio de tamaño nanocristales y macrocristales (Jeevanandam, et al, 2007, p. 1915)

Fang et al (2013) señaló que para reflejar la luz del IR en el rango de 800 – 1 200 nm, el tamaño de la partícula debería ser de al menos 0,4 a 0,6 micras, mientras que Bendiganavale (2008), señalo que el tamaño de partícula de los pigmentos que reflejan el IR de 700 – 1 100 nm debe ser de al menos 0,35 a 0,55 micras.

1.1.6. PELÍCULAS PLÁSTICAS CON PIGMENTOS REFLECTIVOS DEL NIR

El propósito de estos materiales de cubierta es reducir el paso de radiación NIR para evitar el sobrecalentamiento. Sin embargo por encontrarse consecutivas la radiación NIR y PAR, la reducción de la transmisión NIR con lleva a una reducción de la radiación PAR, indispensable para el proceso fotosintético de las plantas (Hemming, 2006, p. 100; López, González, García, Espí y Salmerón, 2007, p. 181).

Existen algunos tipos de plásticos empleados en la agricultura, para elaborar películas plásticas en particular se utiliza polietileno de baja densidad (PEBD) debido a sus características como bajo costo, fácil procesamiento sin y con aditivos, y altas propiedades mecánicas que brinda a la película (Scarascia, Sica y Russo, 2011, p. 20).

1.1.6.1. Polietileno de baja densidad

El polietileno es un polímero de cadena larga. Es una macromolécula que se forma mediante la polimerización de monómeros de etileno. La polimerización del etileno a alta temperatura y presión en reacciones catalíticas produce el PEBD.

El PEBD posee una estructura con ramificaciones largas e irregulares distribuidas aleatoriamente en la cadena del polímero. Esta estructura le otorga al PEBD menor grado de cristalinidad y bajo índice de fluidez que facilitan su procesamiento. Sus propiedades principales son su tenacidad, es translucido, flexible, inodoro e insípido. Es un termoplástico que se lo puede procesar empleando la mayoría de métodos convencionales y a un bajo costo de procesamiento.

Las desventajas del PEBD son baja rigidez, resistencia mecánica y temperatura de operación. Además, pobre resistencia a la radiación UV y alta flamabilidad.

El PEBD en la actualidad es el material más empleado en películas o cubiertas ya que se puede agregar fácilmente aditivos para modificar sus propiedades ópticas y mecánicas.

1.1.6.2. Películas de invernadero

Son empleados como cubiertas para cultivos protegidos. Su función principal es modificar el clima natural de un cultivo para incrementar la productividad. La mayoría de invernaderos poseen cubiertas de películas de PEBD. Películas de otros materiales poliméricos como cloruro de polivinilo PVC, poliéster, etc, son atípicas.

Empleando aditivos añadidos al PEBD se puede aumentar la duración del filme, alterar su transparencia a la radiación visible, modificar sus propiedades de absorción y reflexión de las distintas regiones del espectro. Existen diferentes películas de invernadero, su función depende del tipo de aditivo que llevan.

- De larga duración: Incorporan aditivos fotoestabilizadores UV que permiten prolongar la vida de la cubierta hasta por 3 cosechas.
- Térmicos: Empleando aditivos bloquean la radiación del infrarrojo lejano disminuyendo el efecto de la inversión térmica.
- Fotoselectivos: Se encargan de filtrar determinadas regiones del espectro de luz que pasa a través de la película. Estas películas tratan de evitar bloquear la región PAR. En este grupo se encuentran las películas antitérmicas que filtran la radiación NIR para reducir la temperatura dentro de un invernadero.

También se encuentran las películas antiplagas que bloquean parte de la radiación UV para obstaculizar el desarrollo de plagas transmitidas por insectos, sensibles a esta radiación.

- Difusores: Son películas que incrementan la proporción de radiación difusa dentro de un invernadero.

1.1.6.3. Propiedades de las películas antitérmicas

Abdel et al (2012) sugiere que las películas reflectivas de la radiación NIR deben cumplir los siguientes requerimientos (p. 4).

- Alta transmisión de la radiación PAR, indispensable para el crecimiento de las plantas.
- Alta reflexión de la radiación NIR, debe ser bloqueada para evitar el sobrecalentamiento en el interior.
- Altas propiedades mecánicas para prevenir roturas por los vientos, granizadas.
- Durabilidad
- Bajo costo
- Evitar afectar el rendimiento y productividad del cultivo.

1.1.6.4. Aplicaciones de las películas antitérmicas

En el Ecuador uno de los más importantes los cultivos protegidos por cubiertas de invernadero es el cultivo de tomate de riñón debido a su rentabilidad por su alta producción. Es una de las hortalizas de mayor consumo en la dieta diaria de la población.

Una de las ventajas de cultivar tomates bajo invernaderos es su mayor tiempo de duración luego de cosechados, respecto a los tomates sembrados al aire libre. Esta diferencia lo hace preferido por los productores, comerciantes y consumidor final.

Además, la productividad de los cultivos de tomate bajo invernadero se incrementa. Una planta de tomate bajo invernadero produce en promedio de 7 kg, en cambio una planta al aire libre produce solo 2,5 kg (Guerrero, 2001, p.12).

Un cultivo de tomate bajo invernadero se lo puede realizar en cualquier región del Ecuador y en cualquier época del año. El tomate requiere de condiciones climáticas específicas como una temperatura entre 18 y 25°C para su desarrollo (Caguana, 2003, p. 11).

Debido a este rango de temperatura para su desarrollo, la temperatura dentro del invernadero en el día debe ser manejada mediante sistemas de ventilación, cortinas en las paredes y mallas para evitar un sobrecalentamiento. Todas estas opciones implican un costo agregado al invernadero.

Una opción para evitar el sobrecalentamiento dentro de un invernadero es el empleo de películas antitérmicas como material de cubierta.

1.2. PROCESO DE EXTRUSIÓN DE PELÍCULAS SOPLADAS

1.2.1. EXTRUSIÓN DE POLÍMEROS

La extrusión es un proceso de compresión en el cual el material es forzado a fluir a través de una boquilla para elaborar productos largos y continuos de sección transversal constante (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 85; Groover, 2010, p. 271).

En la transformación de los polímeros el proceso de extrusión es uno de los más utilizados para la producción de piezas de sección continua. Los polímeros más utilizados en este proceso son los termoplásticos (Ramos, 2013, p. 69).

La extrusión es uno de los más importantes procesos para la obtención de distintas formas por su fácil operación debido a que una vez establecidas las condiciones de

operación, la extrusión continua de forma constante con la presencia de controles del proceso.

El proceso de extrusión está diseñado para transformar continuamente un material dúctil a una forma en particular. Una extrusora básicamente es un tornillo transportador que desplaza el material plástico frío mediante el giro del mismo. La plastificación del termoplástico comienza por acción de la temperatura de las resistencias eléctricas y la fricción del material provocada por un elemento giratorio interno conocido como husillo. El termoplástico es obligado a salir bajo presión a través de un dado que le brinda una forma definida para luego ser enfriado provocando su solidificación y estabilidad.

Los termoplásticos procesados necesitan ser enfriados para obtener estabilidad dimensional. El enfriamiento puede ser aplicado mediante el paso del producto a través de un tanque de agua, rociando agua o con una corriente de aire frío.

1.2.1.1. Extrusora monohusillo o de husillo simple

En la Figura 1.7 se muestra una extrusora monohusillo, equipo principal para el proceso de extrusión, compuesto de un cilindro y un husillo o tornillo. En la extrusión de termoplásticos, el material en forma de gránulos y/o polvos se carga en una tolva. La alimentación del material se produce por gravedad desde la tolva hacia la extrusora, en donde es calentado, mezclado, fundido y forzado a pasar a través de una boquilla por medio de un tornillo giratorio (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 86; Groover, 2010, p. 272).

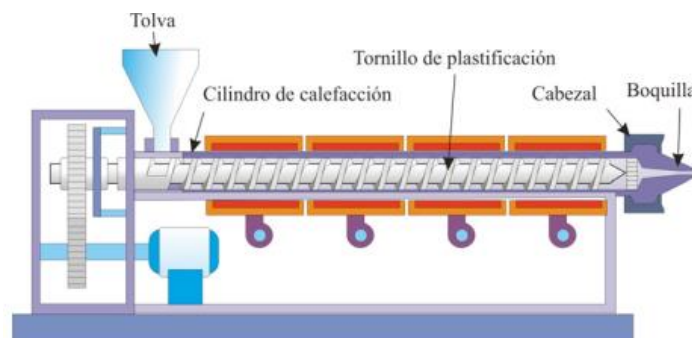


Figura 1.7. Extrusora de un husillo (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 86)

1.2.1.2. Componentes de la extrusora

Husillo

El husillo o tornillo extrusor se trata de un cilindro de acero con un canal helicoidal. La cresta helicoidal formada por el canal es denominada filete y la distancia entre dos filetes es llamado paso. El ángulo de hélice del husillo permite optimizar la alimentación, su valor típico es $17,5^\circ$. En la Figura 1.8 se pueden observar los elementos antes mencionados (Chanda & Roy, 2009, p. 24).

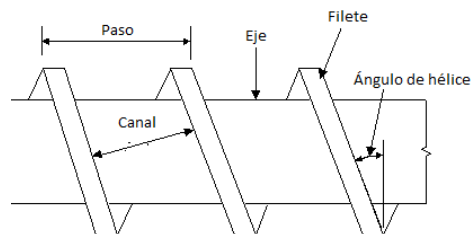


Figura 1.8 Partes del husillo (Chanda & Roy, 2009, p. 24)

La función principal es transportar el material fundido por su acción mecánica hacia la abertura del dado. Se emplea calentadores eléctricos para fundir inicialmente los gránulos del material, la posterior mezcla y trabajo mecánico del material produce el calor adicional que permite mantener la fusión del material y transformarlo en fluido (Groover, 2010, p. 272; Ramos, 2013, p. 70).

Los tornillos poseen una diversidad de diseños con características específicas en función del material a ser procesado. Comúnmente un husillo se divide en tres secciones o zonas, alimentación, compresión y dosificación. En la Figura 1.9 se muestra las tres zonas de un husillo y las diferentes profundidades de los canales.

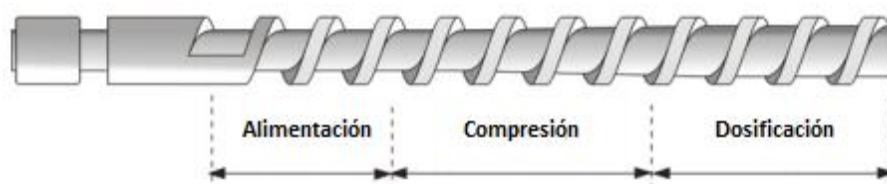


Figura 1.9. Zonas del husillo (Chanda & Roy, 2009, p. 27)

Zona de alimentación: El material transportado desde la tolva se compacta en forma sólida, se precalienta y se dirige hacia la región central del cilindro. En esta zona la profundidad del canal del husillo es mayor (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 101).

Zona de compresión o transición: La profundidad de los canales del husillo se reduce produciendo una compactación y fusión del material. Como consecuencia de la compresión se incrementa el cizallamiento en el material fundido. El cizallamiento provoca una mejor mezcla y genera calor por fricción. El aire encerrado entre los gránulos fundidos escapa por la tolva de alimentación (Chanda & Roy, 2009, p. 25; Groover, 2010, p. 272).

Zona de dosificación: En esta zona se debe desarrollar suficiente presión en el material fundido para bombearlo a través del orificio del dado. La profundidad de los canales es menor y se mantiene constante (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 101).

Cilindro

El cilindro o barril de calentamiento aloja en su interior al tornillo. Parte del calentamiento del material es realizado mediante resistencias eléctricas ubicadas en toda su longitud que se pueden encontrar divididas en varias zonas para conseguir un gradiente de temperatura adecuado desde la tolva hasta la boquilla. Además, el calentamiento también se produce por el calor generado a partir de la fricción por la compresión y cizallamiento de husillo y el polímero (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 103,104).

Tolva

Es un artefacto similar a un embudo que se emplea para alimentar el material en forma de gránulos o polvos en la extrusora. El material puede ser de un componente o una mezcla de dos o más componentes. La sección de una tolva tiene forma circular o rectangular, con paredes inclinadas.

Cabezal

El cabezal se encuentra al final del cilindro sosteniendo la boquilla. Su perfil interno debe facilitar la salida del material fundido hacia la boquilla. Su función es proporcionar forma al polímero fundido (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 107).

Boquilla

Es un componente del cabezal que tiene la función de dar la forma final al material extruido. Existen diferentes configuraciones o formas como anulares, planas, circulares, etc. Se componen de tres partes que son el canal de entrada, distribuidor y la zona de salida (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 107).

Plato rompedor y filtros

El plato rompedor es un disco delgado metálico con agujeros colocado al final del cilindro. En la Figura 1.10 se muestra la ubicación del plato rompedor y filtros. Su función es romper el flujo del material proveniente del husillo y cambiar la dirección del flujo helicoidal a axial. El plato rompedor se ubica detrás de los filtros y soporta a los mismos. Los filtros se encargan de atrapar impurezas para evitar que salgan en el producto extruido, además de mejorar el mezclado y homogenizar el material fundido (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 106).

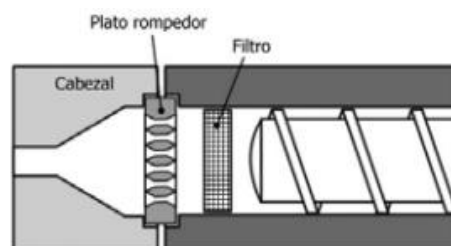


Figura 1.10 Plato rompedor y filtros

1.2.2. EXTRUSIÓN DE PELÍCULAS SOPLADAS

1.2.2.1. Proceso de elaboración de películas sopladas

Es un proceso más complejo que combina la extrusión y el soplado para elaborar un tubo o burbuja vertical continua de pared delgada. Es común para la obtención de películas de plástico a partir de polietileno de alta densidad PEAD y polietileno de baja densidad PEBD. Este proceso ofrece ventajas como variabilidad en el ancho y espesor de la película, además de mejorar las propiedades mecánicas producto de la orientación longitudinal y transversal que se le da al material. (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 157; Salán, 2005, p 138;)

El proceso inicia cuando la resina es fundida sometiéndola a calor y presión dentro del cilindro de la extrusora. Luego la masa fundida es forzada a pasar a través de una boquilla en forma anular o circular en dirección hacia arriba. El material fundido resultante tiene una forma de tubo, también llamada burbuja o película soplada.

El tubo formado se infla con aire por el interior de la boquilla para luego colapsarla entre dos rodillos de presión ubicados en la parte superior que encierran el aire. A medida que asciende el material es enfriado exteriormente por una corriente de aire que proviene del anillo de enfriamiento. (Beltrán y Marcilla, 2012, p. 157; Groover, 2010, p. 282; Kalpakjian y Schmid, 2002, p. 484).

En la Figura 1.11 se muestran las partes o equipos que componen el proceso de extrusión de las películas sopladas (Rodríguez, Castro y Del Romero, 2010, p. 19-21).

1. Extrusor: Es el equipo principal del proceso y contiene resistencias eléctricas que ayudan a fundir el material que ingresa por la tolva. El movimiento de los tornillos del extrusor permite que el material se mezcle, funda y transporte a través del equipo. Además, se incrementa la presión que permite la salida del material fundido hacia el cabezal (Kalpakjian y Schmid, 2002, p. 481).

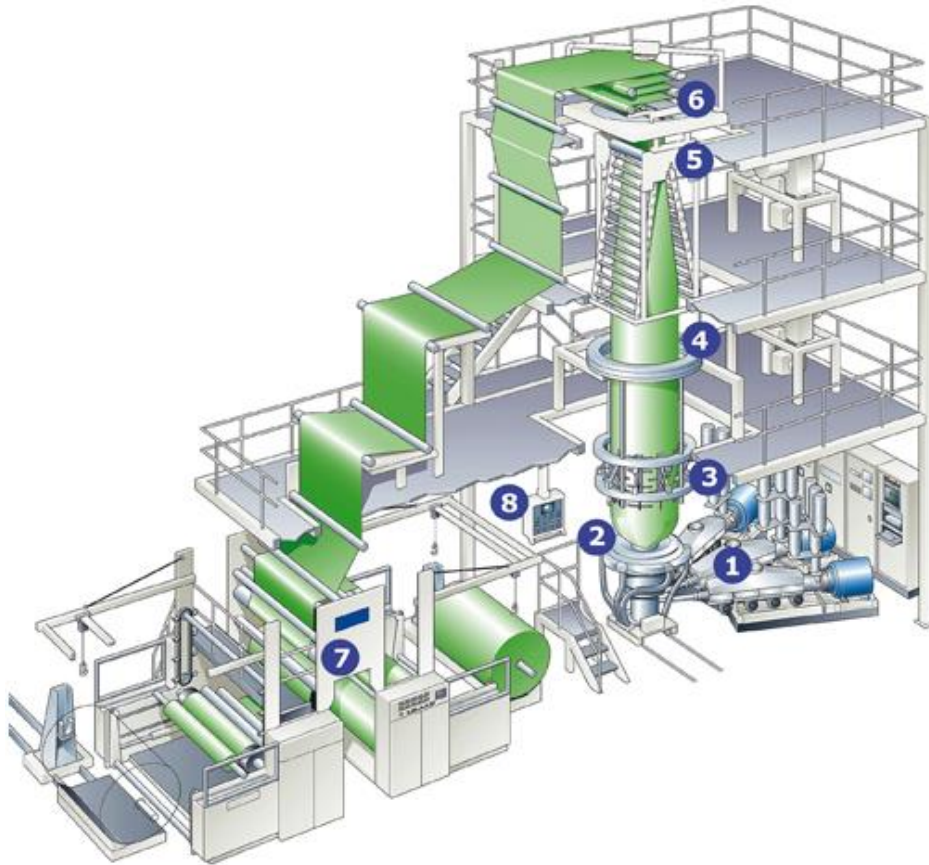


Figura 1.11. Equipos empleados en el proceso de extrusión de películas sopladas (Rodríguez et al, 2010, p. 21)

- 2. Cabezal y boquilla:** Se encargan de dar forma tubular, de finas paredes y espesor constante al polímero fundido. Luego de la extrusión vertical de un tubo, se lo estira inmediatamente hacia arriba e infla como un globo soplado rápidamente hasta su tamaño y espesor deseado mediante la inyección de un volumen de aire.

El soplado con aire permite estirar la película en dirección radial mientras que a la vez los rodillos haladores lo estiran en dirección axial, permitiendo la película adquiera propiedades de resistencia similares en estas direcciones. Además, es fácil cambiar la velocidad de los rodillos haladores y la presión del aire para controlar el ancho y espesor de la película (Groover, 2010, p. 282).

El ancho final de la película se puede regular, para aumentar el ancho se inyecta más cantidad de aire y para reducirlo se debe permitir la salida del aire.

3. **Anillo de enfriamiento:** Se encuentra sobre el cabezal. El aire es recogido por medio de un ventilador y forzado a distribuirlo a través de un anillo para enfriar y solidificar el material en forma de tubo. Una corriente óptima de flujo de aire para el enfriamiento solo puede ser lograda experimentando debido a fluctuaciones de la temperatura ambiente (Carranza, 2004, p. 43).
4. **Rodillos guías:** Son unos pequeños rodillos que rodean a la burbuja sobre la línea de enfriamiento. Tienen la función de guiar y estabilizar la película enfriada y dirigirla hacia los rodillos de presión.
5. **Rodillos de presión:** Son dos cilindros que se encuentran juntos aplicando presión. Los cilindros producen un cierre que mantiene el aire atrapado y comprimen el tubo a una lámina. Además, permiten el desplazamiento vertical ascendente del material que sale desde el cabezal mediante la velocidad de los rodillos o de tiraje. A mayor velocidad de tiraje menor espesor y viceversa (Morán, 2004, p. 55).
6. **Unidades de halado:** Es un sistema de rodillos que mantienen la tensión constante sobre la película de polietileno en movimiento y la dirigen hacia el equipo bobinador. Existen aparatos automáticos que mantienen una tensión adecuada que permiten obtener películas con superficies uniformes.
7. **Equipo bobinador:** La película tubular una vez enfriada es cortada por uno o ambos lados para ser enrollado en un carrete. Debe mantener una velocidad constante y esta debe ser proporcional a la velocidad de tiraje.
8. **Panel de control:** Permite controlar la velocidad del tornillo, temperaturas de las resistencias eléctricas de la extrusora, velocidad de los rodillos y velocidad del equipo bobinador.

1.2.2.2. Parámetros del proceso de elaboración de películas sopladas

En el proceso de extrusión de películas sopladas intervienen variables típicas de la extrusión tales como el perfil de temperaturas de la extrusora, la velocidad del tornillo y la velocidad del halador. Además, variables del proceso de soplado como relación de soplado y relación de estiramiento.

Perfil de temperaturas de la extrusora

Son las diferentes temperaturas con las que trabaja la extrusora en su interior. Se establece mediante resistencias eléctricas en función del tipo de material y del producto deseado. La menor temperatura se encuentra en la zona de alimentación o zona 1.

Se establece un perfil de temperaturas que permita alcanzar una viscosidad del polímero adecuada para su procesamiento. Se puede empezar con un perfil de temperaturas recomendado por el fabricante del material o por experiencia propia. El PEBD se puede procesar por extrusión en el rango de temperaturas de 160 °C a 240 °C (Rosato, Rosato y Rosato, 2001, p. 339).

Pérez et al (2013) trabajó con un perfil de temperaturas entre 180°C a 230 °C para el procesamiento de PEBD (p. 264).

Delgado et al (2011) elaboró películas de PEBD con aditivos con un perfil de temperaturas entre 160°C a 220°C (p. 54).

En una película soplada el brillo y claridad aumentan con el uso de temperaturas elevadas. Trabajar a temperaturas menores provoca una mezcla heterogénea de los materiales y diferentes espesores. Sin embargo, trabajar con temperaturas demasiado elevadas provoca una mezcla excesivamente fluida, difícil de formar una película (Morán, 2002, p. 27).

Velocidad del tornillo

Se relaciona con la cantidad de material que sale desde el extrusor. Valores altos permiten un aumento de la producción pero conlleva a efectos como el aumento de la orientación molecular, reducción de la estabilidad de la burbuja y la aparición del fenómeno conocido como fractura del fundido o piel de naranja (Pérez et al, 2013, p. 260).

Velocidad del halador

La velocidad de la unidad de halado o velocidad de tiraje otorga a la película el espesor deseado, junto con la cantidad de aire dentro de la burbuja. A mayor velocidad se obtienen películas más delgadas (Rodríguez et al, 2010, p. 20).

Relación de estiramiento

Se lo conoce también como TUR y es el cociente entre la velocidad de estirado de los rodillos prensadores y la velocidad de salida del material fundido por la boquilla (Pérez et al, 2013, p. 259).

En las películas sopladas la orientación MD se relaciona con la TUR mientras que en la orientación TD interviene el BUR. Se busca un equilibrio entre estos parámetros para obtener películas con menor anisotropía en sus propiedades mecánicas finales, para evitar roturas o desgarros (Cañizares et al, 2002, p. 153).

Relación de soplado

Es un parámetro adimensional que se obtiene del cociente entre el diámetro de burbuja (D) y el diámetro del cabezal (D_o). También se lo conoce por sus siglas en inglés como BUR, *blow up ratio*. El diámetro de la burbuja es siempre mayor al

diámetro del cabezal. Para polietileno de baja densidad esta relación debe encontrarse entre 2 a 3 aproximadamente (Nouri et al, 2006, p. 156; Pérez et al, 2013, p. 259).

El diámetro de la burbuja es diferente del ancho de la película que llega al bobinador, como se observa en la Figura 1.12.

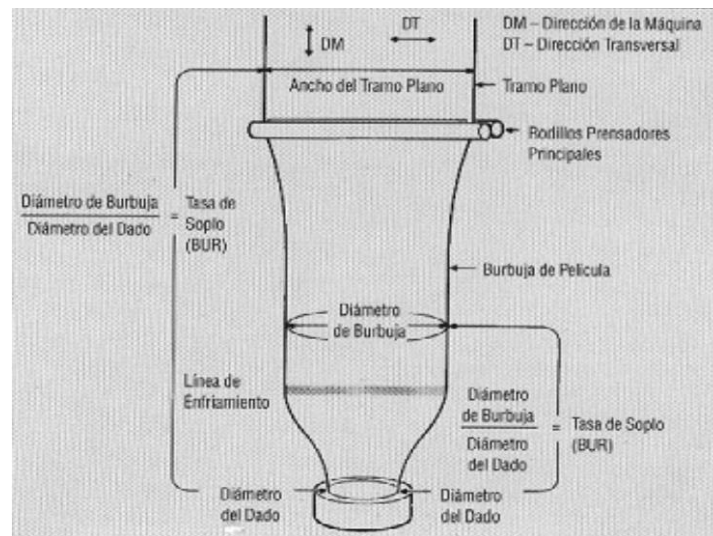


Figura 1.12. Película soplada (Morán, 2002, p. 36)

En una película obtenida por el proceso de extrusión soplado la orientación en sentido de la extrusión se denomina en dirección de la máquina (MD). El sentido perpendicular al borde lateral de la película se lo conoce como dirección transversal (TD) (Cañizares et al, 2002, p. 153).

1.2.3. PROPIEDADES DE LAS PELÍCULAS SOPLADAS

1.2.3.1. Propiedades mecánicas

Determinan el comportamiento de un material sometido a esfuerzos mecánicos. El análisis de estas propiedades es importante en el diseño, caracterización de materiales y control de calidad.

Utilizando una máquina universal de ensayos se puede realizar el ensayo de tracción deformación para determinar propiedades tensiles como tensión y rasgado. Los valores de estas propiedades varían con el espesor de la película, velocidad del elemento móvil y tipo de mordaza. Para realizar comparaciones se debe mantener condiciones iguales en el ensayo y emplearse probetas de idénticas dimensiones.

Ensayo de tracción deformación

Los ensayos de tracción de láminas plásticas delgadas permiten medir la fuerza requerida para romper una probeta y la elongación de un material hasta llegar al pico de su propiedad y finalmente la ruptura como se muestra en la Figura 1.13.

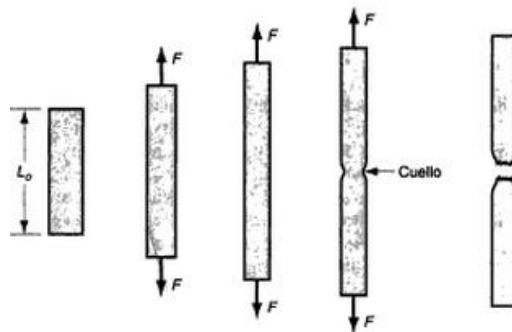


Figura 1.13. Ensayo de tensión (Groover, 2010, p. 41)

Para este ensayo se aplica una fuerza que deforma la probeta tendiendo a estirarse y reducir su espesor. La fuerza o carga y el cambio de longitud de la probeta se registran hasta llegar a la ruptura. Estos datos se emplean para determinar las relaciones esfuerzo – deformación (Groover, 2010, p. 44).

Ensayo de rasgado

El ensayo de rasgado permite medir la capacidad de las películas de soportar el rasgado o determinar la fuerza necesaria para iniciar un rasgado en un material. La norma ASTM 1004 determina la resistencia al rasgado con cargas bajas.

Para este ensayo se aplica una fuerza para provocar el rasgado de la probeta. La geometría de la probeta para este ensayo se muestra en la Figura 1.14. El inicio del rasgado se produce en el ángulo de 90° . La velocidad de la prueba se controla para producir el desgarro en una pequeña zona de concentración de tensiones.

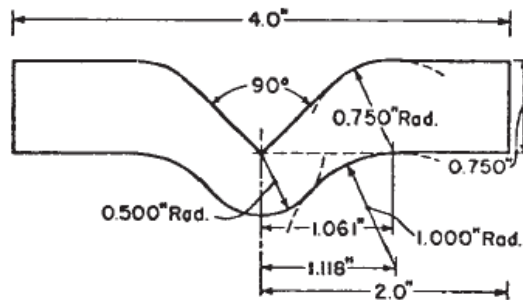


Figura 1.14. Dimensiones de la probeta para el ensayo de rasgado (ASTM D-1004, 2013, p. 2)

1.2.3.2. Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas más importantes de las películas sopladas empleadas como cubiertas de invernadero son las relacionadas con la transmisión y dispersión de la luz al atravesar la película. La norma ASTM D 1003 describe el procedimiento que permite determinar el porcentaje de *haze* y transmitancia luminosa de los materiales plásticos.

Turbidez o *Haze*

El porcentaje de *haze* o dispersión interna de la luz es el porcentaje de luz transmitida a través de una película que se desvía más de 2,5 grados desde la dirección del haz entrante. El *haze* aumenta debido a la estructura molecular, la cristalinidad, la separación de fases de mezclas o impurezas y la dispersión de pigmentos (Abdel, 2003, p. 21).

La luz difundida desde una película produce un campo de visión nublado a través del material. La norma ASTM D 1003 proporciona un método de ensayo para la

evaluación de esta propiedad. El método consiste en colocar una muestra de la película entre la fuente de luz y un fotodetector. Se emplea un medidor de opacidad o turbidez para cuantificar en porcentajes la luz transmitida y luz dispersada al atravesar una película. En la Figura 1.15 se observa las partes principales de un medidor de opacidad.

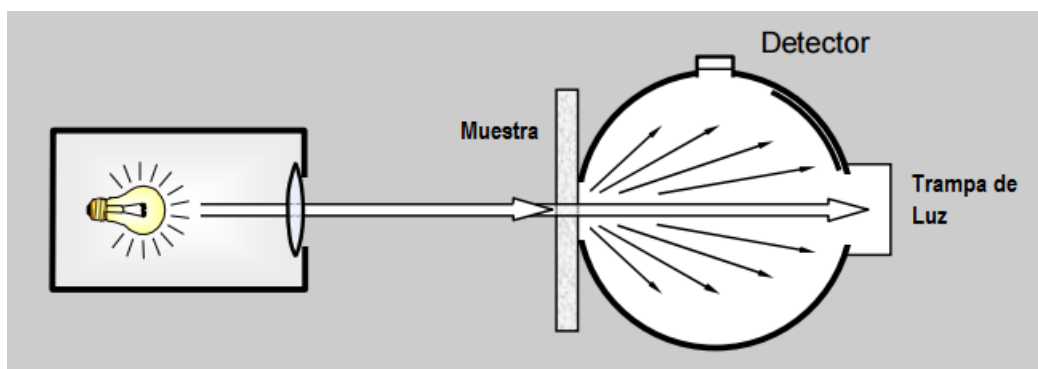


Figura 1.15 Esquema de un medidor de opacidad
(Byk-Gardner, 2010, p. 5)

Transmitancia luminosa

Es la relación de la luz transmitida y la luz incidente. Representa el porcentaje de luz visible transmitida o que logra pasar a través de una película. La luz visible es la principal fuente de energía para el desarrollo de los vegetales, por lo que la transmitancia de esta luz a través de una película debe ser la mayor posible.

Sin embargo, la presencia de una película provoca una reducción en la cantidad de radiación que ingresa al cultivo que se traduce en disminución en la actividad fotosintética del cultivo.

La presencia de aditivos en una película plástica disminuye la transmisión de la radiación.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. CARACTERIZACIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA DE UN MASTERBATCH DE POLIETILENO CON EFECTO ANTITÉRMICO

2.1.1. CARACTERIZACIÓN ORGÁNICA DEL MASTERBATCH

Análisis por espectroscopia de infrarrojo (FTIR)

Para caracterizar la parte orgánica del MB antitérmico, se procedió a realizar un análisis por espectroscopia de infrarrojo (FT-IR).

Se preparó a partir de 0,5 g de MB una muestra de película delgada por el método de prensado en caliente. La prensa Carver permaneció alrededor de 30 segundos a 200 °C y 138 000 kPa.

La película delgada obtenida fue analizada en un espectrofotómetro infrarrojo Perkin Elmer modelo Spectrum One mediante transmitancia en el rango desde los 4 000 hasta los 450 cm^{-1} . Una vez obtenido el espectro se identificó mediante los grupos funcionales el polímero matriz del MB y la presencia de algún pigmento orgánico.

2.1.2. CARACTERIZACIÓN INORGÁNICA DEL MASTERBATCH

2.1.2.1. Contenido de cenizas en termoplásticos

Para determinar los componentes inorgánicos presentes en el MB se empleó el método de contenido de cenizas en termoplásticos ASTM D5630. El procedimiento permitió eliminar la parte orgánica del MB antitérmico.

Se empleó un mechero para empezar a quemar aproximadamente 5 g de MB en un crisol de porcelana previamente tarado. Se continuó quemando la muestra hasta que no aparezcan llamas visibles saliendo desde el crisol.

El crisol que contiene la muestra quemada fue trasladado a un horno eléctrico a 800°C por 30 minutos para obtener las cenizas del MB. Luego fue retirado del horno y enfriado en un desecador hasta temperatura ambiente.

2.1.2.2. Análisis por espectroscopia de infrarrojo (FTIR)

Para caracterizar las cenizas del MB, se procedió a realizar un análisis por espectroscopia de infrarrojo (FT-IR). Se molió 1 mg de cenizas del MB junto con 100 mg de bromuro de potasio. Luego la mezcla se llevó a la prensa a 3000 psi para conseguir una pastilla delgada transparente de aproximadamente 1 cm de diámetro.

La pastilla delgada obtenida fue analizada en un espectrofotómetro de infrarrojo Perkin Elmer modelo Spectrum One mediante transmitancia en el rango desde los 4 000 hasta los 450 cm^{-1} .

2.1.3. Análisis por difracción de rayos X (DRX)

Para identificar y cuantificar las estructuras cristalinas presentes en las cenizas del MB, se procedió a realizar un análisis por difracción de rayos X. Se tomó 0,5 g de las cenizas en un porta muestras de teflón y se colocó dentro del difractómetro a 1 000 unidades de intensidad. La muestra fue dispersada homogéneamente.

La muestra fue analizada en un difractómetro Bruker-Siemens D8 Advance. La identificación de los compuestos se realizó comparando la posición e intensidad de los picos de difracción de la muestra con los de la base de datos del equipo. El análisis cuantitativo se realizó empleando el software EVA 6.0.

2.1.4. Análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB)

Para la determinación del tamaño de las partículas de las cenizas del MB, se procedió a realizar un análisis por microscopía electrónica de barrido.

Para la obtención de la micrografía se tomó 0,1 g de muestra de la ceniza de MB y se colocó sobre un portaobjetos de aluminio junto a una doble capa de adhesión de carbono. La muestra fue analizada en la cámara del microscopio electrónico de barrido marca Tescan con analizador de rayos X Quantax. Se consiguió una imagen de las cenizas del MB y se realizó una serie de aumentos hasta observar el tamaño de las partículas presentes en la muestra.

2.2. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS PELÍCULAS SOPLADAS DE PEBD CON Y SIN MASTERBATCH

Para la obtención de las películas sopladas de PEBD con y sin MB se empleó una extrusora monohusillo marca TECNOVA ES75N/30D. En la Tabla 2.1 se muestran las características principales de la extrusora.

Tabla 2.1. Características de la extrusora TECNOVA ES75N/30D

Características	Valor
Zonas de control de temperaturas	9
Diámetro del cilindro	0,2 m
Longitud del cilindro	2 m

2.2.1. CONDICIONES Y VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Las condiciones del proceso de extrusión establecidas fueron el perfil de temperatura de las diferentes zonas de la extrusora para procesar PEBD, la velocidad del tornillo y la velocidad de tiraje para obtener películas sopladas de 200

μm de espesor. Como variable del proceso se estableció la influencia del MB en las películas de PEBD mediante 6 niveles de concentración de MB.

2.2.1.1. Condiciones

Para establecer el perfil de temperaturas se investigó en bibliografía perfiles de temperatura de procesamiento de PEBD para películas sopladas. Se encontró que estas temperaturas se encuentran en el rango desde 160°C hasta 240°C. (Delgado, 2011, p. 54; Rosato, Rosato y Rosato, 2001, p. 339)

En la zona 1 o de alimentación, temperatura más baja en la extrusora, se estableció una temperatura de 180°C. Las temperaturas de las siguientes regiones de la extrusora fueron variadas de forma ascendente hasta lograr que el material salga de manera homogénea y con un flujo continuo. Además, se ajustó la velocidad del tornillo que junto con el perfil de temperaturas permitieron que el material en forma de tubo emerja sin inconvenientes.

Luego de fijar el perfil de temperaturas de la extrusora, velocidad del tornillo y de tiraje, se alimentó las mezclas. Las temperaturas para el PEBD se mantuvieron ya que el material en forma de tubo continuó saliendo de manera homogénea.

2.2.1.2. Variable del proceso

Se consideró como variable de operación la concentración del MB en las películas sopladas. El estudio se realizó mediante 6 niveles de concentración de MB y una película que contiene solamente PEBD. Las diferentes concentraciones de muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Formulaciones de las películas extruidas

Nombre de la película	Concentración MB (%)	Concentración PEBD (%)
PE	0	100
FL5	5	95
FL6	6	94
FL7	7	93
FL8	8	92
FL9	9	91
FL10	10	90

2.2.2. PROCESO DE EXTRUSIÓN DE LAS PELÍCULAS ANTITÉRMICAS

2.2.2.1. Preparación de la mezcla

El proceso de extrusión inicia con la mezcla de los materiales. La cantidad de MB antitérmico y PEBD para la mezcla de cada uno de los niveles de estudio, se pesaron en una balanza electrónica de plataforma marca Acu. La mezcla de los materiales se realizó de forma manual durante 10 minutos.

2.2.2.2. Extrusión de las películas sopladas

El proceso de extrusión que se utilizó para el procesamiento de los materiales consiste de varios equipos que permiten transformar el MB y PEBD en forma de gránulos en películas sopladas.

1. Se fijaron las temperaturas de las diferentes zonas de la extrusora y se dio inicio al calentamiento de la extrusora.
2. A una temperatura de 150°C, temperatura de fundición del PEBD, se pone en marcha el tornillo a velocidad de 5 rpm.
3. Se comenzó a alimentar la tolva con PEBD.

4. El material que sale del cabezal se enlazó a una guía que tiene una trayectoria por los rodillos de presión y bobinadores a una velocidad de tiraje menor.
5. Se purgó la extrusora hasta alcanzar los valores del perfil de temperatura.
6. Se aumentó la velocidad del tornillo hasta la velocidad deseada de 26 rpm.
7. Se tomó la manga que sale del cabezal y se selló.
8. Se empezó a inyectar aire para formar la burbuja.
9. Se encendió el anillo de enfriamiento.
10. Se fijó la velocidad de tiraje deseada de 210 m/h.
11. Se midió el espesor de la película, si es muy grueso se sube la velocidad de tiraje, si es muy bajo se reduce la velocidad. Este procedimiento se denomina calibrado o calibración.
12. Cuando el espesor de la película se encuentre dentro del rango se corta por un borde y se bobina la película de PEBD.
13. Al terminar de extruir el PEBD se cambió la alimentación de la tolva por una de las formulaciones.
14. Se continuó alimentando las diferentes formulaciones de las películas.

Se emplearon iguales condiciones de extrusión para realizar la evaluación de las propiedades mecánicas y ópticas de las películas sopladas con y sin MB.

2.2.3. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

2.2.3.1. Ensayo de tracción deformación

Se trabajó bajo la norma ASTM D 882 “Método estándar de prueba para propiedades tensiles de láminas plásticas delgadas”. A partir de las películas extruidas y utilizando un troquel se cortaron 5 probetas normalizadas en sentido longitudinal o dirección de la máquina MD y 5 probetas normalizadas en el sentido transversal a la extrusión TD para realizar las mediciones. En la Figura 2.1 se muestra el molde empleado en el troquel para obtener las probetas.



Figura 2.1. Molde empleado en el troquel para recortar las probetas para el ensayo de tracción deformación

Las dimensiones de las probetas son de 12 cm de largo y 1 cm de ancho y su espesor se midió con un micrómetro.

Para realizar las mediciones se empleó una máquina de ensayos universales LLOYD modelo LFPlus. Las condiciones para realizar las mediciones se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Condiciones para la prueba de tensión

Parámetro	Valor
Velocidad de mordazas	500 mm/min
Distancia entre mordazas	65 mm
Ancho de la probeta	10 mm

Se obtuvo el valor de la resistencia a la ruptura y elongación de cada una de las muestras. Los resultados fueron expresados en términos de valor promedio y desviación estándar de cada una de las películas sopladas.

2.2.3.2. Ensayo de rasgado

Se trabajó siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D 1004 “Método estándar de prueba para resistencia al rasgado de láminas plásticas”. A partir de las películas extruidas y utilizando un troquel se cortó 10 probetas de dimensiones establecidas en sentido longitudinal o dirección de la máquina MD y 10 probetas en el sentido transversal a la extrusión TD. En la Figura 2.2 se puede observar la forma del molde empleado para obtener las probetas.



Figura 2.2. Molde empleado en el troquel para cortar probetas utilizadas en el ensayo de rasgado

Las dimensiones de las probetas son de 10 cm de largo y 1,9 cm de ancho y su espesor se midió con un micrómetro marca MITUTOYO con precisión de 0,1 micras.

Para realizar las mediciones se empleó una máquina de ensayos universales LLOYD modelo LFPlus. Las condiciones para realizar las mediciones de la prueba de rasgado se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Condiciones para el ensayo de rasgado

Parámetro	Valor
Velocidad de mordazas	51 mm/min
Distancia entre mordazas	25,4 mm

Se obtuvo el valor de la resistencia al rasgado de cada una de las probetas. Los resultados fueron expresados en términos de valor promedio y desviación estándar de cada una de las películas sopladas.

2.2.4. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS

2.2.4.1. Determinación del porcentaje de turbidez y transmitancia luminosa

Para determinar estas propiedades se siguieron los lineamientos de la norma ASTM D 1003 “Método estándar de prueba para *haze* y transmitancia luminosa de plásticos transparentes”. El método consiste en colocar una muestra de la película

entre la fuente de luz y un fotodetector. Se emplea un medidor de opacidad o turbidez para cuantificar en porcentajes la luz transmitida y luz dispersada al atravesar una película.

Para medir estas propiedades se utilizó un medidor de opacidad marca Haze-Gard Plus. Se procedió de la siguiente forma para las mediciones de estas propiedades:

- Se cortó 1 probeta rectangular de cada una de las películas sopladas de dimensiones 20 cm x 60 cm.
- Se colocó la probeta extendida junto a la fuente luminosa y se obtuvo la medida de las propiedades.
- Se realizó 5 mediciones en diferentes puntos de la probeta y se obtuvo el porcentaje de transmitancia luminosa y de turbidez de cada una de las probetas. Los resultados fueron expresados en términos de valor promedio y desviación estándar de cada una de las películas sopladas.

2.2.4.2. Determinación de los porcentajes de bloqueo en diferentes regiones del espectro

La medición del porcentaje de bloqueo de radiación se realizó en las tres regiones del espectro, ultravioleta, visible e infrarrojo cercano empleando un espectrofotómetro de haz simple.

Utilizando un espectrofotómetro marca Optizen, se obtuvieron los porcentajes de transmitancia de 5 probetas de cada una de las películas sopladas. El equipo permite mediciones de porcentaje transmitancia en el rango desde 190 – 1 100 nm. Las mediciones se realizaron en las siguientes regiones y rangos:

- Región ultravioleta (200 nm a 400 nm)
- Región visible (400 nm a 750 nm)
- Región del infrarrojo cercano (750 nm a 1 100 nm)

Se procedió de la siguiente forma para las mediciones del porcentaje de bloqueo:

- Se recortó probetas rectangulares de cada una de las películas sopladas de dimensiones de 1 cm x 6 cm.
- Las superficies de las muestras fueron limpiadas con agua y algodón y luego secadas para evitar errores en las mediciones.
- Se colocó la muestra dentro de la cámara del equipo en el cubículo respectivo de muestras.
- Se estableció el rango a ser analizado de cada región.
- Se calibró el equipo utilizando un cubículo vacío como blanco, para un porcentaje de transmitancia o transmisión de energía del 100%.
- Se realizó las mediciones de porcentaje de transmisión de cada probeta en las diferentes regiones de estudio en intervalos de 5 nm.
- Finalmente se calculó el porcentaje de bloqueo de las diferentes regiones del espectro consideradas empleando el software del equipo.

2.2.5. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MASTERBATCH

Se determinó la concentración adecuada de MB antitérmico para producir películas sopladas de PEBD con un bloqueo del 40% en la región del infrarrojo cercano en el rango de 750 nm a 1 100 nm. Los materiales antitérmicos eficientes son los que reducen el NIR en un 40%. (Hemming 2006, p. 12).

Utilizando los valores obtenidos de las mediciones de bloqueo en la región del NIR de las diferentes películas sopladas, se realizó una línea de tendencia de la concentración del MB versus el porcentaje de bloqueo.

2.3. DISEÑO DEL PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE 30 000 KG/MES DE PELÍCULAS SOPLADAS CON MASTERBATCH

Se diseñó el proceso tecnológico para obtención de 30 000 kg/mes de películas antitérmicas de PEBD mediante la técnica de extrusión soplado.

2.3.1. DISEÑO CONCEPTUAL

Capacidad

En el Ecuador, según datos del último censo agropecuario existen 3 333 hectáreas de cultivos de tomate riñón. Con el propósito de fijar la capacidad de producción de la planta de películas antitérmicas, se consideró que al menos el 50% son cultivos protegidos por películas de invernadero. Considerando este último valor se estableció producir mensualmente la cantidad suficiente para cubrir el 1% del área de estos cultivos.

2.3.2. DISEÑO BÁSICO

2.3.2.1. Alcance del proyecto

Para el desarrollo del proceso tecnológico para la producción de películas sopladas de PEBD con MB antitérmico se consideró las operaciones presentes desde la mezcla del MB y PEBD, la extrusión, enfriamiento y embobinado de la película soplada. Se realizó diagramas de bloques y flujo del proceso y los correspondientes balances de masa y energía.

2.3.2.2. Selección y dimensionamiento de equipos

Para la selección de los equipos se tomó en cuenta las operaciones presentes en la producción de la película de invernadero antitérmica y el balance de masa.

2.4. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS PELÍCULAS DE PEBD CON MASTERBATCH

La estimación del costo de producción de las películas se realizó con base en los costos de PEBD y MB, el costo de uso de los equipos y el costo de los

requerimientos de servicios industriales empleados en el proceso. Finalmente, se evaluará la rentabilidad del proyecto mediante el cálculo de los indicadores económicos valor actual neto (VAN) y tasa de interés de retorno (TIR).

2.4.1. ESTIMACIÓN DE COSTO DE PRODUCCIÓN

Para estimar el costo de producción por kg de las películas sopladas de PEBD antitérmicas se sumó los costos de materia prima, el costo de equipos y servicios industriales.

2.4.1.1. Costos de materia prima

El costo de materia prima se estimó con base al balance de masa del proceso y precios del mercado local.

2.4.1.2. Costo del uso de equipos

El costo del uso de equipos se estimó a partir de los precios de los equipos a partir de proformas de proveedores de equipos y las horas de uso del equipo en un determinado tiempo.

2.4.1.3. Costo de servicios industriales

Para los servicios industriales se consideró el costo de mano de obra y costo de energía eléctrica empleados en el proceso.

2.4.2. RENTABILIDAD DEL PROYECTO

La evaluación económica del proyecto nos indicará la rentabilidad del mismo a través de los siguientes indicadores:

- Valor actual neto VAN
- Tasa interna de retorno TIR

El capital de inversión fijo el cual está formado por los costos de equipos, terreno de la planta, costos de construcción de la planta, equipos de oficina, equipos de laboratorio.

El capital de inversión de trabajo se calculó tomando en cuenta los costos de materia prima, costos energéticos, pago mensual de la nómina de personal administrativo y de planta.

Finalmente, se determinó la inversión total, al sumar el capital de inversión fijo y de trabajo para con estos valores poder determinar los indicadores económicos antes mencionados. Los parámetros de entrada para determinar los indicadores fueron una tasa de descuento del 20%, impuesto a la renta del 12%, tasa de interés del 5% y una depreciación lineal a 10 años.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA DEL MASTERBATCH DE POLIETIENO CON EFECTO ANTITÉRMICO

3.1.1. CARACTERIZACIÓN ORGÁNICA DEL MASTERBATCH

Análisis por espectroscopia de infrarrojo (FTIR)

El MB antitérmico se analizó mediante la técnica de FTIR por transmitancia con el objetivo de conocer los grupos funcionales presentes en la muestra e identificar los componentes presentes, a continuación se muestran los espectros infrarrojos obtenidos de nueve barridos entre 4 000 y 450 cm^{-1} .

El espectro infrarrojo obtenido del MB antitérmico se muestra en la Figura 3.1.

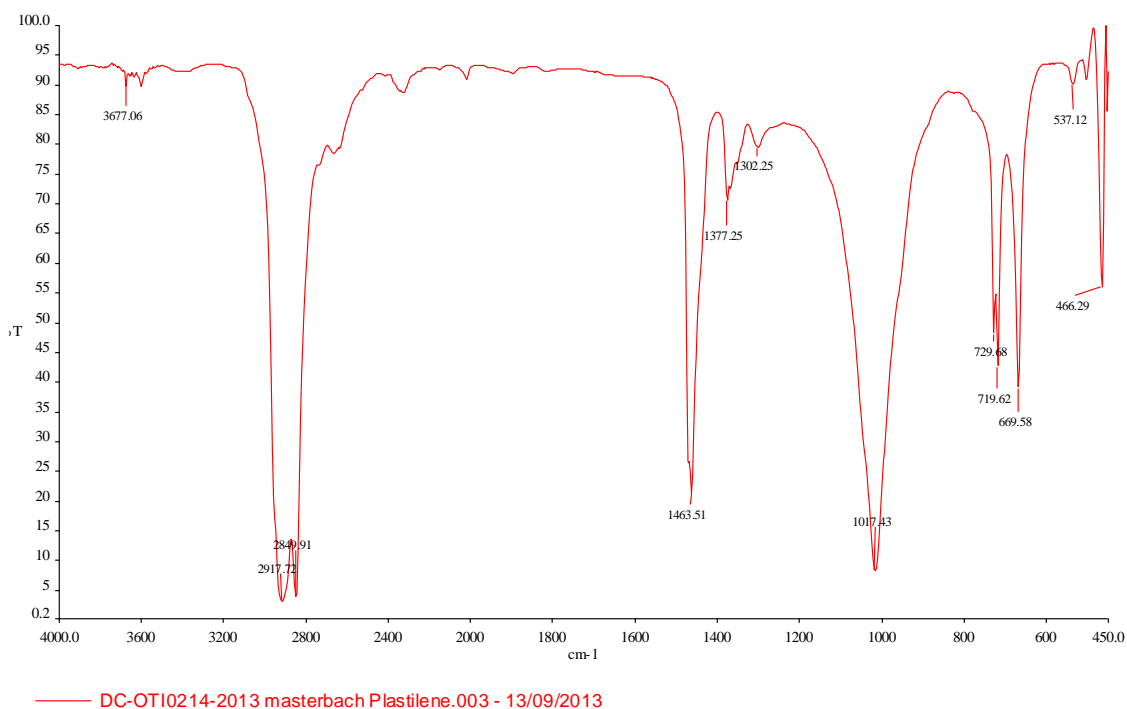


Figura 3.1. Espectro infrarrojo del MB antitérmico

Utilizando las librerías del espectrofotómetro Perkin Elmer se pudieron identificar las bandas características de los grupos funcionales presentes en el MB antitérmico y se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Análisis de los principales grupos funcionales del espectro IR del MB

Grupo funcional	Número de onda (cm ⁻¹)
Grupos alquilos (Característico del polietileno)	3 030 – 2 855 2 870 – 2 840 1 470 – 1 450
Hidrocarburos de cadena larga propios del polietileno	730 – 715
Grupo alifático ramificado	1 390 – 1 365
Sulfóxido Alifático	1 100 – 1 000

(Software espectrofotómetro Perkin Elmer, 2014)

Se encontró la presencia de bandas a 3 030 – 2 855 cm⁻¹, 1 470 – 1 450 cm⁻¹ y 730 – 715 cm⁻¹ que confirman la existencia de polietileno en el MB de estudio. Estas bandas confirman la presencia mayoritaria de polietileno como componente principal del MB.

Para la identificación del tipo de polietileno presente en el *masterbatch*, se realizó un acercamiento en el rango de número de onda de 1 400 – 1 320 cm⁻¹, como se muestra en la Figura 3.2, en donde se puede observar la presencia de la banda de absorción de 1 377 cm⁻¹ es mayor, característica del polietileno de baja densidad (Lobo y Bonilla, 2003, p. 204).

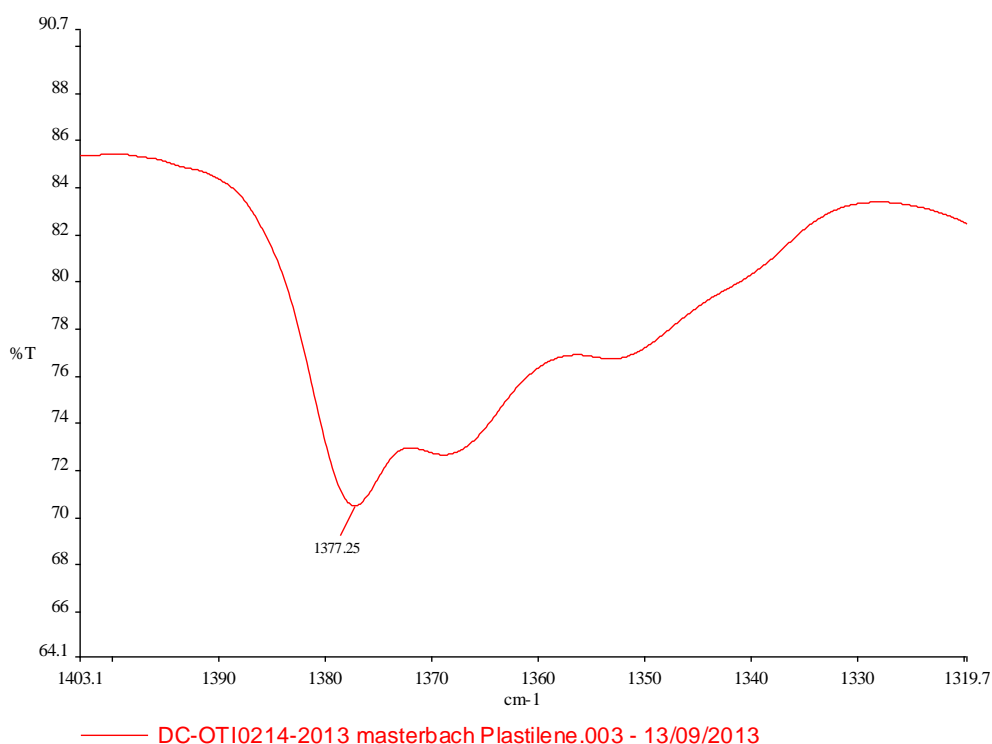


Figura 3.2 Acercamiento del espectro infrarrojo del MB antitérmico en el rango de $1\,400 - 1\,320\text{ cm}^{-1}$

Por otro lado, se encontró la presencia de una banda a $1\,017\text{ cm}^{-1}$ que indica la presencia de un sulfóxido alifático en el MB.

Finalmente, no se identificó banda alguna que indique la presencia de compuestos orgánicos como pigmentos en el MB de estudio.

3.1.2. CARACTERIZACIÓN INORGÁNICA DEL MASTERBATCH

3.1.2.1. Contenido de cenizas en el masterbatch

El ensayo de determinación del contenido de cenizas en termoplásticos permitió descartar los compuestos orgánicos a través de la calcinación.

Las cenizas del MB son el residuo inorgánico que se obtiene tras eliminar los compuestos orgánicos presentes. En la Figura 3.3 se muestra las cenizas del aditivo luego de la calcinación.



Figura 3.3 Cenizas, compuestos inorgánicos del MB antitérmico

3.1.2.2. Análisis por espectroscopia de infrarrojo (FTIR)

La muestra de ceniza obtenida en la calcinación del MB se analizó mediante la técnica FTIR por transmitancia. En la Figura 3.4, que se muestra a continuación, se encuentra la superposición del espectro infrarrojo de las cenizas del *masterbatch* con el espectro estándar del mineral talco del software del espectrómetro Perkin-Elmer. Al comparar los dos espectros se halló coincidencias en la estructura y región de la huella dactilar.

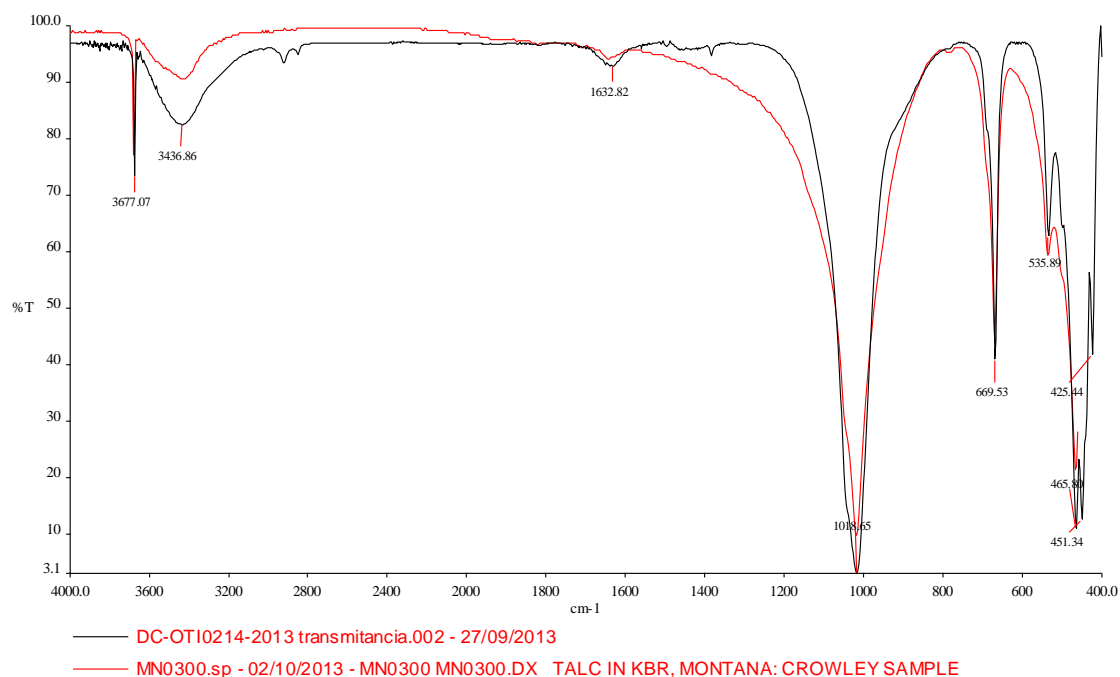


Figura 3.4. Espectros infrarrojos de las cenizas del *masterbatch* antitérmico y estándar del mineral talco superpuestos

Utilizando las librerías del espectrofotómetro Perkin Elmer se pudieron identificar las bandas características de los grupos funcionales presentes en las cenizas del MB y se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Análisis de los grupos funcionales del espectro IR de las cenizas del *masterbatch*

Grupo funcional	Número de Onda (cm^{-1})
Grupo Mg-O-H	600 – 670
Grupo Si-O	700 – 1 200

Las bandas correspondientes al mineral talco se superponen a las bandas de la muestra de ceniza del MB. Sin embargo existe una diferencia en la intensidad de las bandas, esto pudo ser debido al espesor de lámina utilizada para la obtención del espectro. Según la ley de Lambert y Beer a mayor concentración de la muestra, mayor será la intensidad de las bandas (Smith, 2011, p.149).

El espectro de la ceniza del MB y el estándar del mineral talco coincidieron en las bandas por lo que se determina que las cenizas del MB contienen el mineral talco.

La presencia de talco debió ser cuantificada por otra técnica analítica. Debido a que los pigmentos inorgánicos presentan óxidos, como siguiente paso se realizó un análisis por difracciones de rayos X para identificar el o los óxidos presentes.

3.1.3. Análisis por difracción de rayos X (DRX)

En la Figura 3.5, se muestra el difractograma obtenido a partir de las cenizas del MB antitérmico utilizado para identificar y cuantificar las estructuras cristalinas presentes en la muestra.

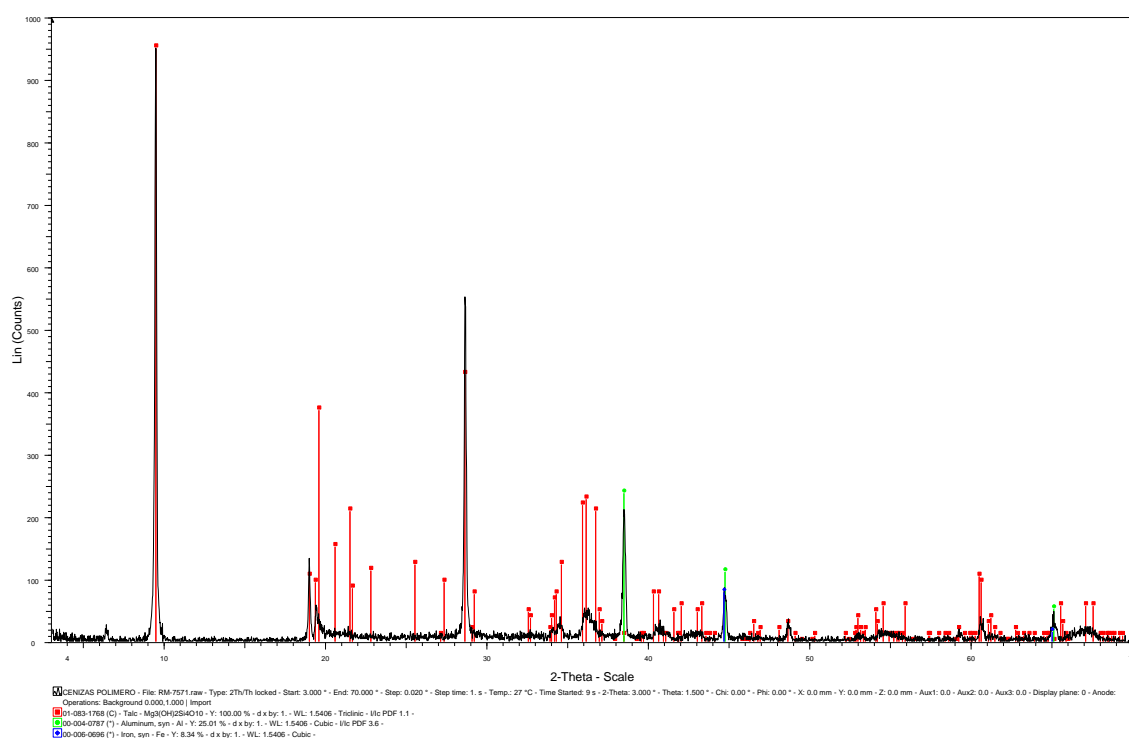


Figura 3.5 Difractograma de las cenizas del *masterbatch* antitérmico

En la Tabla 3.3 se observa los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos en la identificación de las estructuras cristalinas presentes en el MB mediante difracción de rayos X.

Tabla 3.3. Composición cualitativa y cuantitativa de las cenizas del *masterbatch*

Mineral	Fórmula	Contenido (%)
Talco	$\text{Mg}_3\text{FeSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	94
Aluminio	Al	5
Bayerita	$\text{Al}(\text{OH})_3$	1

Se confirma que el componente mayoritario presente en las cenizas del MB es el mineral talco con presencia de aluminio y óxido de aluminio. Según bibliografía, estos compuestos inorgánicos encontrados en el MB son empleados como pigmentos reflectivos del NIR (Espí, 2012, p.81; Kaur, 2012, p.32; Orient, 2004, p. 3).

Dentro del grupo de los pigmentos reflectivos se encuentran los pigmentos de interferencia que son sustratos laminares como el talco, cubiertas de una capa delgada óxidos metálicos como óxido de aluminio.

3.1.4. Análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB)

La microscopía electrónica de barrido permitió obtener imágenes de gran magnificación con efecto de relieve de las cenizas del MB.

En la Figura 3.6 se presenta la estructura superficial de las cenizas del MB.

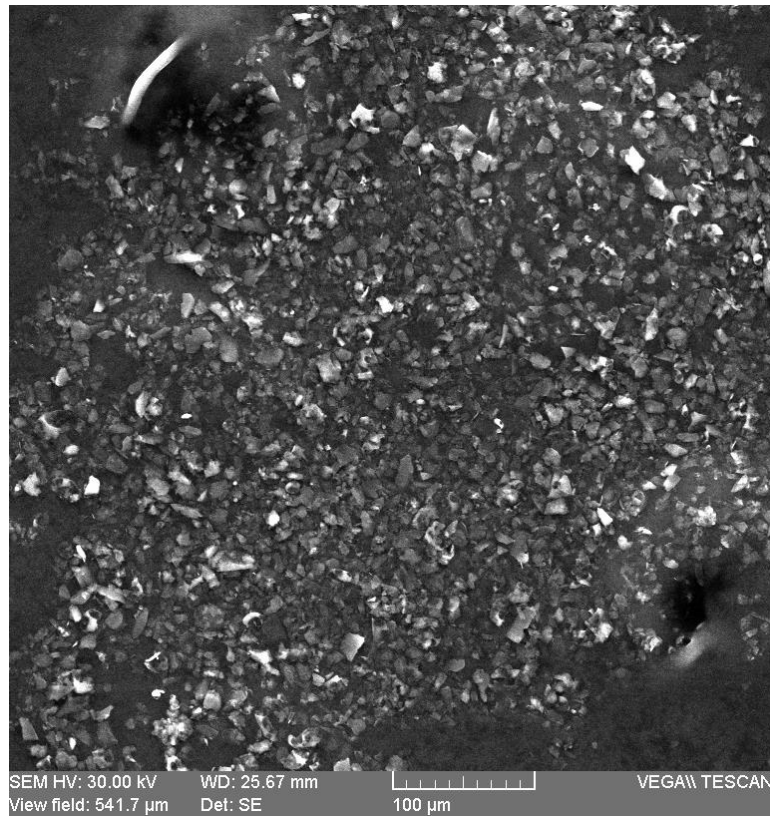


Figura 3.6 Micrografía de la superficie de las cenizas del *masterbatch* mediante microscopía electrónica de barrido con escala 100 μm

Se puede observar en la micrografía que las cenizas están compuestas de partículas de formas irregulares con un diámetro aproximado de 10 μm . Este tamaño de partícula observado es 20 veces mayor a lo que señalo Bendiganavale (2008). Él definió que el tamaño de partícula de los pigmentos que reflejan el infrarrojo cercano de 700 – 1 100 nm debe ser de al menos 0,35 a 0,55 μm . El encontrar partículas de mayor tamaño se puede justificar debido a la aglomeración de partículas que sufrió la muestra cuando se produjo la calcinación del polímero.

Sandin (2013), señaló que la detección de pigmentos reflectivos del NIR de mayor tamaño, hasta 100 μm se explica debido a la aglomeración de las partículas.

Además, como se puede observar en la micrografía se tiene una distribución de forma y tamaño de partícula bastante dispersa e irregular. Existen partículas grandes de aproximadamente 20 μm a 30 μm así como también partículas

pequeñas menores a las 10 μm . Cabe recalcar que la mayoría de partículas se encuentran en un tamaño de alrededor de 10 μm .

Sin embargo, Jeevanandam et al (2006) señalo que la reflectancia del NIR de partículas de óxidos de metal de tamaño de nanocristales, menores a 1 μm , poseen solamente entre un 15% a 20% más reflectancia que los macrocristales de estos óxidos. Es decir que los macrocristales de estos óxidos de metal son menos eficientes en la reflectancia del NIR que los microcristales pero en un porcentaje reducido, por lo que el tamaño de partícula de los óxidos de metal no es determinante para que funcione adecuadamente como pigmento reflectivo del NIR.

Las partículas de óxido de aluminio y talco, presentes en las cenizas del MB, según bibliografía son pigmentos reflectivos del NIR. Además a pesar de encontrar macrocristales, mayores a 1 μm , en las cenizas del MB observado en la micrografía, los óxidos de metales presentes en el MB tienen la propiedad de reflectancia al igual que si fueran nanocristales.

3.2. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS PELÍCULAS SOPLADAS DE PEBD CON Y SIN MASTERBATCH

3.2.1. CONDICIONES Y VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

3.2.1.1. Condiciones fijas

Debido a que el MB antitérmico está constituido mayormente por PEBD. Se tomó como referencia para determinar el perfil de temperaturas para la extrusión de las películas, las temperaturas de procesamiento de PEBD para películas sopladas disponible en bibliografía.

Se empezó realizando pruebas solo con PEBD en la extrusora para establecer el perfil de temperaturas para la mezcla PEBD y MB. Se determinó las temperaturas

para 9 zonas. El primer valor que se fijó fue la temperatura de la zona de alimentación en 180°C, siendo la más baja en la extrusora.

Se incrementó la temperatura de las diferentes regiones de la extrusora en 10°C. Se fue variando estas temperaturas en 5°C hasta obtener material fundido homogéneo. Luego se fue variando la velocidad del husillo hasta que se determinó un valor de velocidad que junto al perfil de temperatura permitió obtener material fundido continuo y homogéneo. Se estableció en 210°C la región del cuerpo ya que permitía la salida de PEBD sin zonas sin fundir. Esta temperatura fue la más alta en la extrusora.

El perfil de temperatura para la extrusión de las películas de PEBD se describe en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Perfil de temperaturas en la extrusora

Región	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Cambia Malla	Cuello	Cuerpo	Boquilla
Temperatura °C	180	185	190	190	195	195	195	210	200

Una vez establecido el perfil de temperaturas, se varió la velocidad del tornillo y velocidad de tiraje para obtener películas de 200 µm de espesor y 2.8 m de ancho.

Finalmente, luego de estabilizado el proceso se alimentó en la tolva de la extrusora una de las mezclas PEBD y MB antitérmico, para producir las películas sopladas antitérmicas.

3.2.1.2. Variable del proceso

Las diferentes concentraciones establecidas del MB antitérmico permitieron obtener 7 diferentes películas. Una película no contiene aditivo y sirvió de referencia para la evaluación de sus propiedades mecánicas y ópticas.

En la Tabla 3.5 se muestran los pesos para preparar 20 kg de las diferentes mezclas para producir películas extruidas con diferentes concentraciones de MB.

Tabla 3.5. Porcentaje de MB y pesos de los componentes de las películas extruidas

Nombre de la película	Concentración MB (%)	Peso MB kg	Peso PEBD kg
PE	0	0	20,02
FL5	5	1,02	19,01
FL6	6	1,21	1,81
FL7	7	1,40	18,62
FL8	8	1,61	18,40
FL9	9	1,82	18,21
FL10	10	2,01	18,02

3.2.2. PROCESO DE EXTRUSIÓN DE LAS PELÍCULAS ANTITÉRMICAS

3.2.2.1. Preparación de la mezcla

Cada una de las mezclas de formulaciones de las películas que contienen MB y PEBD se realizó en recipientes. Se colocó la cuarta parte de cada material pesado en el recipiente, se los agitó y revolvió manualmente hasta obtener una mezcla homogénea de los componentes. Se repitió el procedimiento hasta completar todo el peso de cada una de las mezclas. En la Figura 3.7 se observa la distribución del MB y el PEBD.



Figura 3.7. Material mezclado de PEBD y MB.

3.2.2.2. Extrusión de las películas sopladas

Se alimentó la tolva con PEBD y empezó a extruir a velocidad de 5 rpm. El material que sale del cabezal pasó a través de una boquilla circular formando un tubo o manga de PEBD como se muestra en la Figura 3.8.



Figura 3.8 Material extruido en forma de tubo.

Se aumentó la velocidad del tornillo hasta obtener a salida de la boquilla material homogéneo y un flujo continuo. El material saliente se lo llevó hacia arriba utilizando

una guía para pasarlo por los rodillos de presión. Las paredes del tubo se juntaron para sellarlo previo a ser inflado.

Al material extruido en forma de tubo se lo inyectó aire para darle la forma de burbuja y se encendió el anillo de enfriamiento para solidificar el material fundido, como se muestra en la Figura 3.9.



Figura 3.9 Burbuja formada de PEBD

Se colapsó la burbuja en una película y se recolectó la misma en una bobinadora. Se varió velocidad del tornillo, de tiraje y la cantidad de aire en la burbuja hasta obtener una burbuja concéntrica.

Se midió el ancho de la película para controlarlo. Para aumentar el ancho se inyectó más aire y para reducir el ancho se realizó pequeños cortes en la burbuja para dejar salir el aire.

Se tomó muestras de la película obtenida para controlar su espesor. Para aumentar el espesor se redujo la velocidad del tiraje y para reducir el espesor se incrementó la velocidad del tiraje.

Al final se alcanzó las dimensiones propuestas de la película, ancho de 2,8 m y espesor de 200 μm . Se determinó como condiciones del proceso de extrusión las que se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Condiciones del proceso

Condición del proceso	Valor
Velocidad del tornillo	26 rpm
Velocidad de tiraje	210 m/h

Una vez establecidas las condiciones de procesamiento de películas sopladas de PEBD, se procedió a extruir las diferentes formulaciones de cada una de las películas. Se empezó con la película PE y se finalizó con la FL10. En la Figura 3.10 se observa la recolección en una bobinadora del rollo de película soplada antitérmica FL5



Figura 3.10 Rollo de una película soplada antitérmica, FL5

3.2.3. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

El principal objetivo de realizar ensayos mecánicos a las muestras obtenidas de las películas extruidas fue caracterizarlas y observar la influencia del MB antitérmico en la variación de las propiedades mecánicas.

3.2.3.1. Ensayo de tracción deformación

En las pruebas de tensión realizadas, se evaluó la resistencia a la tensión en el sentido longitudinal MD y en el sentido transversal TD de las diferentes películas extruidas. En la Tabla 3.7 se presentan los resultados de estas propiedades en las películas extruidas que contienen diferentes concentraciones de MB.

Tabla 3.7 Resultados de ensayo de tensión en el sentido longitudinal y transversal

Nombre de la película	Resistencia a la tensión MD (MPa)	Resistencia a la tensión TD (MPa)
PE	17,641 ± 0,446	17,076 ± 0,250
FL5	17,963 ± 1,108	17,494 ± 0,830
FL6	18,001 ± 1,002	17,520 ± 0,703
FL7	18,022 ± 1,303	17,572 ± 0,934
FL8	18,153 ± 1,135	17,606 ± 0,649
FL9	18,227 ± 1,299	17,655 ± 0,702
FL10	18,281 ± 1,062	17,686 ± 0,613

El punto de referencia para realizar el análisis de la resistencia a la tensión es la película PE que contiene solamente PEBD. Se puede observar que pese a las variaciones de la composición de las diferentes películas esta propiedad permanece relativamente constante en cada uno de los rollos en el sentido longitudinal MD y sentido transversal TD, es decir el MB antitérmico empleado en las películas no influye en el parámetro de resistencia a la tensión en ambos sentidos. Sin embargo, todas las películas que contienen el aditivo obtuvieron valores superiores de este parámetro respecto a la película de referencia, a mayor

cantidad de MB existe un ligero incremento. En el sentido longitudinal, la mayor diferencia es 0,64 MPa entre la película FL10 que obtuvo el máximo valor 18,281 MPa y la PE que obtuvo el menor valor 17,641 MPa, mientras que el sentido transversal la mayor diferencia es 0,59 MPa entre la película FL10 que obtuvo el máximo valor 17,686 MPa y la PE que obtuvo el menor valor 17,092 MPa.

Se observa que los valores de resistencia a la tensión longitudinales MD, tanto en la película de referencia como en las películas con aditivo, son mayores a los transversales TD, esto se debe a que la película realiza un estiramiento en el sentido longitudinal luego del proceso de extrusión hacia los rodillos que permite que las cadenas se ordenen de mejor manera en este sentido.

Las diferentes formulaciones de las películas que contienen MB presentan valores mayores de desviación estándar, cercanos a 1, respecto a la película que solo contiene PEBD debido a que en las formulaciones pudo no haberse logrado una distribución uniforme del aditivo en la película o aglomeraciones del aditivo en la mezclas.

3.2.3.2. Ensayo de rasgado

En las pruebas de rasgado, se evaluó la resistencia al rasgado en el sentido longitudinal MD y transversal TD de las diferentes películas extruidas. En la Tabla 3.8 se presentan los resultados de esta propiedad en las películas extruidas que contienen diferentes concentraciones de MB.

Tabla 3.8. Resultados de ensayo de rasgado en el sentido longitudinal y transversal

Nombre de la película	Resistencia al rasgado MD (kgf)	Resistencia al rasgado TD (kgf)
PE	$1,553 \pm 0,085$	$1,506 \pm 0,066$
FL5	$1,632 \pm 0,101$	$1,538 \pm 0,103$
FL6	$1,643 \pm 0,109$	$1,552 \pm 0,101$
FL7	$1,646 \pm 0,114$	$1,566 \pm 0,106$
FL8	$1,677 \pm 0,103$	$1,576 \pm 0,103$
FL9	$1,702 \pm 0,116$	$1,599 \pm 0,102$
FL10	$1,736 \pm 0,114$	$1,619 \pm 0,098$

Como se puede observar, el incremento de la concentración del MB favoreció a la resistencia al rasgado, se puede ver que la variación de esta propiedad entre una y otra muestra es considerable entre las diferentes formulaciones por lo que se puede concluir que el MB influye en esta propiedad.

La mayor diferencia en este parámetro se encuentra entre la película PE y la FL10 es de 0,18 kgf y representa un incremento de alrededor del 11,78%.

De igual manera se observa que los valores de resistencia al rasgado longitudinales MD, tanto en la película de referencia como en las películas con aditivo, son mayores a los transversales TD, esto se debe a que la película luego del proceso de extrusión realizó un estiramiento en el sentido longitudinal hacia los rodillos que permitió el ordenamiento de mejor manera en este sentido de las cadenas del PEBD.

3.2.4. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS

3.2.4.1. Determinación del porcentaje de *haze* y transmitancia luminosa

A las películas sopladas del estudio se determinó el porcentaje de *haze* y transmitancia luminosa empleando un medidor de transparencia Haze-Gard Plus

con el objetivo de observar la influencia del MB en estas propiedades, a continuación se muestran los resultados obtenidos en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Porcentaje de *haze* y transmitancia luminosa en la región del espectro visible

Nombre de la película	Haze %	Transmitancia luminosa %
PE	$16,2 \pm 0,29$	$88,7 \pm 0,46$
FL5	$18,2 \pm 0,22$	$84,8 \pm 0,57$
FL6	$25,1 \pm 0,23$	$76,9 \pm 0,57$
FL7	$34 \pm 0,24$	$64,8 \pm 0,64$
FL8	$37,2 \pm 0,25$	$59,5 \pm 0,34$
FL9	$39,3 \pm 0,3$	$57,2 \pm 0,66$
FL10	$40,3 \pm 0,27$	$56,1 \pm 0,46$

Porcentaje de *haze*

Para aplicaciones agrícolas se busca materiales con un bajo valor de *haze*, es decir que dispersen en menor medida la luz.

En la Figura 3.11 se puede observar el valor de incremento en el porcentaje de *haze* de las películas que presentan MB respecto a la película que solo contiene PEBD, al incrementar la concentración del MB la película es cada vez más heterogénea, debido a la presencia de los pigmentos, provocando una dispersión de la luz incidente dando como resultado que a mayor cantidad de MB mayor dispersión de luz es decir un mayor valor del porcentaje de *haze*.

Se debería evitar trabajar con concentraciones del aditivo de entre 9% y 10% ya que incrementan hasta en un 150% el *haze* con respecto al valor de referencia de la película de PEBD.

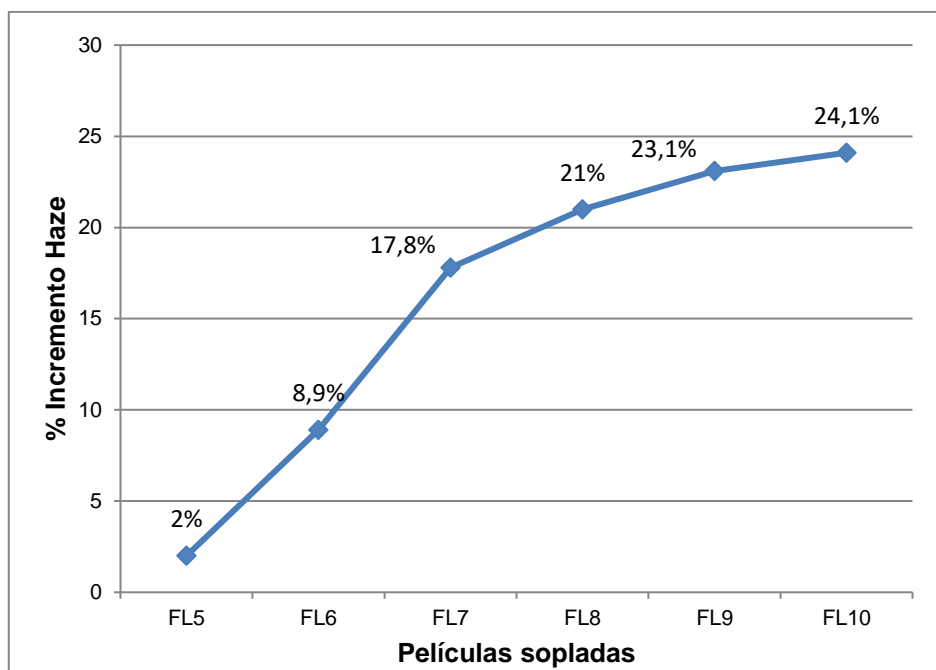


Figura 3.11. Incremento del porcentaje de *haze* de las películas que contienen *masterbatch* con respecto a la película sin *masterbatch*

En la Figura 3.12 se puede observar como varia el incremento del porcentaje de *haze* al aumentar la concentración del MB en 1%. Para concentraciones menores al 7% existe un mayor incremento sobre todo el mayor incremento de 8,9% de *haze* se produce entre 6% y 7% de MB. Mientras que para valores mayores al 7% MB los valores de incremento del porcentaje de *haze* se reducen. Se puede concluir que a concentraciones mayores al 7% de MB el aditivo disminuye su influencia sobre esta propiedad.

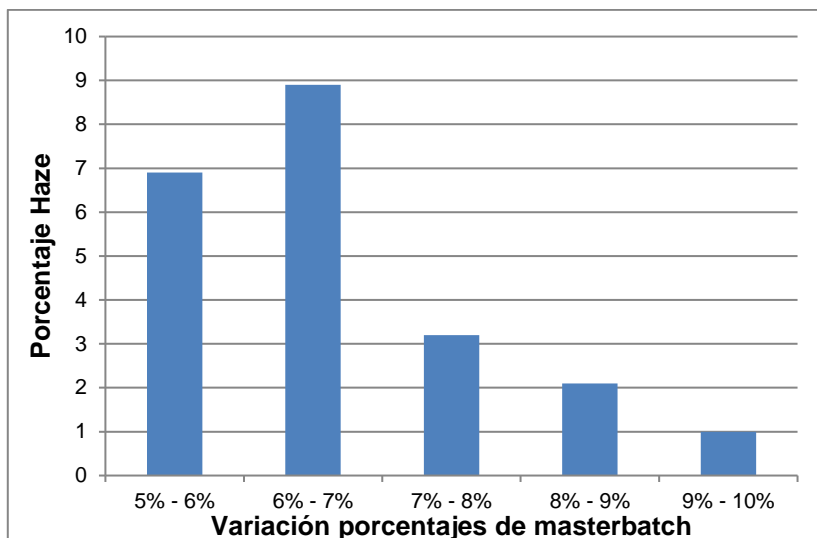


Figura 3.12. Incremento del porcentaje de *haze* de las películas sopladas con respecto a la variación de la concentración del *masterbatch*.

Porcentaje de transmitancia luminosa

El porcentaje de transmitancia luminosa representa el porcentaje de luz visible transmitida a través de una película. El *haze* y esta propiedad están ligados, como se puede observar en los resultados a menor *haze* mayor cantidad de transmitancia luminosa. Para aplicaciones agrícolas se busca cubiertas plásticas con valores altos de esta propiedad permitan el paso de la mayor cantidad de luz para el desarrollo del cultivo.

En la Figura 3.13 se muestra el valor de reducción en el porcentaje de transmitancia luminosa de las películas con MB respecto a la película que solo contiene PEBD, existe una relación inversamente proporcional entre la cantidad de aditivo y esta propiedad. La reducción de esta propiedad se debe a la presencia del MB, sus pigmentos interfieren en el paso de la luz a través de la película, a una concentración del 10% del MB el porcentaje de transmitancia luminosa se reduce en aproximadamente 36,7%.

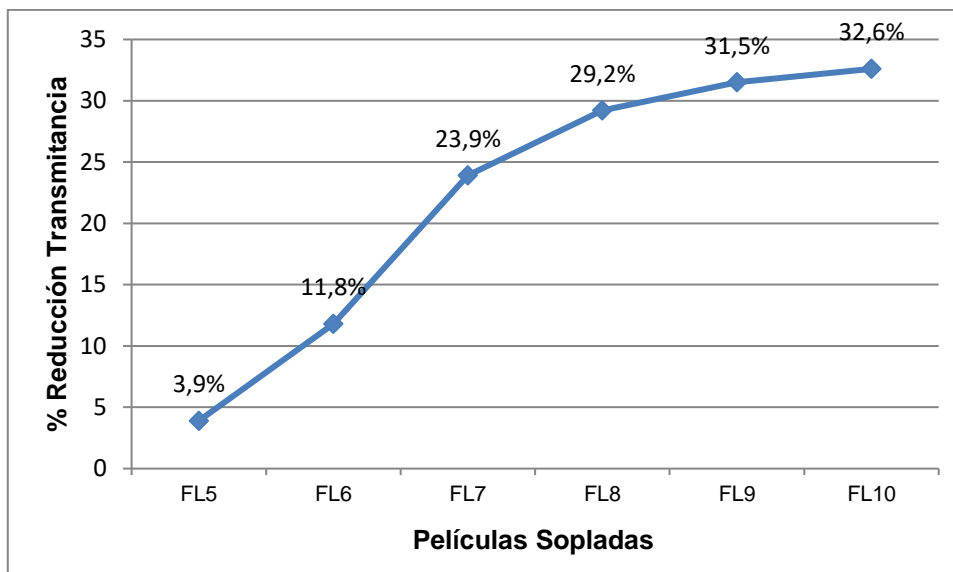


Figura 3.13 Reducción del porcentaje de transmitancia luminosa de las películas que contienen *masterbatch* con respecto a la película sin *masterbatch*.

En la Figura 3.14 se observan los valores de reducción del porcentaje de transmitancia luminosa al agregar en 1% la concentración del MB. A concentraciones menores al 7% se puede observar que existe una mayor reducción de esta propiedad, de 6% a 7% se reduce en un 12,1% siendo la mayor reducción. Mientras que a concentraciones mayores al 7% se observa un descenso en la influencia del aditivo en esta propiedad.

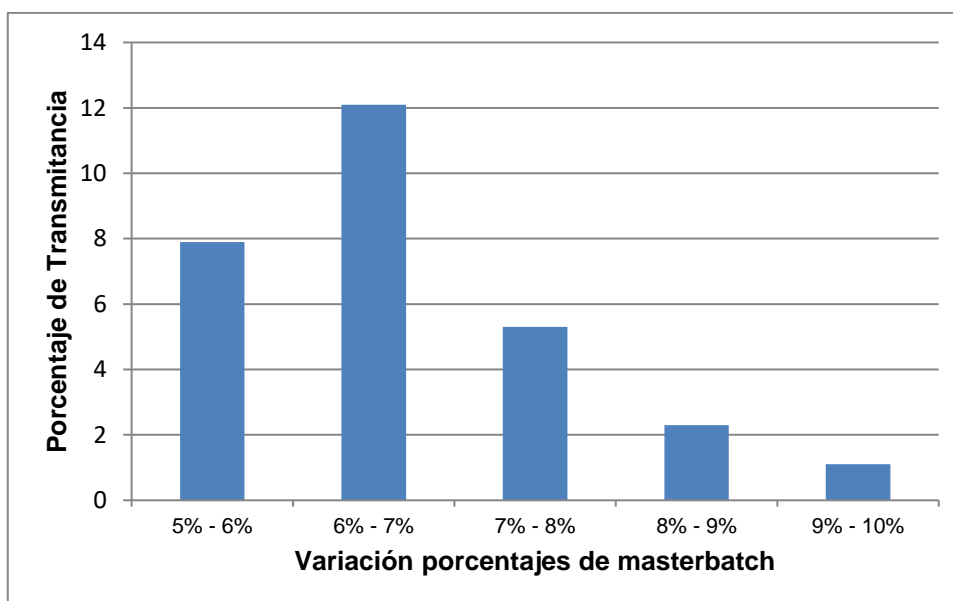


Figura 3.14 Reducción del porcentaje de transmitancia luminosa de las películas sopladas con respecto a la variación de la concentración del *masterbatch*.

3.2.4.2. Determinación de los porcentajes de bloqueo en diferentes regiones del espectro

Las mediciones de porcentaje de transmitancia desde 200 nm hasta 1100 nm permitieron caracterizar las películas sopladas y determinar los porcentajes de bloqueo en las tres regiones del espectro consideradas en este estudio.

Se empezó obteniendo los valores del porcentaje de bloqueo de la película sin *masterbatch* para luego compararla con las películas a diferentes concentraciones del *masterbatch*.

Porcentaje de bloqueo en la región del ultravioleta

A las películas sopladas del estudio se determinó el porcentaje de bloqueo en la región ultravioleta, 200 a 400 nm a partir de los valores de porcentaje de transmitancia con el objetivo de observar la influencia del MB a diferentes concentraciones en esta propiedad, a continuación se muestran los valores obtenidos en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Porcentaje de bloqueo en la región del ultravioleta

Nombre de la película	Porcentaje de bloqueo
PE	39,6
FL5	46,4
FL6	56,4
FL7	67,7
FL8	69,5
FL9	71,6
FL10	74,7

El objetivo principal de realizar las mediciones en este rango es comparar la transmisión de luz ultravioleta de las diferentes películas. Se puede observar que en la película PE, contiene solamente PEBD, alrededor del 60% de la luz

ultravioleta es capaz de atravesarla. Valores altos de porcentaje de bloqueo en esta región es característico de películas de invernadero con protección ultravioleta.

Conforme aumentamos la concentración de MB antitérmico el porcentaje de bloqueo en la región ultravioleta aumenta, sin embargo se puede observar que desde la película FL8 el porcentaje de bloqueo aumenta pero en menor proporción.

En la Figura 3.15 se puede notar la influencia del MB al aumentar su concentración, al trabajar con concentraciones mayores al 7% el incremento del porcentaje de bloqueo de la región del ultravioleta disminuye, al aumentar la concentración de 7% a 8% se obtuvo el menor valor 1,8% de incremento del bloqueo.

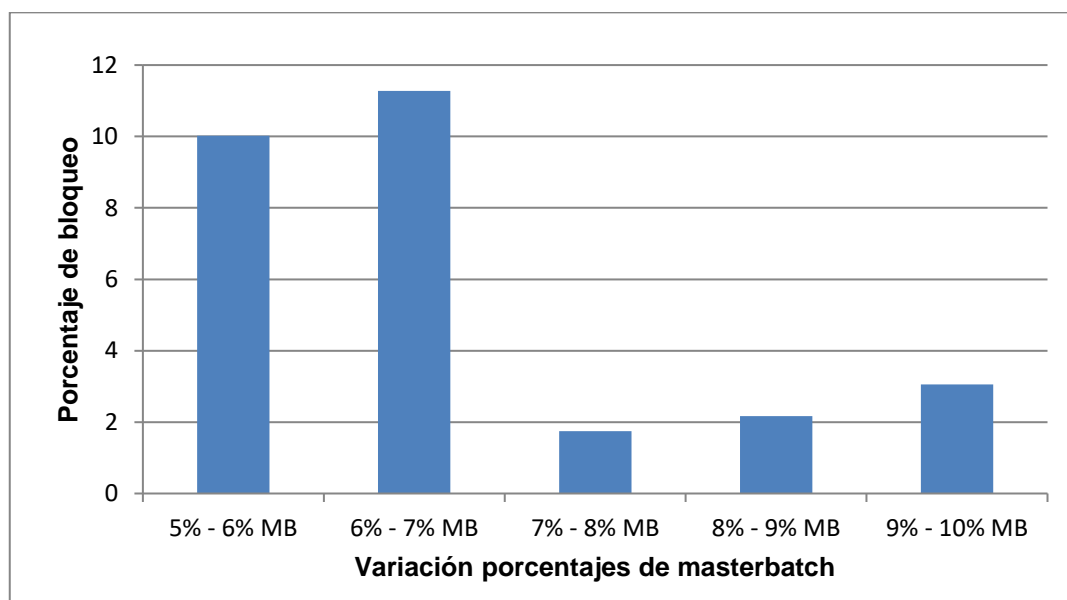


Figura 3.15 Incremento del porcentaje de bloqueo al agregar 1% de concentración de *masterbatch*

Al contrario a concentraciones menores al 7% se logró los mayores incrementos de porcentaje de bloqueo sobre todo al incrementar de 6% a 7% la concentración de MB se consiguió aumentar el bloqueo en 11,28%. Debido a estos valores se puede concluir que es innecesario trabajar con concentraciones mayores al 7% del MB antitérmico en esta región del espectro ya que el incremento del porcentaje de bloqueo disminuye drásticamente.

Porcentaje de bloqueo en la región del visible

Para el siguiente estudio se determinó el porcentaje de bloqueo en la región del visible, desde 400 a 750 nm, de las diferentes películas sopladas. A partir de los valores de porcentaje de transmitancia se busca determinar la influencia del MB a diferentes concentraciones en esta propiedad, a continuación se muestran los valores obtenidos en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Porcentaje de bloqueo en la región del visible

Nombre de la película	Porcentaje de bloqueo
PE	16,9
FL5	23,3
FL6	35,4
FL7	51,7
FL8	53,0
FL9	56,0
FL10	59,9

El objetivo principal de realizar las mediciones en este rango es comparar el porcentaje de bloqueo de la luz visible o fotosintética, esencial para el crecimiento vegetal, de las diferentes películas. Mientras menor es el valor del porcentaje de bloqueo en esta región se beneficia el crecimiento vegetal. Como se esperaría la película PE, que contiene solamente PEBD, permite el mayor paso de luz visible de alrededor del 83%, debido a que los componentes del MB no se encuentran presentes y no obstaculizan el paso de la luz.

De igual manera que en la región del ultravioleta, existe una relación directamente proporcional en la región del visible entre la concentración del MB y el porcentaje de bloqueo. Sin embargo los valores porcentajes de bloqueo disminuyen en esta región respecto al ultravioleta como se esperaba, valores de porcentaje de bloqueo superiores en esta región de las películas determinarían que las mismas no podrían ser empleadas como cubierta de cultivos porque afectarían en el desarrollo de los mismos.

En la Figura 3.16 se muestra la influencia del MB al aumentar su concentración, en las películas con concentraciones mayores al 7% se reduce el incremento del porcentaje de bloqueo de la región del visible, al aumentar la concentración de 7% a 8% se obtuvo el menor valor 1,3% de incremento del bloqueo.

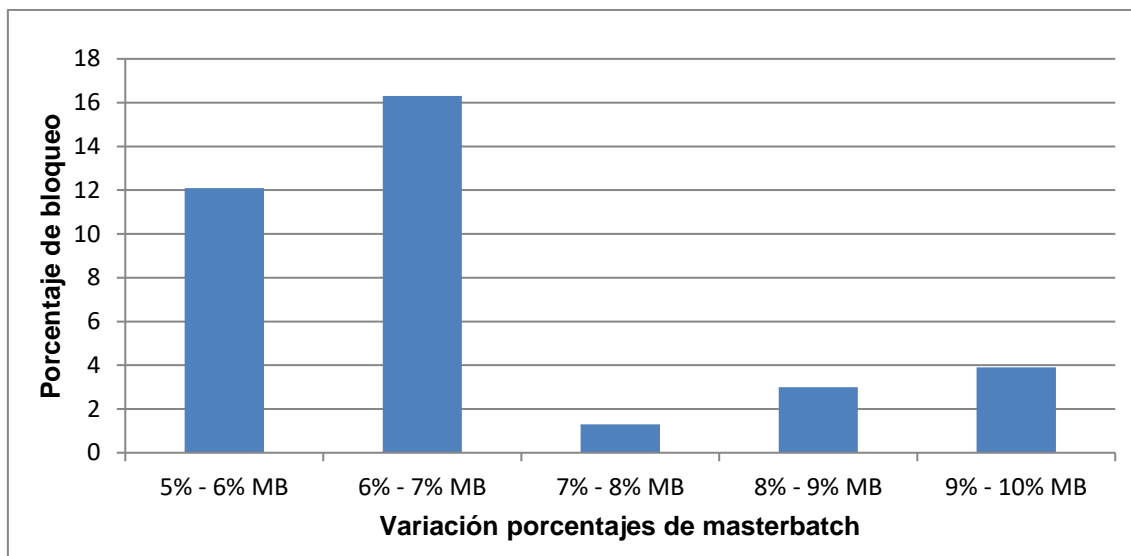


Figura 3.16 Incremento del porcentaje de bloqueo en la región del visible al agregar 1% la concentración de MB en las películas sopladas

Al contrario a concentraciones menores al 7% se logró los mayores valores de incremento de porcentaje de bloqueo en el visible sobre todo al incrementar de 6% a 7% donde se consiguió aumentar el bloqueo en 16,3%. Debido a estos valores se puede concluir que es innecesario trabajar con concentraciones mayores al 7% del MB antitérmico en esta región del espectro ya que el incremento del porcentaje de bloqueo disminuye drásticamente.

Además se debe trabajar a concentraciones menores al 7% ya que a esta concentración se obtiene valores de bloqueo del 51,7%, que perjudican el paso de la luz visible indispensable para el crecimiento vegetal.

Porcentaje de bloqueo en la región del infrarrojo cercano

Para el siguiente estudio se midió la transmitancia en la región del infrarrojo cercano, desde 750 a 1 100 nm, de las diferentes películas sopladas. A partir de los valores obtenidos transmitancia se determinó el porcentaje de bloqueo y se busca determinar la influencia del MB a diferentes concentraciones en esta propiedad, a continuación se muestran los valores obtenidos en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Porcentaje de bloqueo en la región del infrarrojo cercano

Nombre de la película	Porcentaje de bloqueo
PE	10,8
FL5	17,1
FL6	30,2
FL7	48,1
FL8	48,9
FL9	52,6
FL10	57,1

El objetivo principal de realizar las mediciones en este rango es comparar los valores de porcentaje de bloqueo en la región del infrarrojo cercano, parte fundamental de este estudio, de las diferentes películas. Los valores altos de porcentaje de bloqueo en esta región favorecen a la característica de película antitérmica. Se puede observar que la película PE, que contiene solamente PEBD, bloquea el menor valor de alrededor de 10,8%.

Como en las dos anteriores regiones consideradas en este estudio existe una relación directamente proporcional en la región del infrarrojo cercano entre la concentración del MB y el porcentaje de bloqueo. Cabe recalcar que los valores porcentajes de bloqueo disminuyen en esta región respecto a las dos regiones anteriores debido a que bloquear esta región es más complicado. Con un valor de porcentaje de bloqueo de al menos 40% en esta región la película tendría una característica antitérmica.

En la Figura 3.17 se muestra la influencia del MB en el porcentaje de bloqueo del infrarrojo cercano al aumentar su concentración, en las películas con concentraciones mayores al 7% se reduce el valor del incremento del porcentaje de bloqueo, al aumentar la concentración de 7% a 8% se obtuvo el menor valor 0,8% de incremento del bloqueo en esta región.

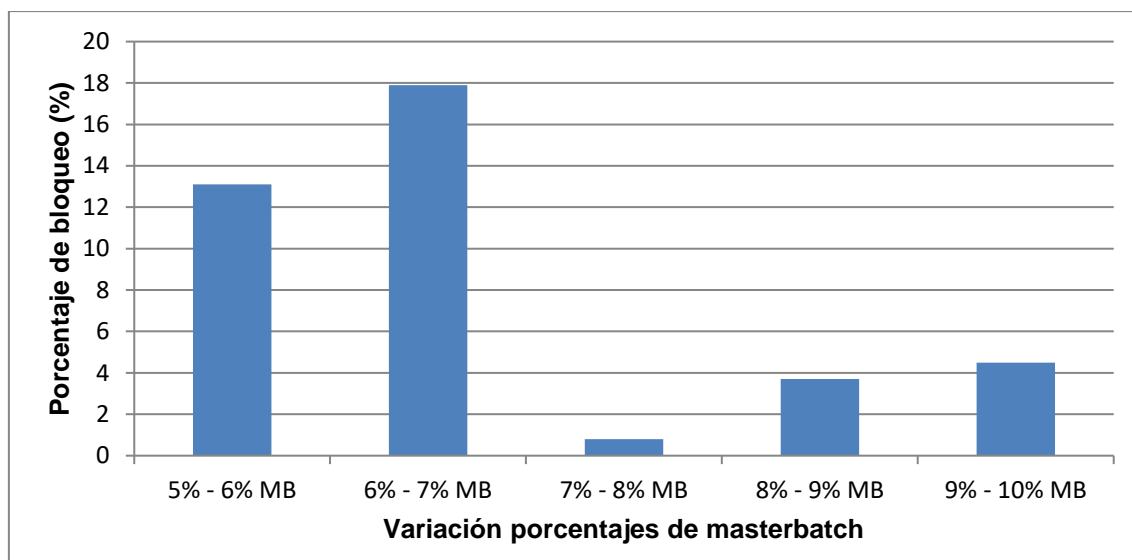


Figura 3.17. Incremento del porcentaje de bloqueo en la región del infrarrojo cercano al agregar 1% de la concentración de MB en las películas sopladas.

Una vez más a concentraciones menores al 7% se logró los mayores valores de incremento de porcentaje de bloqueo, es decir en este rango de concentraciones la influencia del MB antitérmico es mayor, sobre todo al incrementar de 6% a 7% donde se consiguió aumentar el bloqueo en 17,9%.

Debido a estos valores se puede concluir que es innecesario elaborar películas sopladas con concentraciones mayores al 7% del MB antitérmico en esta región del espectro ya que los valores de incremento del porcentaje de bloqueo disminuyen drásticamente. Además se debe recordar que a concentraciones mayores al 7% de concentración sobrepasamos la mitad del bloqueo en la región del visible.

3.2.5. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MASTERBATCH

Para la determinación de la concentración adecuada de MB en la obtención de películas antitérmicas se consideró principalmente el porcentaje de bloqueo en la región del infrarrojo cercano.

Se consideró las concentración entre 5% MB y 7% MB por ser el intervalo en donde se consiguieron variaciones significativas en los valores de las mediciones de las propiedades ópticas como el bloqueo de la radiación NIR.

En la Figura 3.18 se muestra el gráfico de porcentaje de bloqueo de la radiación NIR en función de la concentración de MB. A partir de esta curva se procedió a encontrar la función, utilizando Microsoft Excel, que más se ajuste al comportamiento de la variación de la concentración versus el porcentaje de bloque en la región del NIR. Se encontró que una función exponencial se acerca más que una función lineal a los valores medidos.

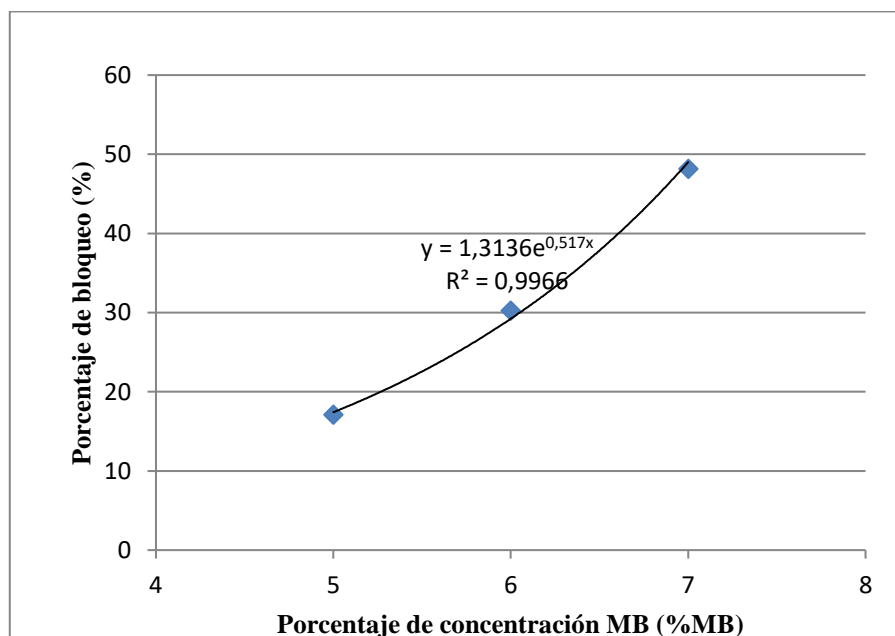


Figura 3.18. Variación del porcentaje de bloqueo de la radiación NIR en función de la concentración de MB

Hemming (2006) considera una película con bloqueo en la región del NIR, como eficiente, si presenta un bloqueo del 40% en esta región. Por lo tanto utilizando la

función exponencial obtenida, se determinó que el 40% de bloqueo en la región del NIR se alcanza una concentración de alrededor del 6,6%. Este valor representa la concentración de MB antitérmico necesario para elaborar películas sopladas antitérmicas de PEBD.

Este valor será empleado para el diseño del proceso para la producción de películas antitérmicas

3.3. DISEÑO DEL PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE 30 000 KG/MES DE PELÍCULAS SOPLADAS CON MASTERBATCH

3.3.1. INGENIERIA CONCEPTUAL

Definición del producto

Se realizó el diseño del proceso para la producción de películas sopladas de PEBD que contengan MB antitérmico. Las películas serán comercializadas en rollos de 3,2 metros de ancho y 100 metros de largo. El valor de cada rollo será calculado por su peso. Las características principales de la película antitérmica se presentan en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13 Características de la película antitérmica

Parámetro	Valor
Porcentaje de MB antitérmico.	6,6%
Porcentaje de bloqueo NIR	40 %
Espesor	200 μm
Material	PEBD

Campo de aplicación

Las películas sopladas de PEBD antitérmicas pueden ser utilizadas en las siguientes aplicaciones.

- Películas de invernadero para cultivos de tomate riñón.

En Ecuador existe una extensa área utilizada por cultivos de tomate riñón, *Lycopersicon esculentum*. El área es de 3 333 hectáreas, según el último censo agropecuario. Gran parte estos cultivos se los realiza en invernaderos cubiertos con películas plásticas por el incremento de la productividad.

Debido a la ubicación geográfica del país al medio día se produce un sobrecalentamiento dentro de un invernadero. Los cultivos de tomate necesitan de un rango específico de temperaturas para el correcto desarrollo por lo que es necesario emplear técnicas como sistemas de ventilación y/o mallas para reducir la temperatura.

- Películas de invernadero para cultivos de hortalizas

Adicional a ser empleados en cultivos de tomate, estas películas pueden ser comercializadas como cualquier otra película de invernadero de PEBD con la característica de reducir la temperatura dentro de un invernadero.

Disponibilidad de la materia prima

Las materias primas como el MB antitérmico y el PEBD serán proveídas por medio de empresas nacionales como POLIQUIM o QUIMICA COMERCIAL que se dedican a la venta de PEBD y aditivos plásticos de marcas internacionales.

El PEBD y el MB antitérmico son comercializados en sacos de 25 kg.

El precio por saco de material incluye los precios por importación e impuestos.

Capacidad

La capacidad de producción de la planta se determinó considerando que la mitad de los cultivos de tomate riñón en el Ecuador son cultivos protegidos con cubiertas plásticas, es decir 1 666 hectáreas.

En el diseño del proceso para la producción de películas sopladas de PEBD con MB antitérmico para cultivos protegidos de tomate riñón, se consideró una producción mensual del 1% de la demanda nacional de plásticos de invernadero para estos cultivos. La cifra corresponde a 30 000 kg/mes de películas de invernadero para cultivos de tomate. Al año se busca cubrir más del 10% del mercado nacional.

3.3.2. INGENIERIA BÁSICA

Descripción del proceso

Recepción de la materia Prima: La materia prima consiste en material virgen en sacos de 25 kg tanto del MB como del PEBD. Se realizará pedidos trimestrales del doble de la capacidad a procesar para evitar escases de materia prima.

Mezclado: La mezcla de los materiales, el PEBD y MB antitérmico se realizará en un mezclador mecánico. Se mezclarán en total 31 500 kg de materia prima para un proceso mensual. Se considera un adicional de 5% de materia prima debido a desperdicios ocasionados por el arranque de la extrusora y calibración del ancho y espesor de las películas sopladas. La cantidad de MB antitérmico y PEBD, se muestra en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14. Cantidad de los materiales a ser procesados en la extrusora

Material	Peso
PEBD	29 421 kg
MB antitérmico	2 079 kg

Extrusión: El proceso de extrusión empezará con la extrusión de PEBD hasta alcanzar las condiciones del proceso de extrusión, tales como el perfil de temperatura de las zonas de la extrusora, la velocidad del husillo, velocidad de tiraje que permitirán obtener una película de espesor y ancho determinado. Una vez alcanzadas las condiciones se alimenta a la extrusora con la mezcla de PEBD y MB antitérmico al 6,6% W/W.

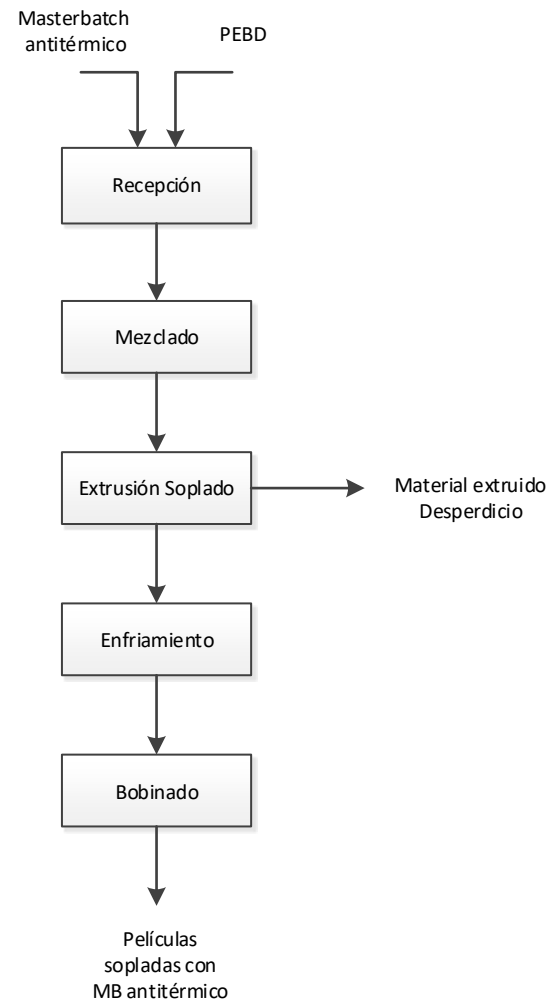
Enfriamiento: Este proceso será realizado por el anillo de enfriamiento para luego pasar por los rodillos y bobinadora.

Bobinado: Esta operación será realizada por una bobinadora. Antes de esto se realizará una calibración o medición del espesor de película. Una vez calibrado el producto es bobinado en rollos.

Diagramas BFD

En la Figura 3.19 se muestra el diagrama de bloques del proceso BFD para la obtención de películas sopladas de PEBD que contiene MB antitérmico. En el BFD constan las operaciones unitarias del proceso.

BFD PLANTA DE PELÍCULAS SOPLADAS ANTITÉRMICAS



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA	
Nombre del Proyecto:	
"EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE UN MASTERBATCH CON EFECTO ANTITÉRMICO EN LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS SOPLADAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD"	
LÍNEA DE PRODUCCIÓN	
Elaborado Por:	Páginas
JUAN PABLO PILLAJO SINAILÍN	1 DE 1
Fecha:	BFD
10 DE AGOSTO DE 2015	

Figura 3.19. Diagrama de bloques (BFD) del proceso para la producción de películas sopladadas antitérmicas.

Balance de masa del proceso

En la Figura 3.20 se presenta el balance de masa para la producción de películas sopladas antitérmicas.

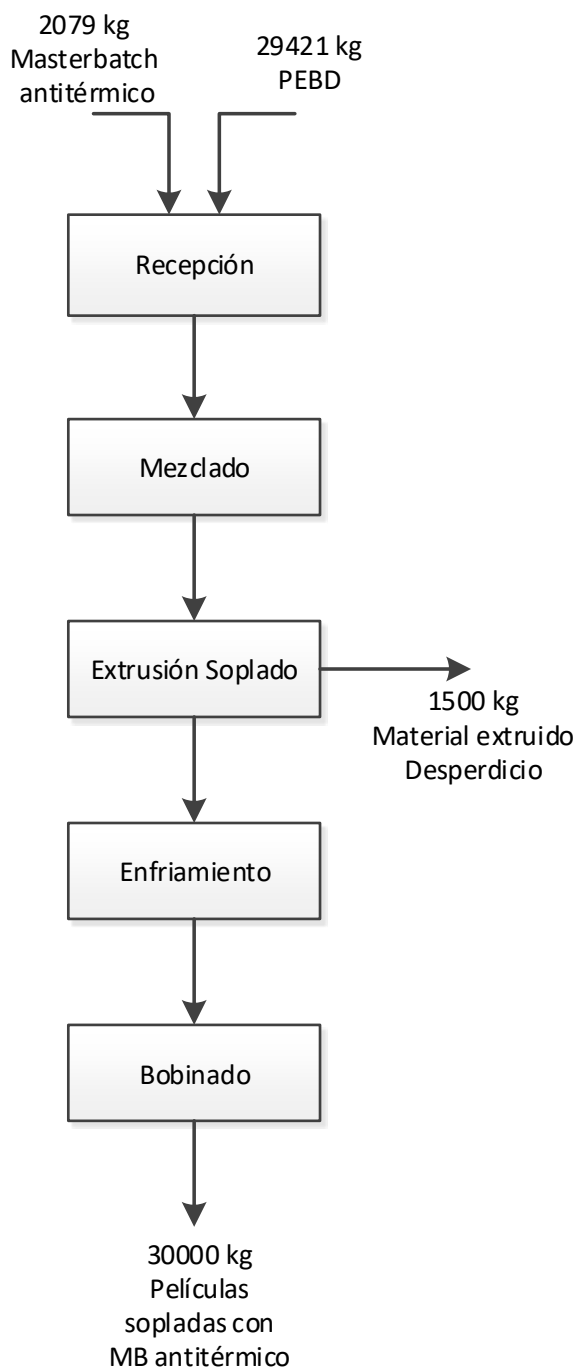


Figura 3.20. Balance de masa del proceso de producción de películas sopladas antitérmicas.

Balance de energía

En la Tabla 3.15 se muestran los equipos a utilizarse en el proceso de extrusión de películas sopladas de PEBD con MB con su respectivo consumo energético en función del número de horas de funcionamiento mensual.

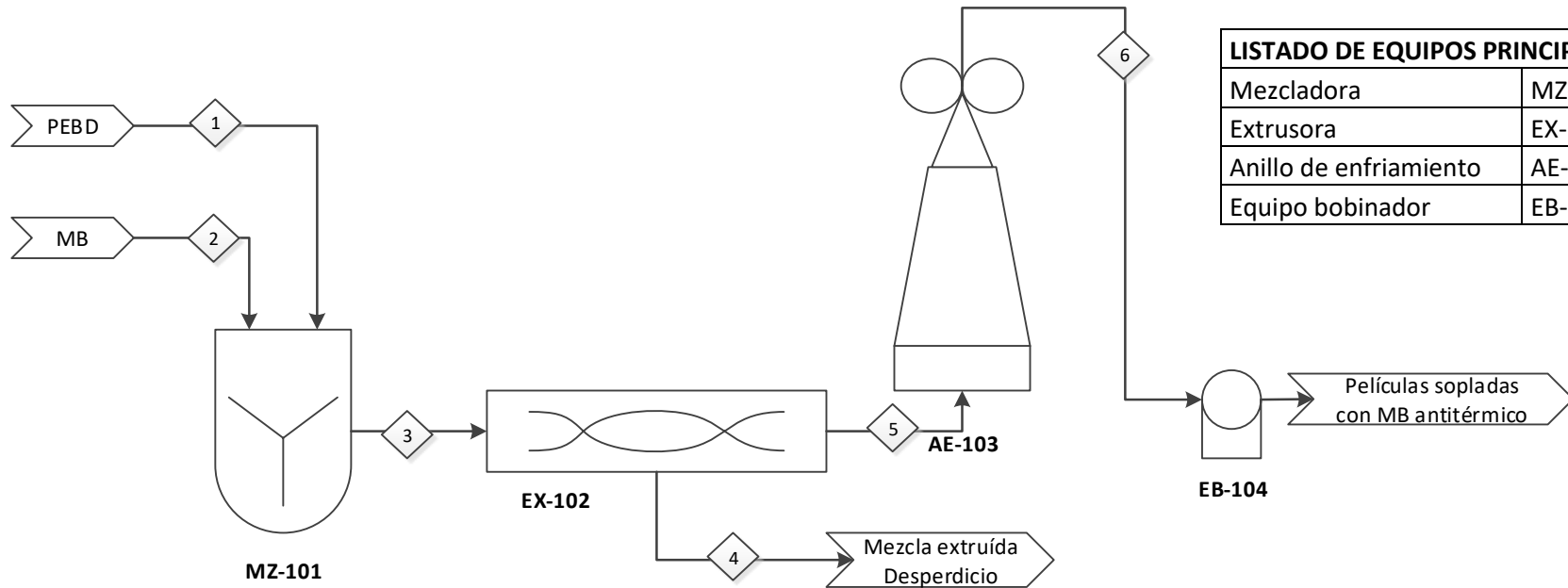
Tabla 3.15. Consumo energético de los equipos empleados en el proceso de extrusión

Equipo	Potencia demandada (kw)	Horas de funcionamiento (h/mes)	Energía demandada (kwh/mes)
Mezclador	7,5	53	397,5
Extrusor y rodillos	78	210	16 380
Compresor aire	5	210	1 050
Bobinador	4	210	840
Total			18 667,5

Diagramas PFD

En la Figura 3.21 se muestra el diagrama de flujo (PFD) del proceso de producción de películas sopladas de PEBD con MB antitérmico. En el PFD se indica el cuadro de resumen de corrientes basado en el balance de masa.

PFD PLANTA DE PELÍCULAS SOPLADAS ANTITÉRMICAS



LISTADO DE EQUIPOS PRINCIPALES

Mezcladora	MZ-101
Extrusora	EX-102
Anillo de enfriamiento	AE-103
Equipo bobinador	EB-104

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA	
Nombre del Proyecto:	
"EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE UN MASTERBATCH CON EFECTO ANTITÉRMICO EN LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS SOPLADAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD"	
LÍNEA DE PRODUCCIÓN	
Elaborado Por:	Páginas
JUAN PABLO PILLAJO SINAILÍN	1 DE 1
Fecha:	PFD
10 DE AGOSTO DE 2015	

LISTA DE CORRIENTES (kg/mes)						
	1	2	3	4	5	6
PEBD	29421					
MB		2079				
Mezcla			31500			
Mezcla extruida desperdicio				1500		
Mezcla extruida en forma de tubo					30000	
Películas sopladas con MB antitérmico						30000

Figura 3.21. Diagrama de flujo PFD del proceso para la producción de películas sopladas de PEBD y MB antitérmico mediante extrusión soplado.

3.4. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS PELÍCULAS DE PEBD CON MASTERBATCH

La estimación del costo de producción de las películas de PEBD con aditivo se realizó a partir de la suma de los valores, costo de materia prima, el costo de uso de equipos de extrusión y costos de requerimientos industriales.

3.4.1. COSTO DE PRODUCCIÓN

3.4.1.1. Costo de materia prima

El costo de la materia prima se determinó a través del balance de masa del proceso para la producción de 30 000 kg/mes de películas sopladas de PEBD antitérmicas y se presenta en la Tabla 3.16. Se toma en cuenta un 5% adicional de materia prima debido a desperdicios propios de proceso como arranque y parada de máquina, calibración de ancho y espesor de las películas.

Tabla 3.16. Costo de materia prima

Producto	Valor saco de 25 kg	Valor total (\$)
Sacos de PEBD	42,75	50 309,91
Sacos de MB antitérmico	119,25	9 916,83
Total		60 226,74

En los valores se considera el costo final del producto una vez recibido en la planta.

3.4.1.2. Costo de uso de equipos

Para el costo de uso de equipos se consideraron los equipos empleados en el proceso de extrusión de películas sopladas, estos valores fueron estimados tomando en cuenta el precio del equipo con una depreciación a 10 años. El costo

de uso de un equipo se multiplica por las horas necesarias para producir las películas y se muestran en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17. Costo de uso de equipos de la planta al mes

Equipo	Costo por hora (USD)	Horas de uso	Costo total (USD)
Mezclador	0,8	52,5	42
Equipo extrusor	40	210	8 400
Costo total			8 442

3.4.1.3. Costos de servicios industriales

Para el costo de mano de obra se tomó en cuenta que se necesitan 4 operarios para producir 30 000 kg/mes de películas sopladas y se muestra en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18. Estimación del costo de mano obra para 30 000 kg de películas sopladas

Cargo	Salario mensual (USD)	Costo de mano de obra (USD/kg)
Operarios	450	0,06

El costo de energía requerida para el proceso se determinó mediante el consumo energético del proceso multiplicado por el precio del kwh en dólares y se muestra en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Estimación del costo de la energía consumida en la producción de 30 000 kg de películas sopladas

Equipo	Energía demandada (kwh/mes)	Costo de operación (USD)
Mezclador	397,5	37,08
Extrusor y rodillos	16 380	1 528,25
Compresor aire	1 050	97,96
Bobinador	840	78,37
Total	26 227,5	1 741,66

Finalmente en la Tabla 3.20 se presenta la estimación del costo de las películas sopladas antitérmicas por kilogramo.

Tabla 3.20. Estimación de costos de las películas sopladas

	USD	USD/kg
Costo materia prima	60 226,74	2,01
Costo de uso de equipos	8 442	0,28
Costo de servicios industriales	3 541,66	0,12
Costo total	72 210,4	2,41

Se determinó que el costo estimado de producción de 1 kg de película soplada antitérmica es de 2,41 dólares. Este valor está conformado principalmente por el costo de materia prima con un 83,4%, seguido por el costo de uso de equipos con el 11,6% del costo estimado.

3.4.2. RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Para la evaluación de la rentabilidad del proyecto, se consideró la instalación de una planta para procesar 30 000 kg/mes de películas sopladas antitérmicas, y empezamos determinando el capital de inversión fija, el cual está formado por los equipos principales en el proceso de extrusión de películas sopladas.

En la Tabla 3.21 se puede observar el costo de los equipos principales para la producción de películas extruidas, en el costo de la extrusora se incluye el costo del anillo de enfriamiento, rodillos y sistema de bobinado.

Tabla 3.21. Costo de equipos principales para el proceso de extrusión de películas sopladadas

Equipo	USD
Mezclador de MB 300 kg	5 000
Máquina de extrusión	100 000
Costo total	105 000

En la Tabla 3.22 se muestra los principales costos de construcción de la planta, entre estos se encuentran el costo del terreno en la parroquia de Calderón considerando criterios como disponibilidad de materia prima, facilidad de acceso y servicios básicos.

Tabla 3.22. Costos de construcción de la planta

Denominación	Cantidad m²	Costo unitario USD	Costo total USD
Terreno	400	100	40 000
Galpón	250	90	22 500
Oficina administrativa	20	200	4 000
Baños	10	50	500
Embarque	20	40	800
Total			58 800

Además en la Tabla 3.23 se consideran los equipos necesarios para realizar un control de calidad de las películas y muebles y equipos de oficina.

Tabla 3.23. Equipos para control de calidad, muebles y equipos de oficina

Equipo	Costo USD
Espectrofotómetro	5 000
Máquina universal de ensayos	6 000
Muebles y equipos de oficina	2 000
Total	13 000

El valor del capital fijo para una planta de producción de películas sopladas se muestra en la Tabla 3.24.

Tabla 3.24. Capital fijo para la planta de producción de películas sopladas

Descripción	Costo USD
Costo de equipos	105 000
Costo construcción de la planta	58 800
Muebles de oficina y equipos de laboratorio	13 000
Total capital fijo	176 800

Para el valor del capital de trabajo se determinó el costo por año de la nómina de personal tanto administrativo como de planta y se muestra en la Tabla 3.25.

Tabla 3.25. Costo anual de la nómina de personal

Cargo	Número de empleados	Sueldo mensual USD	Total Anual USD
Operario	4	1 800	29 552,63
Contador	1	500	8 530,50
Jefe de Producción	1	1 000	17 061
Total costo del personal			55 144,13

En la Tabla 3.26 se muestra el costo de materia prima y costos energéticos al año necesarios para la producción de películas sopladas.

Tabla 3.26. Costos de materia prima y consumo eléctrico al año

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Costo Total USD
PEBD	353 052	kg	1,71USD/kg	603 718,92
Masterbatch antitérmico	24 948	kg	4,77USD/kg	119 001,96
Luz eléctrica	314 730	kW	0,093 USD/kW	29 364,31
Total costo de materia prima y consumo eléctrico				752 085,19

En la Tabla 3.27 se muestra el capital de trabajo para una planta de producción de películas sopladas antitérmicas.

Tabla 3.27. Capital de trabajo

Descripción	Costo USD
Personal administrativo y de planta	55 144,13
Materia prima y consumo eléctrico	752 085,19
Total capital de trabajo	807 229,13

Como inversión total del proyecto se considera el capital fijo como de trabajo que se muestra en la Tabla 3.28.

Tabla 3.28. Inversión Total

Descripción	Valor USD
Capital fijo	176 800
Capital de trabajo	807 229,13
Total capital de trabajo	984 029,13

Finalmente para evaluar la rentabilidad del proyecto se determinó el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) que se observan en la tabla 3.29.

Tabla 3.29. Indicadores económicos del proyecto

Descripción	Valor
VAN	S 1 272 184,33
TIR	33%

Para la instalación de una planta con una capacidad de producción de películas sopladas de 360 000 kg/año se requiere una inversión total \$ 984 029,13 con estos valores se obtiene un valor actual neto positivo de 33% y una tasa interna de retorno positiva de 1 272 184,33, por lo tanto el proyecto de instalar una planta con esta producción es rentable.

En la Tabla 3.30 se puede observar el flujo de caja para la evaluación del proyecto para un plazo de 10 años.

Tabla 3.30 Flujo de caja para el proyecto de la implementación de una planta de películas sopladas de PEBD antitérmicas

[illegible]

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- A partir de las cenizas del MB de estudio y mediante las técnicas de espectroscopia FT-IR y difracción de rayos X se determinó que entre los componentes se encuentra el mineral talco y óxido de aluminio. La existencia de estos dos compuestos y el tamaño de partícula observado en la micrografía, sobretodo del óxido de aluminio, nos indica que el mecanismo de acción del MB es reflejar la región del NIR.
- De las pruebas mecánicas realizadas como la tensión y rasgado en los sentidos longitudinal y transversal se puede concluir que el *masterbatch* con efecto antitérmico no constituye un factor importante en la variación de estos parámetros, ya que al analizar los resultados entre las muestras con diferentes concentraciones de *masterbatch* versus la muestra de referencia no existe una diferencia importante.
- La influencia del *masterbatch* antitérmico en las propiedades ópticas como porcentaje de *haze*, transmitancia del visible y porcentaje de bloqueo es mayor en concentraciones menores al 7% del aditivo, a concentraciones mayores a este valor la influencia disminuye.
- El *masterbatch* antitérmico empleado produce un incremento en los valores de porcentaje de *haze* o luz desviada, mientras que reduce el porcentaje de transmitancia del visible o luz que atraviesa la película, debido a la presencia de los pigmentos del aditivo que dispersan y bloquean la luz visible.
- La presencia del *masterbatch* antitérmico en las películas sopladas provocó mayores porcentajes de bloqueo de las tres regiones consideradas en este estudio respecto a la película de referencia, es decir no es un aditivo fotoselectivo de la región del infrarrojo. Sin embargo el mayor porcentaje de

bloqueo se alcanzó en la región del infrarrojo cercano con un 57% de bloqueo, necesario para producir películas antitérmicas.

- Se determinó que la concentración de *masterbatch* para producir películas con característica antitérmica, es del 6,6% W/W.
- Para evaluación de la rentabilidad del proyecto considerando implementar una planta para la producción de 30 000 kg/mes de películas sopladas de PEBD con efecto antitérmico como cubiertas de invernadero, se determinó que se necesita una inversión de capital fijo de \$176 800 y una inversión de capital de trabajo de \$ 807 229,13, obteniéndose una inversión total para este proyecto de \$984 029,13. Además, se determinó un valor actual neto (VAN) de 1 272 183,33 y una tasa interna de retorno (TIR) de 33% valores positivos para la implementación de la planta.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se podría complementar esta investigación con la obtención partículas de dióxido de titanio, por su alto índice de refracción, de tamaño de micras para la elaboración de un *masterbatch* antitérmico.
- Se recomienda realizar películas con un aditivo absorbedor de la radiación NIR para cuantificar la eficacia y comparar con los valores obtenidos en este estudio.
- Se podría realizar la extrusión de esta película antitérmica mediante la técnica multicapa para evaluar las propiedades mecánicas y ópticas consideradas en este estudio.
- Se recomienda agregar aditivos absorbedores de UV para otorgar características de bloqueo de UV y alargar la vida útil de las películas sopladas.

- Se sugiere realizar una evaluación de las películas sopladas en campo, realizando túneles de cultivo para medir tanto la temperatura del interior del túnel como la del exterior y determinar su eficiencia.
- Para mejorar la rentabilidad del proyecto es recomendable aumentar la producción mensual de películas sopladas que permitirán mejorar la utilidad bruta y por lo tanto el TIR y VAN del proyecto, sobre todo porque se consideró un porcentaje bajo de 1% de la demanda de plástico de invernadero para cultivos de tomate riñón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdel, A., Al-Helal, I. y Alzahrani, S. (2012). Covering materials incorporating radiation – preventing techniques to meet greenhouse cooling challenges in Arid Regions. *The Scientific World Journal*, 2012(1), 1-11. doi:10.1100/2012/906360
2. Abdel, E. (2003). *Handbook of plastic films*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/105233247/Handbook-of-Plastic-Films#scribd> (Mayo, 2014)
3. Alvarez, A. (2009). *Estudio de las características geométricas y del comportamiento aerodinámico de las mallas antiinsectos utilizadas en los invernaderos como medida de protección vegetal.* Tesis Doctoral. Universidad de Almería, Almería, España. Recuperado el 10 Julio de 2015, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/12652/1/CD-6673.pdf>
4. Askeland, D., Fulay, P. y Wright, W. (2010). *The Science and Engineering of Materials*. (6ta ed.). Estados Unidos, Editorial Cengage Learning
5. ASTM D - 1004 (2013). "Standard Test Method for Tear Resistance of Plastic Film and Sheeting"
6. ASTM D – 882 (2002). "Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting"
7. Bart, J. (2005). *Additives in Polymers: Industrial Analysis and Applications*. (1era ed.). Gran Bretaña. Editorial Wiley
8. Bendiganavale, A. y Malshe, V. (2008). Infrared Reflective Inorganic Pigments. *Recent Patents on Chemical Engineering*, 1(1), 67-79. Recuperado de http://homepage2.nifty.com/bussei_katsuaki/Infrared_reflecting_pigment.pdf

9. Bello, J., González, J. y Torres, J. (2015). Sistema automatizado de control para el crecimiento de microalgas. *Congreso Internacional del Agua, 1-4*. Recuperado el 8 de Mayo de 2015
10. Beltrán, M. y Marcilla, A. (2012) *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=jxilUUn4_QAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false (Agosto, 2014)
11. Bolgar, M., Hubball, J., Groeger, J. y Meroneck, S. (2007) *Handbook for chemical analysis of plastic and polymers additives*. (1era ed.) Estados Unidos. Taylor & Francis Group.
12. Buchberger, W. y Stiftinger M. (2012). Analysis of Polymer Additives and Impurities by Liquid Chromatography/Mass Spectrometry and Capillary Electrophoresis/mass Spectrometry. *Advances in Polymer Science*, 2012 (1), 39-68. Doi: 10.1007/12_2011_147
13. BYK-Gardner (2010). Transmission & Haze. Recuperado de <https://www2.unece.org/wiki/download/attachments/4064353/IGPG-TF%20wiper-SG2-02-01e.pdf?api=v2> (Septiembre, 2014)
14. Caguana, M. (2003). El cultivo de tomate riñon en invernadero. (1ed). Quito, Ecuador. Editorial Abya Yala
15. Caldari, P. (2007). Manejo de la luz en invernaderos. Ciba Especialidades Químicas Ltda Brasil. Recuperado de <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/Foros/LUZINVERNADEROS.pdf> (Julio 2013)
16. Callister, W. (2007). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales* (3era ed). Barcelona, España: Reverté.
17. Cañizares, R., Serrano, P., Sanchez, J., Gordillo, A. Salazar, D. y Santana O. (2002), Influencia de las condiciones de procesamiento en el

- comportamiento a fractura de películas de LLDPE evaluado mediante trabajo esencial de fractura (EWF). *Anales de mecánica de la fractura*. 1(19), 153-158. Recuperado de <http://www.gef.es/Congresos/19/pdf/Anales19-023.pdf>
18. Carranza, L. (2004). Programa de operación y mantenimiento de extrusoras, para la manufactura de bobina plástica a base de polietileno. (Proyecto de titulación previo a la obtención de Ingeniero Mecánico). Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala
 19. Castilla, N. (2013). *Greenhouse Technology and Management* (2da ed). Madrid, España: Mundi-Prensa.
 20. Catalina, F. (2001). *Aplicaciones de la fotoquímica de polímeros al diseño de filmes agrícolas*. Ponencia presentada en V-Congreso de Fotoquímica, Málaga, España. Recuperado de http://www.fotoquimica.org/esp/docs/Libro_Torremolinos2001.pdf (Abril, 2014)
 21. Chanda, M. y Roy, S. (2009). *Plastics Fabrication and Recycling*. Estados Unidos, CRC Press.
 22. Delgado, A. (2011). Propiedades ópticas de películas PEBD con diferentes mezclas de aditivos. *Ingeniería y Ciencia* Universidad Militar Nueva Granada, 7(14), 49-70. Recuperado de http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652011000200003&lng=en&nrm=iso (Julio, 2013)
 23. Espí, E (2012). Materiales de Cubierta para Invernaderos. *Centro de Tecnología Repsol*. Recuperado de <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-550.pdf> (Mayo 2013)
 24. Fang, V., Kenedy, J., Futter, J. y Manning, J. (2013) A review of infrared reflectance properties of metal oxide nanostructure, *GNS Science Report*

25. Ganguly, A. y Ghosh, S.(2011). A review of ventilation and cooling technologies in agricultural greenhouse application. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 2 (1), 32-46. Recuperado de [http://idosi.org/ijee/2\(1\)11/5.pdf](http://idosi.org/ijee/2(1)11/5.pdf)
26. Gliessman, S. (2002). *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. (1era ed.). Costa Rica, Litocat.
27. Groover, M. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing*. (4ta ed.). Estados Unidos. Thomson Digital.
28. Grossi, H. (2004). Distribución especial de la radiación fotosintéticamente activa en Argentina. GERSolar. (Vol. 29). Lujan. Recuperado 6 Junio de 2015, de <http://www.scielo.org.ar/pdf/meteoro/v29n1-2/v29n1-2a03.pdf>
29. Guang, W. y Yue, Z. (2010). Optimization and design of pigments for heat-insulating coatings. *Chinese Physics Society*, 19 (12), 1-6. doi:1088/1674-1056/19/12/127803
30. Guerrero, N. (2001). Evaluación de la producción comercial de tomate riñón bajo invernadero la finca California. . (Proyecto de titulación previo a la obtención de Magister). Universidad Andina Simón Bolívar. Quito, Ecuador
31. Harris, D. (2003). *Análisis químico cuantitativo*. (3era ed.) Estados Unidos. Editorial Reverté.
32. Hemming, S., Kempkes, N., Dueck, T. y Marissen, N. (2006). Greenhouse cooling by NIR-reflection. Recuperado de <http://edepot.wur.nl/44549> (Agosto, 2013)
33. Inzunza, J. (2006). *Metereología Descriptiva*. (1era ed.) Chile. Universidad de Concepción.
34. Jeevannandam, P., Mulukutla, R., Phillips, M., Chaudhuri, S., Erickson, L. y Klabunde, K. (2007). Near infrared reflectance properties of metal oxide nanoparticles. *The Journal of physical Chemistry*, 111, 1912-1918.

Recuperado de <http://wenku.baidu.com/view/18639fb21a37f111f1855b1f.html> (Junio, 2014)

35. Kalpakjian, S. y Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. (4ta ed.). México. Pearson Educación
36. Kaur, B. (2012). *Development of IR-reflective pigments for coatings and polymers*. (Disertación doctoral) Recuperado de <https://researchbank.rmit.edu.au/eserv/rmit:160085/Kaur.pdf> (Abril, 2014)
37. Kumar, A. y Gupta, R. (2003). *Fundamentals of Polymer Engineering*. Estados Unidos. Marcel Dekker
38. Lobo, H. y Bonilla, J. (2003). *Handbook of Plastics Analysis*. New York, Estados Unidos: Marcel Dekker.
39. López, J., Gonzales, A., García, Y., Espí, E. y Salmerón, A. (2007). Use of cool plastic films for greenhouse covering in southern Spain. *Acta Hort* 801.181-186. Recuperado de http://www.researchgate.net/publication/260703924_Use_of_Cool_Plastic_Films_for_Greenhouse_Covering_in_Southern_Spain (Agosto, 2014)
40. Meca, A. (2012). Evaluación de un plástico fotoselectivo NIR como material de cubierta de invernadero. (Proyecto de titulación previo a la obtención de Master en Producción Vegetal no publicado). Universidad de Almería, Almería, España.
41. Morán, C. (2002). Adaptación tecnológica de una máquina extrusora de termoplásticos. (Proyecto de titulación previo a la obtención de Ingeniero Mecánico). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador
42. Murphy, J. (2001). *Additives for Plastics Handbook*. (2da ed). Reino Unido. Editorial Elsevier Advanced Technology.

43. Mutwiwa, U. (2007). *Effects of different cooling methods on microclimate and plant growth in greenhouses in the tropics*. (Disertación doctoral). Recuperado de <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/J322UAMJKQFLYLJ4V3VBBYLC4IRCWSEE/full/1.pdf> (Marzo 2014)

44. Mutwiwa, U., Tantau, H., Elsner, B., Max, J. (2008) Effects of near infra-red reflection greenhouse cooling on blossom-end rot and fruit cracking in tomato. *African Journal Horticultural Science*, 1(1), 33-43. Recuperado de <http://www.hakenya.net/ajhs/index.php/ajhs/article/view/15/24>

45. Myers, D (2013). *Solar Radiation. Practical Modeling for Renewable Energy Applications*. (1era ed). Estados Unidos. Taylor & Francis Group.

46. Nouri, M., Morshedian, J., Rabbani, A., Ghasemi, I. y Ebrahimi, M. (2006). Investigation of LLDPE/LDPE blown films by response surface methodology. *Iranian Polymer Journal*, 15 (2), 155-161. Recuperado de <http://journal.ippi.ac.ir/manuscripts/IPJ-2006-03-744.pdf>

47. Orient, F. e Igualada, J. (2004) *Compuesto Polimérico para protección de la radiación solar y sus aplicaciones*. Recuperado de: http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/19/90/ES-2199078_A1.pdf

48. Pérez, R., Torres, A. y Candal, M. (2013). Efecto de las variables del proceso de extrusión sobre la relación estructura-propiedades de películas tubulares de PEBD. Recuperado de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/NOV13/perez.pdf> (Agosto 2013)

49. Pohl, G. (2010). *Textiles, polymers and composites for buildings* (1era ed.) Gran Bretaña. Editorial Woodhead Publishing Limited.

50. Ramos, L. (2013). *Extrusión de plásticos: Principios básicos*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=U7C3AgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> (Julio, 2014)

51. Rathore, N. y Panwar, N. (2007). *Renewable Energy Sources for Sustainable Development*. (1 ed). New Delhi, India: New Indian Publish Agency.

52. Rodríguez, M., Castro, L. y del Real, J. (2010). Procesos industriales para materiales no metálicos. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=pwuUka4r6CIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> (Enero, 2014)

53. Rosato, D., Rosato, D. y Rosato M. (2001). *Plastic Design Handbook*. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=wW3dBwAAQB AJ&pg=PA339&lpg=PA339&dq=rosato+d.v.+extruding+plastics+ldpe+temperature&source=bl&ots=Xmf0gDZPu2&sig=0NjUT3ERwwLsU28gaqg-4Wn3tUE&hl=es&sa=X&sqj=2&ved=0ahUKEwjegLW_nJPKAhXH6CYKHf90AZEQ6AEIKDAC#v=onepage&q=rosato%20d.v.%20extruding%20plastics%20ldpe%20temperature&f=false (Mayo, 2015)

54. Sandin, O. (2013). Optical and Mechanical Properties of Cool Roof Paint Containing Hollow Thermoplastoc Microshepre. <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:643316/FULLTEXT01.pdf>

55. Salán, M. (2005). *Tecnología de proceso y transformación de materiales*. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=KBhpBQAA QBAJ&pg=PA136&lpg=PA136&dq=tolva+extrusora&source=bl&ots=DNCkxd3CU_&sig=VjlvMOzA-2mZkY3D-0CAopuRy0E&hl=es&sa=X&ei=URz_VJDzB8GrggShvITIDw&ved=0CB4Q6AEwATgU#v=onepage&q=tolva%20extrusora&f=false (Octubre 2014)

56. Scarascia, G., Sica, C. y Russo, G. (2011) Plastic materials in European agriculture actual use and perspectives. *Journal of Agricultural Eng.* (3), 15-28. Recuperado de <http://www.agroengineering.org/jae/article/viewFile/jae.2011.3.15/26> (Junio 2014)

57. Schweigger, E. (2005). Manual de pinturas y recubrimientos plásticos. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=17n1yqXyQ>

QsC&pg=PA135&lpg=PA135&dq=indice+de+refraccion+talco&source=bl&ots=X6tER3CZgu&sig=6MHRVgJDrNK8rip3N3fx6l6iek&hl=es&sa=X&ei=DU3IVLG3HMujNv-Hg5AD&ved=0CBwQ6AEwAA#v=onepage&q=indice%20de%20refraccion%20talco&f=false (Abril, 2014)

58. Seymour, R. y Carraher, C. (2002) *Introducción a la química de los polímeros*. (3era. ed). Barcelona, España: Reverté

59. Smith, B (2011). *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (2da ed.) Boca Raton, Estados Unidos: Taylor & Francis

60. Vasile, C. y Pascu, M., (2009). *Practical Guide to Polyethylene*. United Kingdom. Rapra.

61. Waaijenberg, D. y Sonnelved, P. (2004). Greenhouse design for the future with a cladding material combining high insulation capacity with high light transmittance. *Acta Horticulturae* 633, 127-143. Recuperado de <http://edepot.wur.nl/29277> (Julio 2014)

62. Wang, Z. (2013). *Near-Infrared Organic Materials and Emerging Applications*. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=IErNBQAAQBAJ&pg=PA9&lpg=PA9&dq=pigments+reflectives+nir+organic&source=bl&ots=k1NbW9RmuU&sig=B4QYU8lljtMBnRJO6Oloc_iLb3M&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj1jZmuj5HKAhVFWSYKHT2VAYcQ6AEIQjAF#v=onepage&q=pigments%20reflectives%20nir%20organic&f=false (Enero, 2015)

63. Wheeler, I. (1999). *Metallic Pigments in Polymers*. (1era ed) Londres, Reino Unido: Rapra Technology Limited.

64. Zabeltitz, C. (2011). *Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates*. Recuperado de http://books.google.com.ec/books?id=jWaLjhdtmE8C&pg=PA161&lpg=PA161&dq=nir+reflecting&source=bl&ots=g_6_GBK-Ez&sig=NgpbYMU56ZUrSnhz89UrbBUUljs&hl=es&sa=X&ei=3p49VPWDE

ciRgwSd4ILwBQ&ved=0CG8Q6AEwCQ#v=onepage&q=nir%20reflecting&f=false (Junio, 2013)

65. Zalamea, L. y Quintero, M. (2003) ¿Cómo optimizar el proceso de extrusión de PELBD? *Tecnología del plástico*, 1-6. Recuperado de [http://www.plastico.com/temas/Como-optimizar-el-proceso-de-extrusion - de-PELBD+3027809?pagina=2](http://www.plastico.com/temas/Como-optimizar-el-proceso-de-extrusion-de-PELBD+3027809?pagina=2)

ANEXOS

ANEXO I

MEDICIONES PROPIEDADES MECÁNICAS

Tabla A.I.1. Resultados de ensayo de tensión deformación en la dirección MD

	Material						
Medición	PE	FL5	FL6	FL7	FL8	FL9	FL10
1	17,260549	18,42023	19,372983	17,039863	16,974401	17,023085	16,923169
2	17,756657	16,169578	17,648004	20,131398	19,455197	18,679445	17,421457
3	18,16931	19,019201	18,497047	18,372802	17,294624	18,046399	19,33532
4	17,912166	18,511557	17,801989	17,578478	19,249557	20,215335	18,604224
5	17,108593	17,698202	16,689237	16,991486	17,793714	17,173914	19,125205
Promedio	17,641455	17,963754	18,001852	18,022806	18,153499	18,227635	18,281875
Desv. Est.	0,446	1,108	1,002	1,303	1,135	1,299	1,062

Tabla A.I.2 Resultados de ensayo de tensión deformación en la dirección TD

	Material						
Medición	PE	FL5	FL6	FL7	FL8	FL9	FL10
1	16,75617	18,795973	16,938114	17,135281	18,524575	17,071928	17,885816
2	17,270426	17,223229	17,244204	18,91746	17,304715	17,618843	16,841162
3	17,078125	16,601656	18,658842	17,64238	18,013425	16,869524	18,340205
4	17,363778	17,728849	17,044516	16,347393	16,917904	18,26575	18,081917
5	16,912631	17,121865	17,717143	17,46851	17,271239	18,453295	17,281749
Promedio	17,076226	17,494314	17,520564	17,502205	17,606372	17,655868	17,68617
Desv. Est.	0,250	0,830	0,703	0,934	0,649	0,702	0,613

Tabla A.I.3 Resultados de ensayo de rasgado en la dirección MD

	Material						
Medición	PE	FL5	FL6	FL7	FL8	FL9	FL10
1	1,378361	1,6576348	1,7541297	1,6568243	1,8514741	1,8966876	1,7828055
2	1,6910973	1,5437128	1,5204649	1,4823765	1,6005691	1,7505588	1,7951306
3	1,5994201	1,696604	1,672515	1,5824595	1,6593956	1,6099511	1,6530382
4	1,4966501	1,7649669	1,5561706	1,5605469	1,7198792	1,8202778	1,683387
5	1,5926453	1,6397573	1,6573765	1,594744	1,745045	1,5680447	1,5740383
6	1,5395794	1,5209346	1,7304613	1,754744	1,635045	1,7734857	1,7756226
7	1,6234187	1,4341062	1,4575365	1,5696965	1,5033955	1,6552233	1,5551777
8	1,5430673	1,6701978	1,7095831	1,865622	1,6860337	1,7680447	1,8602063
9	1,5704859	1,7052523	1,7865868	1,7411949	1,5850223	1,5433364	1,7974679
10	1,4992744	1,6876621	1,5855895	1,6581307	1,7875267	1,6402566	1,8859851
Promedio	1,5534	1,6320829	1,6430414	1,6466339	1,6773386	1,7025867	1,7362859
Desv. Est.	0,085	0,101	0,109	0,114	0,103	0,116	0,114

Tabla A.I.4 Resultados de ensayo de rasgado en la dirección TD

	Material						
Medición	PE	FL5	FL6	FL7	FL8	FL9	FL10
1	1,5462557	1,6310116	1,4794421	1,4482891	1,5765148	1,4836108	1,729464
2	1,534898	1,574554	1,520016	1,7078563	1,6469318	1,4974804	1,7145885
3	1,4179517	1,5835443	1,4635946	1,4369336	1,6768892	1,5639941	1,6966876
4	1,4959379	1,425526	1,4209202	1,6559621	1,4691778	1,7352563	1,4805588
5	1,5252886	1,6077559	1,664725	1,5437023	1,6521982	1,62925	1,575845
6	1,4651683	1,4555537	1,7100386	1,5201574	1,4334877	1,6372681	1,5431605
7	1,5320699	1,4076227	1,5419542	1,7243002	1,5307824	1,7400741	1,6734857
8	1,5817457	1,5924428	1,6769599	1,6342727	1,440484	1,5505046	1,6812233
9	1,5842718	1,4146348	1,5765029	1,5212986	1,7178866	1,4672822	1,4610644
10	1,3847816	1,6913828	1,4693303	1,67392	1,6256427	1,6897211	1,6438456
Promedio	1,5068369	1,5384029	1,5523484	1,5866692	1,5769995	1,5994442	1,6199923
Desv. Est.	0,066	0,103	0,101	0,106	0,103	0,102	0,098

ANEXO II

MEDICIONES PROPIEDADES ÓPTICAS

Tabla A.II.1 Resultados de porcentaje de *haze*

	Material						
Medición	PE	FL5	FL6	FL7	FL8	FL9	FL10
1	16,4	18,5	25,5	34,2	37	39,9	40,3
2	16,5	18,2	25	33,9	37,2	39,1	40,6
3	16	18,1	24,9	33,7	37,5	39,4	40,2
4	16,3	18,3	25,1	34,3	36,9	39,3	39,9
5	15,8	17,9	25	33,9	37,4	39,3	40,5
Promedio	16,2	18,2	25,1	34	37,2	39,4	40,3
Desv. Est.	0,291547595	0,2236068	0,2345208	0,244949	0,254951	0,3	0,2738613

Tabla A.II.2 Resultados de porcentaje de transmitancia luminosa

	Material						
Medición	PE	FL5	FL6	FL7	FL8	FL9	FL10
1	89	84,1	76,2	64,5	59,8	57,3	56,4
2	88,5	85	77,2	64,3	59,1	56,6	56
3	89,3	85,2	76,8	64,8	59,4	57,5	56,7
4	88,1	84,3	76,6	64,5	59,9	58,1	55,9
5	88,6	85,4	77,7	65,9	59,3	56,5	55,5
Promedio	88,7	84,8	76,9	64,8	59,5	57,2	56,1
Desv. Est.	0,464	0,570	0,574	0,640	0,339	0,663	0,464

Tabla A.II.3 Porcentaje de transmitancia desde 200 nm hasta 1 100 nm de las diferentes películas

Wave	PEBD	5% MB	6% MB	7% MB	8% MB	9% MB	10% MB
200	0,21	0,17	0,12	0,08	0,13	0,09	0,06
205	1,69	1,02	0,34	0,21	0,33	0,26	0,2
210	11,87	8,5	4,13	2,44	2,83	2,45	2,03
215	32,01	25,7	16,99	10,7	10,4	9,44	7,91
220	45,61	37,91	27,51	17,78	16,42	14,88	12,38
225	50,24	42,14	31,19	20,15	18,45	16,7	13,91
230	51,85	43,95	32,75	21,42	19,89	18,05	15,13
235	52,67	45,17	34,42	23,47	21,95	20,07	17,05
240	53,55	46,49	36,67	26,52	24,57	22,74	19,66
245	54,49	47,55	38,12	28,31	26,33	24,47	21,41
250	55,44	48,49	39,01	29,12	27,18	25,25	22,21
255	56,4	49,52	39,82	29,78	27,85	25,83	22,83
260	57,3	50,52	40,54	30,34	28,37	26,28	23,28
265	58,17	51,33	41,14	30,68	28,71	26,58	23,58
270	58,97	52,01	41,65	30,83	28,9	26,7	23,65
275	59,76	52,53	42,09	30,84	28,94	26,69	23,62
280	60,54	53,04	42,55	30,89	29,07	26,77	23,65
285	61,31	53,66	43,29	31,43	29,58	27,27	24,09
290	62,1	54,48	44,29	32,4	30,73	28,39	25,18
295	62,91	55,55	45,58	33,93	32,04	29,71	26,48
300	63,7	56,56	46,54	34,96	32,95	30,61	27,37
305	64,63	57,54	47,43	35,81	33,64	31,36	28,03
310	65,39	58,32	48,15	36,38	34,24	31,89	28,52
315	66,13	59,05	48,86	36,91	34,77	32,37	28,95
320	66,79	59,67	49,48	37,35	35,24	32,79	29,34
325	67,47	60,34	50,12	37,83	35,69	33,21	29,72
330	68,1	60,94	50,7	38,27	36,13	33,61	30,1
335	68,68	61,57	51,26	38,67	36,56	34	30,45
340	69,28	62,25	51,83	39,14	36,98	34,39	30,85
345	69,88	62,9	52,4	39,6	37,39	34,77	31,22
350	70,46	63,59	52,96	40,04	37,83	35,15	31,59
355	71,01	64,27	53,5	40,52	38,28	35,53	31,98
360	71,57	64,94	54,01	40,98	38,67	35,91	32,31
365	72,02	65,48	54,5	41,33	39,05	36,17	32,59
370	71,85	65,19	54,27	40,8	39,57	37,07	33,62

Tabla A.II.3 Porcentaje de transmitancia desde 200 nm hasta 1 100 nm de las diferentes películas (**continuación...**)

Wave	PEBD	5% MB	6% MB	7% MB	8% MB	9% MB	10% MB
375	72,08	65,46	54,47	40,95	39,23	36,87	33,67
380	72,58	66,03	54,97	41,33	39,7	37,3	34,03
385	72,94	66,47	55,41	41,67	40,05	37,59	34,26
390	73,56	67	55,87	41,98	40,36	37,9	34,6
395	73,9	67,44	56,24	42,29	40,8	38,28	34,9
400	74,37	67,86	56,61	42,64	41,03	38,61	35,23
405	74,67	68,16	56,92	42,81	41,28	38,74	35,33
410	75,09	68,63	57,33	43,09	41,6	39,04	35,6
415	75,47	69,03	57,69	43,38	41,93	39,3	35,83
420	75,84	69,4	58,05	43,66	42,2	39,61	36,09
425	76,21	69,81	58,4	43,8	42,51	39,82	36,32
430	76,52	70,1	58,67	44,02	42,78	40,07	36,54
435	76,84	70,36	58,93	44,23	42,95	40,27	36,75
440	77,09	70,64	59,19	44,41	43,15	40,44	36,86
445	77,44	71,01	59,51	44,65	43,34	40,62	37,03
450	77,71	71,34	59,81	44,87	43,53	40,83	37,21
455	78,03	71,61	60,09	45,04	43,76	41,02	37,39
460	78,27	71,95	60,33	45,29	43,97	41,2	37,57
465	78,57	72,22	60,59	45,43	44,17	41,38	37,74
470	78,76	72,38	60,81	45,54	44,31	41,53	37,88
475	78,97	72,62	60,99	45,7	44,46	41,65	37,98
480	79,27	72,92	61,25	45,9	44,61	41,8	38,14
485	79,5	73,12	61,49	46,06	44,79	41,99	38,29
490	79,74	73,38	61,69	46,19	44,95	42,13	38,43
495	79,97	73,64	61,9	46,32	45	42,18	38,51
500	80,18	73,81	62,06	46,5	45,17	42,33	38,68
505	80,32	73,98	62,19	46,57	45,27	42,47	38,76
510	80,52	74,2	62,38	46,72	45,49	42,61	38,89
515	80,74	74,44	62,58	46,87	45,61	42,76	39,01
520	80,98	74,67	62,82	47,02	45,79	42,89	39,14
525	81,16	74,87	62,98	47,15	45,96	43,04	39,27
530	81,34	75,04	63,14	47,26	46,02	43,13	39,34
535	81,55	75,24	63,32	47,37	46,16	43,24	39,45
540	81,68	75,4	63,47	47,5	46,21	43,3	39,5

Tabla A.II.3 Porcentaje de transmitancia desde 200 nm hasta 1 100 nm de las diferentes películas (**continuación...**)

Wave	PEBD	5% MB	6% MB	7% MB	8% MB	9% MB	10% MB
545	81,84	75,55	63,61	47,6	46,34	43,41	39,6
550	81,98	75,69	63,73	47,66	46,43	43,48	39,68
555	82,14	75,86	63,88	47,77	46,53	43,56	39,74
560	82,29	76,01	64,04	47,87	46,67	43,64	39,84
565	82,47	76,15	64,11	47,93	46,57	43,67	39,89
570	82,66	76,34	64,32	48	46,77	43,82	40,02
575	82,77	76,49	64,41	48,15	46,87	43,89	40,06
580	82,88	76,57	64,52	48,22	46,95	44,01	40,14
585	83,07	76,75	64,65	48,31	47,09	44,09	40,23
590	83,19	76,92	64,83	48,39	47,19	44,14	40,27
595	83,33	77,06	64,91	48,49	47,29	44,28	40,39
600	83,42	77,17	65,02	48,54	47,4	44,36	40,46
605	83,57	77,29	65,15	48,63	47,44	44,4	40,51
610	83,66	77,38	65,21	48,7	47,49	44,45	40,54
615	83,76	77,48	65,29	48,76	47,59	44,55	40,63
620	83,84	77,58	65,37	48,81	47,47	44,43	40,51
625	83,91	77,67	65,46	48,8	47,45	44,45	40,61
630	84,02	77,76	65,5	48,87	47,62	44,59	40,74
635	84,19	77,87	65,63	48,98	47,81	44,79	40,87
640	84,32	78,04	65,75	49,12	48,06	44,95	40,96
645	84,43	78,15	65,86	49,17	48,08	44,98	41
650	84,56	78,27	65,96	49,23	48,11	45	41,02
655	84,66	78,36	66,04	49,28	48,13	45,03	41,03
660	84,71	78,43	66,13	49,34	48,21	45,08	41,1
665	84,83	78,54	66,23	49,39	48,22	45,1	41,11
670	84,95	78,63	66,31	49,44	48,3	45,16	41,16
675	85,01	78,76	66,4	49,51	48,39	45,24	41,22
680	85,07	78,79	66,47	49,55	48,37	45,21	41,21
685	85,15	78,86	66,52	49,58	48,39	45,26	41,24
690	85,25	78,95	66,59	49,62	48,41	45,27	41,26
695	85,31	78,98	66,66	49,66	48,52	45,34	41,35
700	85,4	79,09	66,74	49,71	48,58	45,42	41,4
705	85,46	79,2	66,8	49,76	48,66	45,47	41,43
710	85,54	79,28	66,87	49,82	48,67	45,48	41,45

Tabla A.II.3 Porcentaje de transmitancia desde 200 nm hasta 1 100 nm de las diferentes películas (**continuación...**)

Wave	PEBD	5% MB	6% MB	7% MB	8% MB	9% MB	10% MB
715	85,61	79,32	66,93	49,85	48,72	45,49	41,44
720	85,67	79,38	66,96	49,87	48,77	45,54	41,52
725	85,78	79,5	67,07	49,96	48,81	45,58	41,55
730	85,87	79,58	67,13	50	48,82	45,58	41,55
735	85,94	79,68	67,23	50,04	48,95	45,69	41,65
740	86,01	79,75	67,27	50,09	49,01	45,75	41,68
745	86,05	79,81	67,34	50,15	49,06	45,78	41,73
750	86,15	79,88	67,39	50,19	49,04	45,78	41,7
755	86,21	79,96	67,46	50,22	49,14	45,83	41,75
760	86,28	80,05	67,53	50,3	49,17	45,86	41,76
765	86,4	80,14	67,63	50,38	49,3	45,97	41,86
770	86,46	80,22	67,69	50,43	49,36	46,02	41,89
775	86,55	80,34	67,78	50,48	49,47	46,15	41,98
780	86,62	80,41	67,85	50,54	49,55	46,19	42
785	86,66	80,46	67,9	50,56	49,58	46,2	42,02
790	86,77	80,54	67,95	50,63	49,65	46,24	42,05
795	86,81	80,6	68,02	50,66	49,66	46,28	42,08
800	86,88	80,67	68,07	50,69	49,78	46,37	42,15
805	86,91	80,73	68,1	50,74	49,86	46,43	42,2
810	87,02	80,85	68,21	50,81	49,94	46,51	42,25
815	87,04	80,85	68,22	50,83	49,91	46,49	42,25
820	87,11	80,92	68,27	50,87	50	46,55	42,28
825	87,14	80,94	68,31	50,87	49,96	46,52	42,26
830	87,17	81	68,33	50,89	49,94	46,54	42,29
835	87,2	81,01	68,34	50,9	49,95	46,54	42,33
840	87,25	81,05	68,37	50,91	49,89	46,49	42,3
845	87,23	81,06	68,37	50,91	49,83	46,44	42,27
850	87,24	81,08	68,36	50,89	49,72	46,35	42,23
855	87,24	81,03	68,33	50,86	49,59	46,25	42,16
860	87,24	81	68,36	50,85	49,44	46,15	42,11
865	87,26	81,07	68,36	50,85	49,41	46,12	42,06
870	87,31	81,1	68,36	50,82	49,37	46,1	42,09
875	87,43	81,14	68,41	50,87	49,34	46,06	42,06
880	87,44	81,15	68,42	50,85	49,28	46,01	42,04

Tabla A.II.3 Porcentaje de transmitancia desde 200 nm hasta 1 100 nm de las diferentes películas (**continuación...**)

Wave	PEBD	5% MB	6% MB	7% MB	8% MB	9% MB	10% MB
885	87,42	81,16	68,41	50,85	49,21	45,98	42,02
890	87,44	81,14	68,37	50,82	49,12	45,9	41,96
895	87,43	81,16	68,35	50,78	49,05	45,82	41,9
900	87,45	81,19	68,38	50,79	48,99	45,79	41,89
905	87,54	81,25	68,42	50,79	49,04	45,81	41,92
910	87,64	81,25	68,48	50,77	49,02	45,84	41,94
915	87,52	81,25	68,42	50,73	49,01	45,78	41,87
920	87,51	81,22	68,33	50,72	48,97	45,77	41,84
925	87,47	81,13	68,25	50,65	48,81	45,61	41,72
930	87,43	81,16	68,22	50,62	48,87	45,64	41,74
935	87,54	81,23	68,28	50,69	48,91	45,7	41,74
940	87,66	81,33	68,38	50,71	48,99	45,76	41,82
945	87,76	81,45	68,5	50,8	49,08	45,83	41,9
950	87,87	81,55	68,59	50,84	49,03	45,78	41,88
955	87,98	81,61	68,61	50,88	49,02	45,78	41,86
960	88,01	81,67	68,64	50,89	49,05	45,8	41,87
965	88,05	81,7	68,71	50,91	49,06	45,79	41,86
970	88,11	81,79	68,75	50,95	49,15	45,84	41,87
975	88,11	81,82	68,77	50,96	49,3	45,99	41,96
980	88,24	81,9	68,87	51,02	49,42	46,07	42
985	88,25	81,92	68,84	51,03	49,53	46,14	42,04
990	88,36	82,03	68,96	51,1	49,67	46,25	42,09
995	88,3	82,04	68,91	51,06	49,74	46,29	42,09
1000	88,43	82,13	69,04	51,15	49,87	46,37	42,09
1005	88,49	82,24	69,09	51,21	50,04	46,47	42,14
1010	88,6	82,3	69,15	51,27	50,26	46,64	42,22
1015	88,61	82,37	69,2	51,32	50,54	46,8	42,34
1020	88,67	82,45	69,27	51,36	50,74	46,94	42,38
1025	88,76	82,61	69,38	51,46	51,04	47,14	42,48
1030	88,87	82,72	69,46	51,55	51,28	47,29	42,52
1035	88,94	82,83	69,52	51,64	51,57	47,48	42,56
1040	89,08	83,02	69,65	51,81	51,98	47,76	42,72
1045	89,07	83,03	69,71	51,77	52,42	48,08	42,89
1050	89,32	83,34	69,97	52,04	52,89	48,41	43,1

Tabla A.II.3 Porcentaje de transmitancia desde 200 nm hasta 1 100 nm de las diferentes películas (**continuación...**)

Wave	PEBD	5% MB	6% MB	7% MB	8% MB	9% MB	10% MB
1055	89,43	83,5	70,09	52,14	53,36	48,73	43,26
1060	89,63	83,67	70,24	52,31	53,99	49,22	43,52
1065	89,62	83,78	70,32	52,34	54,11	49,13	43,38
1070	89,6	83,75	70,27	52,34	53,74	48,98	43,35
1075	89,8	83,88	70,36	52,43	54	49,14	43,43
1080	89,83	83,95	70,45	52,45	54,24	49,34	43,5
1085	90,03	84,15	70,55	52,58	54,5	49,49	43,61
1090	89,98	84,12	70,58	52,59	54,66	49,55	43,62
1095	89,96	84,12	70,64	52,65	54,74	49,69	43,65
1100	90,08	84,29	70,71	52,78	55,24	49,96	43,81

Tabla A.II.4 Resultados de porcentaje de bloqueo en la región UV

Muestra	Área	% Bloqueo
PEBD	12067,4	39,6
5% MB	10713	46,4
6% MB	8708,9	56,4
7% MB	6453,85	67,7
8% MB	6104,15	69,5
9% MB	5670	71,6
10% MB	5058,2	74,7

Tabla A.II.5 Resultados de porcentaje de bloqueo en la región PAR

Muestra	Área	% Bloqueo
PEBD	29087,6	16,8925714
5% MB	26843,25	23,305
6% MB	22587,4	35,4645714
7% MB	16884	51,76
8% MB	16446,25	53,0107143
9% MB	15395,95	56,0115714
10% MB	14041,25	59,8821429

Tabla A.II.6 Resultados de porcentaje de bloqueo en la región NIR

Muestra	Área	% Bloqueo
PEBD	31204,55	10,8441429
5% MB	29007,25	17,1221429
6% MB	24412,4	30,2502857
7% MB	18146,75	48,1521429
8% MB	17871,9	48,9374286
9% MB	16580,05	52,6284286
10% MB	15013,85	57,1032857

ANEXO III

CALCULO PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA DE PELÍCULAS SOPLADAS

CAPACIDAD DE LA PLANTA

Según datos del último censo agropecuario, en el Ecuador existe un área de 3333 hectáreas de cultivos de tomate riñón. Se consideró que al menos la mitad de estos se encuentran en cultivos cubiertos por películas plásticas.

$$3333 \text{ hm}^2 \times 0,5 = 1666,5 \text{ hm}^2 \approx 1666 \text{ hm}^2$$

Esta área es la demanda nacional de películas de invernadero antitérmicas. Se establece que se quiere cubrir mensualmente el 1% de esta demanda.

$$1666 \frac{\text{hm}^2}{\text{mes}} \times 0,01 = 16,66 \frac{\text{hm}^2}{\text{mes}} \approx 16 \frac{\text{hm}^2}{\text{mes}}$$

$$16 \frac{\text{hm}^2}{\text{mes}} \times \frac{10000 \text{ m}^2}{1 \text{ hm}^2} = 160000 \frac{\text{m}^2}{\text{mes}}$$

Se determina la cantidad de materia prima, MB y PEBD, necesaria para cubrir esta área con una película de invernadero de espesor de 200 μm y 3 metros de ancho. Se considera que la densidad de la película antitérmica es la densidad del PEBD

$$\rho_{PEBD} = 925 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$925 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{masa de materia prima}}{\text{volumen de la película}}$$

$$925 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{masa de materia prima}}{\text{largo} \times \text{ancho} \times \text{espesor}}$$

$$925 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{masa de materia prima}}{160000 \text{ m}^2 \times 0,0002 \text{ m}}$$

$$925 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{masa de materia prima}}{32 \text{ m}^3}$$

$$\text{masa de materia prima} = 29600 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} \approx 30000 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

BALANCE DE MASA

- Materias primas

Se procesará 30000 kg/mes de material, MB y PEBD, para elaborar películas de invernadero antitérmicas. A este valor se agrega el 5% porque ya que considera los desperdicios originados por el arranque de la extrusora y la calibración de espesor y ancho de la película.

$$30000 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} + (0,05 \times 30000) = 31500 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

Se calcula los pesos del MB y PEBD para películas de invernadero antitérmicas que poseen una concentración de MB del 6,6% W/W

$$31500 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} \times 0,066 = 2079 \frac{\text{kg MB}}{\text{mes}}$$

$$31500 \frac{\text{kg material}}{\text{mes}} - 2079 \frac{\text{kg MB}}{\text{mes}} = 29421 \frac{\text{kg PEBD}}{\text{mes}}$$

Se considera que se trabajará 4 semanas al mes.

$$31500 \frac{\text{kg mezcla}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{4 \text{ semanas}} = 7875 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Tabla A.III.1 Balance de masa para la procesar 31 500 kg/mes de películas sopladas con MB

Componente	Cantidad [kg/mes]	Cantidad [kg/semana]
PEBD	29421	7355,25
MB	2079	519,75
Total	31500	7875

ANEXO IV

CÁLCULOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS PELÍCULAS SOPLADAS

Para la estimación del costo de producción, se lo hizo por kilogramo de película antitérmica.

Cálculo del costo de materia prima

En la Tabla A.V.1 se muestra la cantidad y precio de PEBD y MB para la producción de películas antitérmicas.

Tabla A.IV.1 Precios de materias primas para procesar 30 000 kg/mes

Producto	Cantidad (kg)	Precio por kg (USD)	Precio total (USD)
Sacos de PEBD	29421	1,71	50309,91
Sacos de masterbatch antitérmico	2079	4,77	9916,83
Total			60226,74

$$\text{Costo por kilogramo} = \frac{\text{Costo materia prima}}{\text{Kg producidos}}$$

$$\text{Costo por kilogramo} = \frac{60226,74 \text{ USD}}{30000 \text{ Kg}} = 2 \frac{\text{USD}}{\text{kg}}$$

Cálculo del costo de uso de equipos

Para estimar este costo, se tomó en cuenta el precio del equipo y se dividió para un tiempo horas de uso que se lo dará en un determinado tiempo.

- **Mezclador**

Para el cálculo de las horas de uso de este equipo se lo hizo por la capacidad de procesamiento.

La capacidad del equipo es de 300 kg, se debe mezclar 31500 kg de MB y PEBD al mes.

$$\frac{31500 \text{ kg}}{300 \text{ kg}} = 105$$

Al mes la mezcla debe realizarse 105 veces. Si cada mezcla tarda 30 minutos entre el llenado, mezclado y vaciado del mezclador.

$$105 \times 0,5 = 52,5 \approx 53 \text{ horas}$$

En diez años, 120 meses, se tendría.

$$53 \text{ horas} \times 120 = 6360 \text{ horas}$$

El costo de uso del equipo sería.

$$\frac{5000 \text{ USD}}{6360 \text{ horas}} = 0,78 \approx 0,8 \frac{\text{USD}}{\text{hora}}$$

$$0,8 \frac{\text{USD}}{\text{hora}} \times 52,5 = 42 \text{ USD}$$

- **Equipo extrusor**

Para el cálculo de las horas de uso de este equipo se lo hizo por la capacidad de procesamiento.

La capacidad del equipo es de 150 kg/h, se debe extruir 31500 kg/mes de MB y PEBD al mes.

$$\frac{31500 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}}{150 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 210 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$$

Debido a que este equipo requiere mantenimiento, solo se considera 2 años para el cálculo.

$$210 \text{ horas} \times 12 = 2520 \text{ horas}$$

El costo de uso del equipo sería.

$$\frac{100000 \text{ USD}}{2520 \text{ horas}} = 39,68 \approx 40 \frac{\text{USD}}{\text{hora}}$$

$$40 \frac{\text{USD}}{\text{hora}} \times 210 \text{ horas} = 8400 \text{ USD}$$

Finalmente el costo del uso de equipos es:

$$8400 \text{ USD} + 42 \text{ USD} = 8442 \text{ USD}$$

Cálculo de servicios industriales

- Salario

Se propone un sueldo de 450 USD por cada uno de los operarios

$$450 \frac{\text{USD}}{\text{mes}} \times 4 = 1800 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$$

- Costo energético mensual

El costo energético del mezclador es:

$$7,5 \text{ Kw} \times 53 \frac{\text{h}}{\text{mes}} = 397,5 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}$$

$$397,5 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}} \times 0,0933 \text{ USD} = 37,08 \text{ USD}$$

El costo energético del extrusor y rodillos es:

$$78 \text{ Kw} \times 210 \frac{\text{h}}{\text{mes}} = 16380 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}$$

$$16380 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}} \times 0,0933 \text{ USD} = 1528,25 \text{ USD}$$

El costo energético del compresor es:

$$5 \text{ Kw} \times 210 \frac{\text{h}}{\text{mes}} = 1050 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}$$

$$1050 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}} \times 0,0933 \text{ USD} = 97,96 \text{ USD}$$

El costo energético del bobinador es:

$$4 \text{ Kw} \times 210 \frac{\text{h}}{\text{mes}} = 840 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}$$

$$840 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}} \times 0,0933 \text{ USD} = 78,37 \text{ USD}$$

El costo de la energía consumida para la producción de las películas sopladas

$$37,08 + 1528,25 + 97,96 + 78,37 = 1741,66 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$$

El costo de los servicios industriales es:

$$1741,66 + 1800 = 3541,66 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$$

Finalmente para obtener el costo estimado de producción de 1 kg se suma el costo de materia prima, costo de uso de equipos y costo de servicios industriales y se divide para la producción mensual de 30 000 kg de películas sopladas.

$$60226,74 + 8442 + 3541,66 = 72210,4 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$$

$$\frac{72915 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}}{30000 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}} = 2,43 \frac{\text{USD}}{\text{kg}}$$

El costo estimado de producción de 1 kg de películas de PEBD con aditivo antitérmico es de 2,43 dólares.

ANEXO V

HOJAS TÉCNICAS DE MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA PLANTA DE PELÍCULAS SOPLADAS



Data Sheet
Review 4 (May/10)

Low Density Polyethylene TX7003

Description:

TX7003 is a low-density, high molecular-weight polyethylene that offers high mechanical strength. The product's characteristics allow for a high versatility and use in various applications due to its easy processing and high compatibility with other types of polyethylene. TX7003 resin shows excellent performance with conventional extruders and low energy consumption during processing, which allows producing packaging with dimensional uniformity and excellent surface finishing. This product is identified as PE 115 according to ASTM D-4976-04a standard specification.

Additives:

No additives

Application:

Heavy duty bags, shrink film and plastic canvas.
Technical films for high-strength industrial packaging.
Blends with HDPE and LLDPE for extrusion and molding processes

Process:

Blown Film Extrusion

Control Properties:

	ASTM Methods	Units	Values
Melt Flow Rate (190/2.16)	D 1238	g/10 min	0.27
Density	D 792	g/cm ³	0.922

Typical Properties:

Blow Film Properties^a

	ASTM Methods	Units	Values
Tensile Strength at Break (MD/TD)	D 882	MPa	27/24
Elongation at Break (MD/TD)	D 882	%	370/680
2% Secant Modulus (MD/TD)	D 882	MPa	140/150
Dart Drop Impact	D 1709	g/F ₅₀	190
Elmendorf Tear Strength (MD/TD)	D 1922	gF	300/220
Haze	D 1003	%	12
Gloss - Angle 45°	D 2457	-	47
Gloss - Angle 60°	D 2457	-	69

(MD = Machine Direction; TD = Transversal Direction)

(a) 50 µm thickness film, processed in a 50 mm blow film line with barrier screw, 25:1 L/D and a 1,0 mm die gap at a 2,3: 1 blow up ratio.

Recommended Processing Conditions:

Blow Film Extrusion

-Temperature Profile:.....from 160 to 205°C
-Mass Temperature:..... from 180 to 205°C
-Blow up Ratio:.....from 2,0 to 3,0:1
-Die Gap:.....1,0 mm

The optimum processing conditions will vary according to the type of equipment used and cannot be considered as performance guarantee.

Figura A.V.1. Hoja de datos del polietileno de baja densidad de la casa comercial Braskem

ALCUDIA®
Low density polyethylene**Chemicals****ALCUDIA® IMB-Antitérmico**
ANTITHERMIC MB FOR AGRICULTURAL FILMS**DESCRIPTION**

ALCUDIA® IMB-Antitérmico is a MB with LDPE as base polymer specially indicated to manufacture films for covering greenhouses and tunnels.

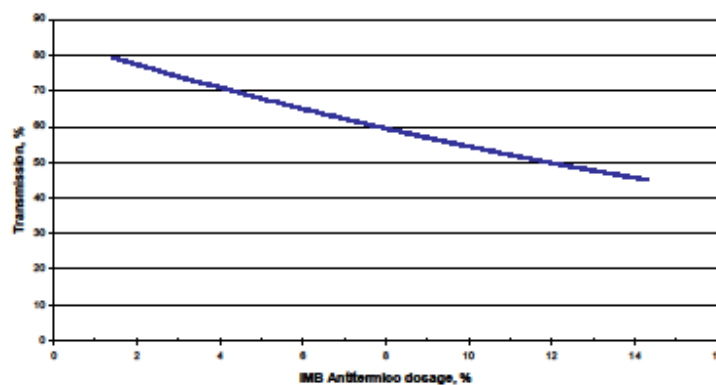
ALCUDIA® IMB-Antitérmico contains additives that reduce NIR transmission (0.76-2.5µm) lowering the maximum temperature of the greenhouse during the day. For this reason this MB is suitable to manufacture films for climates with an excessive temperature throughout the breeding cycle.

APPLICATIONS

Repsol YPF recommends to blend 7% of ALCUDIA® IMB-Antitérmico with LDPE or EVA/EBA copolymers to manufacture "cool" films. The benefits on the films depend on the quality of the blending, which have to be done under the best conditions in order to guarantee a good dispersion and homogenization of additives.

Field tests carried out in Murcia (Spain) have proved that the use of "cool" films increase the production of pepper culture, improve the commercial quality and reduce the illnesses that affect the culture caused by high temperatures.

For further information, contact to Technical Assistance and Development Department or Commercial Attention Service.

NIR transmission vs IMB Antitérmico dosage**STORAGE**

ALCUDIA® IMB-Antitérmico should be stored in a dry atmosphere, on a paved, drained and not flooded area, at temperatures under 50°C and protected from UV radiation. Storage under inappropriate conditions could initiate degradation processes which may have a negative influence on the processability and the properties of the transformed product.

December 2009

This information is offered in good faith and must only be used as a guide. The transformer or user will be, in each case, responsible for the processing conditions and the final use of the product. Freedom under patents, copyright and registered design cannot be assumed.

Technical Service and Development:
Repsol Technology Centre
Ctra. de Euzerredun AL, Km 18
28921 Madrid, Madrid
Tel. +34 91 348 88 00
Fax +34 91 330 45 17
rsc@repsol.com

Headquarters:
Pº de la Castellana, 280
28046 Madrid
Spain
Tel. +34 91 348 23 56
www.chemicals.repsol.com

Customer Care:
mcc@repsol.com

Figura A.V.2. Hoja de datos del *masterbatch* antitérmico de la casa comercial Repsol

ANEXO VI

PROFORMA DE LOS EQUIPOS



共陽工業股份有限公司
CHYI YANG INDUSTRIAL CO., LTD.

No.11, Dinghu 3rd Street,
Guishan Township,
Taoyuan County 333, Taiwan

COTIZACIÓN

ESTIMADOS: SR. JUAN PABLO PILLAJO

FECHA: 18-MAR-2015

QUITO ECUADOR

TÉRMINOS: F.O.B. PUERTO TAIWÁN

ENVÍO: En 75 días después de la aprobación de Carta de Crédito

PAGO: Por Carta de Crédito confirmada e irrevocable a la vista a nuestro favor

INSTALACIÓN: Por nuestro ingenieros, pasaje aéreo, hospedaje, costos de abordaje y cargo de 150 US\$ por día por cuenta del comprador.

EMBALAJE: Empaque estándar para exportación

VALIDEZ: 90 Días.

OBSERVACIÓN: Cotización sujeto a cambio sin previo aviso.

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNIT	MONTO US\$
LLDPE-75SE	1 SET	US\$76,000.00	76,000.00
DOBLE EMBOBINADOR AUTOMÁTICO TIPO TE(*)	1 SET	15,000.00	15,000.00
AUTOCARGADOR	1 SET	800.00	800.00
CABEZAL ROTATORIO	1 SET	6,500.00	6,500.00
F.O.B. PUERTO TAIWAN			US\$ 98,300.00
PRECIO ESPECIAL C&F GUAYAQUIL			US\$ 88,000.00

(*) Incluye cuchillas laterales, longitudinales y sistema venturi de retiro de refaldo

MAQUINA EXTRUSORA DE PELÍCULA PEBD/PELBD DE ALTA VELOCIDAD

MODELO: LLDPE-75SE

PRODUCCIÓN: PELÍCULA EN PEBD/PELBD, GROSOR DE PELÍCULA: 0.03-0.2mm,

CAPACIDAD: 150 Kg/Hr (Puede variar dependiendo de los parámetros de producción, resina empleadas, etc)

ANCHO DE RODILLOS: 1650 MM, DIMENSIÓN DE MÁQUINA: 5500mm X 3000mm X 7300mm

ANCHO DE PELÍCULA PEBD/PELBD: 600mm-1500mm

**** CARACTERÍSTICAS ****

1. CAJA REDUCTORA: Fabricado en aleación SCM4 con tratamiento térmico para su endurecimiento, con sistema autolubricante y rodamiento #29242
2. TORNILLO: Con zona de mezclado, en aleación MAC-24, con tratamiento superficial para dureza HRC□56°-65°
3. BARRIL: Aleación SACM-645, tratamiento nitrurado, dureza HRC□65°-70°
4. ANILLO DE ENFRIAMIENTO: Hecho de aleación de aluminio, con diseño especial para proveer excelente enfriamiento estable

**** ESPECIFICACIONES ******A. EXTRUSORA**

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. TORNILLO: | DIÁMETRO: 75mm, RADIO L/D 30:1 |
| 2. BARRIL: | CALENTADORES: 18KW,
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO: 3"φX 3 SETS |
| 3. MOTOR PRINCIPAL: | AC60 HP con Variador de Frecuencia |
| 4. CABEZAL: | Tipo espiral, Diámetro.: 500mm |
| 5. TURBINA DE ENFRIAMIENTO: | 7 1/2 HP Con Variador de Frecuencia |
| 6. ANILLO DE ENFRIAMIENTO | Tipo Doble Labio |

B. UNIDAD DE HALADO

- | | |
|----------------------------|---|
| 1. TIPO: | TORRE FIJA DE 3 PISOS, CON HALADOR DE ALTURA FIJA |
| 2. AJUSTE PRESIÓN RODILLO: | NEUMÁTICO AJUSTABLE |
| 3. MOTOR HALADO: | 1 HP con variador de frec. y caja reductora 10:1 |

TEL: +886-3-3288686

E-MAIL: cymw@cymw.com.tw

Figura A.V.3. Características técnicas del equipo de extrusión de películas sopladas



其陽工業股份有限公司
CHYI YANG INDUSTRIAL CO., LTD.

No.11, Dinghu 3rd Street,
Guishan Township,
Taoyuan County 333, Taiwan

4. VELOCIDAD DE HALADO:	6-60 m/min
C. UNIDAD DE EMBOBINADO	
1. TIPO:	H5 DOBLE EMBOBINADOR CONTRAPUESTO CORTE AUTOMÁTICO DE BOBINA Y CAMBIO ASISTIDO
2. MOTOR AUX HALADO:	D.C. 1 HP X 1 SET
3. RODILLO AUX HALADO:	1 SET
4. MOTOR PRINCIPAL:	D.C. 1 HP X 2 SETS
5. RODILLO EMBOBINADORA:	1700mm X 2 SETS
6. SISTEMA CAMBIO BOBINA:	CORTE AUTOMÁTICO Y CAMBIO DE BOBINA ASISTIDO DIAM BOBINA: 750 mm
8. COLECTOR DE REFILADO:	2 SETS, MOTOR: 10 Kg/cm X 2 SETS
9. CONTADOR DE LONG:	1 SET
D. CONTROLADOR ELÉCTRICO	
1. LAMP PILOTO DE ENTRADA	7 ZONAS
2. POR ENCHUFE	6. PROTECCIÓN DE DOS ETAPAS POR RELEE MAGNÉTICO
3. PIROMETROS	7. PRECALENTAMIENTO DE 24 Hrs
4. BOTÓN PARADA EMERGENCIA.	8. CIRCUITOS INTEGRADOS DE EXTRUSORA Y UNIDAD DE HALADO
5. CIRCUITOS PROT BREAKER	9. ENTRADA DE ELECTRICIDAD DE TRES FASES
	10. CONTROL TEMPORIZADO PARA PROTECCIÓN DEL MOTOR

ANTONIO JO JUI
CHYI YANG INDUSTRIAL CO. LTD



- Foto Referencial LLDPE con Embobinador TE-

TEL : +886.3.3788686

E-MAIL : cymw@cymw.com.tw

Figura A.V.3. Características técnicas del equipo de extrusión de películas sopladas
(continuación...)



SR PILLAJO JUAN

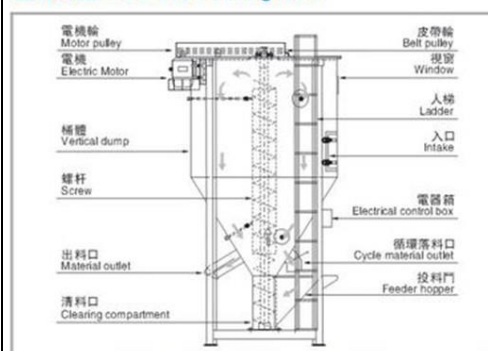
QUITO, ECUADOR

Equipo Mezclador Industrial de Plástico PLASTIC MIXER

Aplicación y propiedades:

1. Mezclador vertical de color se utiliza para mezclar el polvo y gránulos y cuenta con una estructura simple operación fácil, mantenimiento conveniente y limpieza, alta velocidad y excelente efecto de mezcla.
2. Se utiliza principalmente para mezcla de plástico o ampliamente aplicado para el plástico, la energía, la metalurgia y industrias cerámicas como el equipo de mezcla ideal.
3. El material del tanque y paddle están hechos de acero inoxidable con tratamiento de pulido y características de alto brillo, fácil limpieza y ninguna contaminación.
4. Rápidamente y uniformemente la mezcla los materiales con bajo consumo de energía y alta eficiencia.
5. Dispositivo de protección de seguridad, dispositivo de protección automática de sobrecarga del motor.
6. Ajuste del tiempo de alto rendimiento con un control preciso, partes eléctricas de calidad Característica funcionamiento estable.

結構簡圖 Structure diagram



Parámetros técnicos:

Modelo	Potencia (kw)	Volumen de mezcla (kg)	Dimensión mecánica (mm)	Peso (kg)
VM-25	0.75	25	750x700x920	85
VM-50	1.5	50	900x880x1020	100
VM-100	3	100	1010x1000x1260	175
VM-150	5.5	150	1230x1200x1320	233
VM-200	5.5-7.5	200	1350x1300x1420	255
VM-300	7.5-11	300	1550x1400x1720	385

Figura A.V.4. Características técnicas del equipo mezclador de PEBD y *masterbatch*