

**MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD EN LÁMINAS DE PVC RIGIDAS
OBTENIDAS POR PROCESO DE CALANDRADO PARA LA EMPRESA
POLIFILM DE VENEZUELA S.A.**

**SERGIO ANDRES GOMEZ RODRIGUEZ
LAURA MARCELA SANTAMARIA ROA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2007

**MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD EN LÁMINAS DE PVC RIGIDAS
OBTENIDAS POR PROCESO DE CALANDRADO PARA LA EMPRESA
POLIFILM DE VENEZUELA S.A.**

**SERGIO ANDRES GOMEZ RODRIGUEZ
LAURA MARCELA SANTAMARIA ROA**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de:
Ingenieros Químicos.**

Director:

ING. RAMIRO AUGUSTO SALAZAR LA ROTTA

Codirectora:

ING. CLAUDIA YOLANDA URIBE LASPRILLA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2007

AGRADECIMIENTOS

Hoy al dar feliz término a este proyecto educativo de nuestras vidas queremos agradecer a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron y nos guiaron para alcanzar esta primera meta profesional.

En primer lugar a Dios quién es nuestra guía y luz por siempre.

A nuestros padres y abuelos, Martha Lucía, Elcida, Arcenio, Roberto y Socorro; por brindarnos tanto cariño y que con su esfuerzo y dedicación sembraron en nosotros valores tan importantes como la responsabilidad, el compromiso, el amor por el trabajo, la honestidad y muchos otros que durante el desarrollo de nuestra carrera pusimos a prueba.

A nuestros tíos y demás familiares por ser nuestro ejemplo como profesionales y sobretodo como hombres de bien.

A nuestro director de proyecto el Ingeniero Ramiro Augusto Salazar La Rotta, a la empresa Polifilm de Venezuela S.A, al Ingeniero Luís Roberto Rodríguez Uribe e Ingeniera Claudia Yolanda Uribe Lasprilla por aportarnos conocimientos que para nosotros fueron indispensables para el éxito de nuestro trabajo de grado y por haber compartido esta primera experiencia profesional con la cual pudimos poner en practica todas las enseñanzas que adquirimos en nuestra carrera.

A la Universidad Industrial de Santander agradecemos por la oportunidad de formación que nos brindó no solo como Ingenieros Químicos sino como personas valiosas para la sociedad a la cual debemos retribuir y servir desde cualquiera que sea nuestro ejercicio profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. CONCEPTOS TEORICOS	
1.1 Polímeros	2
1.1.1 Clasificación de los Polímeros según sus Propiedades Físicas	2
1.1.2 Polimerización	2
1.1.3 1.1.3 Métodos de Polimerización	2
1.2 PVC (Poli cloruro de vinilo). Propiedades	3
1.2.1 Compuestos de PVC	4
1.2.2 Efecto de las propiedades de la resina sobre el Procesamiento	4
1.3 Aditivos	5
1.3.1 Clasificación de los aditivos	5
1.4 Método de Calandrado	6
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	
2.1 Reconocimiento de Materias Primas	9
2.1.1 Resina	9
2.1.2 Aditivos sólidos	10
2.1.3 Materias primas líquidas	10
2.2 Principios de formulación	10
2.3 Producto terminado	11
2.3.1 Pruebas en Línea	11
2.3.2 Pruebas fuera de Línea	11
2.3.3 Recolección Datos de Resultados Técnicos a Producto Terminado	12
2.4 Ensayo piloto en el laboratorio	12
2.5 Diagrama de causa-efecto	14
2.6 Planes de acción	14
2.6.1 Orden Cronológico	14
2.6.2 Días del mes	15
2.6.3 Turnos	15
2.6.4 Calibre	16
2.6.5 Producto	16
2.6.6 Condiciones de Operación	17

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	
3.1 Síntesis de los Planes de Acción	18
3.1.1 Orden Cronológico	18
3.1.2 Días del mes	19
3.1.3 Turnos	22
3.1.4 Calibre	22
3.1.5 Producto	23
3.1.6 Condiciones de Operación	24
3.2 Ensayo en planta	26
3.2.1 Escogencia del Producto a Fabricar	27
3.2.2 Estrategias y Condiciones	27
3.2.3 Procedimiento	30
3.3 Resultados y Análisis del Ensayo en Planta	31
CONCLUSIONES	35
RECOMENDACIONES	36
BILBIOGRAFIA	38
ANEXOS	
ANEXO A (Objetivos)	39
ANEXO B (Conceptos)	40
ANEXO C (Tablas)	78
ANEXO D (Gráficas)	104
ANEXO E (Normatividad)	119
ANEXO F (Archivos de Excel)	193

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Resumen de aditivos utilizados en formulaciones de PVC.
- Tabla 2. Productos de PVC Rígidos Transparentes, Lisos y Brillantes.
- Tabla 3. Posibles fuentes de Contaminación de las láminas de PVC Rígidas.
- Tabla 4. Datos consolidados para el año de estudio. Orden Cronológico.
- Tabla 5. Porcentajes de Producciones Aprobadas para los días entre el 10 y 20.
- Tabla 6. Clasificación de los casos para el Estudio de los Telares.
- Tabla 7. Contaminaciones para el Estudio por Turnos.
- Tabla 8. Contaminaciones para el Estudio por Calibre.
- Tabla 9. Porcentajes de Producciones Aprobadas para cada Calibre.
- Tabla 10. Producción Aprobada según Especificaciones Técnicas para cada producto.
- Tabla 11. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Industrial – Calibre 100
- Tabla 12. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Industrial – Calibre 200
- Tabla 13. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Industrial – Calibre 250
- Tabla 14. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Industrial – Calibre 300
- Tabla 15. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Industrial – Calibre 350
- Tabla 16. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Industrial – Calibre 400

- Tabla 17. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Industrial – Calibre 510
- Tabla 18. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Farmacéutico – Calibre 250
- Tabla 19. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Farmacéutico – Calibre 300
- Tabla 20. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Atoxico – Calibre 180
- Tabla 21. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Atoxico – Calibre 250
- Tabla 22. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Atoxico – Calibre 400
- Tabla 23. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Termopack – Calibre 260
- Tabla 24. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Termopack – Calibre 310
- Tabla 25. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Carpeteria – Calibre 150
- Tabla 26. Determinación de las Condiciones de Referencia para el Vipack Carpeteria – Calibre 200
- Tabla 27. Formulación para el Ensayo en Planta.
- Tabla 28. Condiciones de Referencia para el Ensayo en Planta.
- Tabla 29. Resultados Chequeo Resina utilizada en el Ensayo en Planta.
- Tabla 30. Resultados Contaminación Lámina producida en el Ensayo en Planta.
- Tabla 31. Condiciones de Operación Ensayo en Planta.
- Tabla 32. Control de Proceso Calandra.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Disposiciones de los Rodillos de Calandra.
- Figura 2. Curva opuesta.
- Figura 3. Cargas en los extremos.
- Figura 4. Cruce de los ejes.
- Figura 5. Jumbos de Resina.
- Figura 6. Bandeja Vibratoria (Syntron)
- Figura 7. Serie de tamices USA Standard ASTM 11 de 8 in de diámetro.
- Figura 8. Molino de Rodillos Regulares.
- Figura 9. Prensa Hidráulica con control de temperatura.
- Figura 10. Materias Primas Proceso de Calandrado
- Figura 11. Reglas para formular PVC
- Figura 12. Balanza Analítica.
- Figura 13. Calibrador
- Figura 14. Estufa.
- Figura 15. Brillómetro micro-TRI-gloss (BYK Gardner)
- Figura 16. Puntos Negros Grandes ($>120 \mu\text{m}$)
- Figura 17. Puntos Negros pequeños ($<120 \mu\text{m}$)
- Figura 18. Burbujas
- Figura 19. Fibras
- Figura 20. Resina sin fundir
- Figura 21. Grumos
- Figura 22. Ensayo de Determinación de Contaminaciones.
- Figura 23. Superficie plana para ensayo de Lay Flat.
- Figura 24. Dinamómetro.
- Figura 25. Probeta para el rasgado por el Método del Tongue

Figura 26. Molino

Figura 27. Telares

Figura 28. Bandas Transportadoras

Figura 29. Banda Transportadora

Figura 30. Sacos o Bolsas de las materias Primas.

Figura 31. Orden de Producción.

Figura 32. Mezcladoras.

Figura 33. Resina PVC.

Figura 34. Aditivos para Calandra.

Figura 35. Mezcladora Cargada.

Figura 36. Riel Transportador.

Figura 37. Tolva del Buss.

Figura 38. Buss.

Figura 39. Molino.

Figura 40. Rodillos de Calandra.

Figura 41. Tren Post-calandrado Inicial

Figura 42. Tren Post-calandrado Final

Figura 43. Bobinadora.

Figura 44. Empaque Inicial.

Figura 45. Empaque Final

GLOSARIO

ANALISTA TÉCNICO. Persona encargada del chequeo de materia prima y producto terminado en el laboratorio.

APARIENCIA. Aspecto físico de las láminas de PVC rígido donde se evalúa la nitidez, brillo, transparencia y número de contaminaciones.

BANCO. Cantidad de masa o compuesto de PVC que se encuentra entre los rodillos 1 y 2 de la calandra.

BUSSKNEADER. Equipo que se encarga de la homogenización y fusión de la mezcla.

CALIBRE. Se refiere al espesor de la lámina. Determina además las cantidades de materias primas y las condiciones de operación de la calandra.

CARGA (SCRAP). Material recuperado del mismo producto. Recuperación de las ineficiencias del proceso en línea.

CASO. Clasificación que se le da a los diferentes comportamientos de las contaminaciones.

CERTIFICADO DE CALIDAD. Certificación elaborada por el Departamento de Calidad después de realizadas todas las pruebas del plan , la cual contiene dichos resultados y es entregada al cliente con el fin que se asegure de las características del producto. Certificado entregado por los proveedores de materias primas donde se especifican las características más importantes del producto.

CHEQUEAR. Acto de inspeccionar o examinar la apariencia de las materias primas o de las láminas producidas.

COCINAMIENTO. Grado de cocción del compuesto de PVC la cual se logra con el transcurso de la mezcla desde que entra al Busskneader hasta que sale de los rodillos L.

COMPUESTO DE PVC. Es la combinación de un polímero base (Poli-Cloruro de Vinilo) con otros aditivos u otros polímeros con el fin de lograr un mejor desempeño, tanto en el proceso como en el producto terminado.

CONDICIONES DE REFERENCIA. Son las variables (temperaturas y velocidades) que se toman como condiciones iniciales y que están sujetas a variaciones dependiendo de cómo transcurra el proceso.

CONTAMINACIÓN. Es la cantidad de fibras, puntos negros y amarillos, grumos, burbujas y otros que están presentes en las láminas rígidas de PVC.

CROSS AXIS. Cruzar ligeramente los ejes de los rodillos de calandra para obtener orillas más gruesas.

DEGRADACIÓN. Es cuando la mezcla de PVC se torna de color amarillo pardo y desprende un olor desagradable debido a que se ha sometido a un mayor tiempo que al normal para su cocinamiento.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. Son el grupo de normas o requerimientos mínimos que deben alcanzar los productos para cumplir con el plan de calidad.

FORMULACIÓN. Se refiere a las cantidades de resina y de aditivos que se necesitan para conseguir que un producto obtenga ciertas propiedades físicas y mecánicas y cumplir con los requerimientos de uso el para el cliente.

JUMBO. Cada una de las partes en las cuales vienen dispuesta la resina de un mismo lote, en este caso viene en bolsas de 650 Kg.

LÁMINA DE CONTAMINACIÓN ALTA. Es aquella que cuenta con más de 45 contaminaciones en una muestra de 2.4 m²..

LÁMINA DE CONTAMINACIÓN BAJA. Es aquella que cuenta con menos de 45 contaminaciones en total.

LOTE. Identificación que se le da a la resina producida bajo las mismas condiciones y con iguales características.

MOLINO. Equipo que consta de dos rodillos cromados, brillantes y que giran en sentido contrario. Este dispositivo se encarga de homogenizar y fusionar la mezcla.

MUESTRA. Lámina rígida de PVC de 2.4 m² que se utiliza para realizar las pruebas de brillo, encogimiento, rasgado, tracción y chequeo de apariencia.

ORDEN DE PRODUCCIÓN. Es un código numérico que identifica cada producción, es la identidad del producto y con este se accede a la información de las propiedades y características de fabricación en todos los sistemas informáticos de la empresa.

PATRÓN. Comportamiento repetitivo.

PIQUETA. Cuchilla o bisturí que se utiliza para cortar las muestras de las láminas rígidas de PVC.

PLAN DE CALIDAD. Conjunto de especificaciones acordadas para cada producto diseñado, según los requerimientos del cliente.

PLAN DE MUESTREO. Es el procedimiento donde se aplica toda la información referente al control de calidad, homologación y reporte de materias primas.

PLATE-OUT (EXUDACIÓN). Efecto que tienen los aditivos que son incompatibles con el PVC o están sobre-dosificados, para migrar a la superficie como una capa fina aceitosa.

PROBETAS. Láminas de acero que se utilizan como patrón para recortar las muestras que se necesitan para las diferentes pruebas del laboratorio.

PRODUCCIÓN. Es la cantidad de material de PVC rígido obtenido por el proceso de calandrado.

PRODUCCIÓN APROBADA. Es la cantidad de material que cumple con todas las especificaciones del plan de calidad.

PRODUCCIÓN CHEQUEADA. Es aquella producción que ha sido muestreada según el plan de calidad de cada producto.

PRODUCCIÓN RECHAZADA. Es la cantidad de material que no cumple con todas las especificaciones técnicas del producto. Esta producción es picada y reprocesada.

RESINA DE CONTAMINACIÓN ALTA. Es aquella que después de hacer el conteo de sus contaminaciones posea un número mayor a 45 en 100 g de resina.

RESINA DE CONTAMINACIÓN BAJA. Es aquella que posee menos de 45 contaminaciones en 100 g de resina.

RESINA DE PVC. Polvo fino, blanco que se obtiene después de un proceso de polimerización y que es la principal materia prima del proceso de calandrado.

RODILLOS L. Conjunto de cuatro rodillos que se encuentran en una posición de L invertida con el fin que el material esté más tiempo en la máquina y poder calentarlo completamente.

ROLL BENDING. Cargar antes los extremos de los rodillos para obtener una flexión compensatoria.

TERMOFORMADO. Es el término utilizado para el proceso de producción de artículos formados a partir de una hoja plana, con ayuda de presión y temperatura. En su forma más elaborada, los productos obtenidos por termoformado pueden alcanzar tolerancias exigentes, detalles bien definidos y especificaciones estrictas.

TIEMPO DE CICLO. Tiempo que transcurre entre la carga de la mezcla hasta la fusión de la resina.

VELOCIDAD DE LA LÍNEA. Es la velocidad del tren post-calandrado y por lo tanto la velocidad de bobinado de la máquina. Esta velocidad depende del producto y del calibre a producir.

RESUMEN

TÍTULO: MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD EN LÁMINAS DE PVC RIGIDAS OBTENIDAS POR PROCESO DE CALANDRADO PARA LA EMPRESA POLIFILM DE VENEZUELA S.A.*.

AUTOR(ES): Sergio Andrés Gómez Rodríguez
Laura Marcela Santamaría Roa**

PALABRAS CLAVES: Calandrado, Calidad, Producción, Contaminación, Láminas, Condiciones de Operación

DESCRIPCIÓN:

Para la empresa Polifilm de Venezuela S.A es importante encontrar las causas de la alta contaminación de su principal producto de exportación, láminas de PVC rígidas, transparentes, lisas y brillantes obtenidas por el proceso de calandrado, con el propósito de aumentar sus ventas y posicionarse en el mercado internacional como una de las principales empresas productoras de láminas de PVC de muy alta calidad.

Con este trabajo de grado se pretende mejorar la calidad en las láminas y establecer las condiciones adecuadas para el proceso para así obtener un producto con un menor número de contaminaciones. Con esta tesis no sólo se estudiaron las condiciones óptimas de operación, el trabajo abarcó desde la investigación de las materias primas hasta la obtención del producto final y de esta forma se encontraron las causas de contaminación.

* Proyecto de grado

** Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingenierías Físicoquímicas, Director. Ing. Ramiro Augusto Salazar La Rotta

ABSTRACT

TITLE: IMPROVEMENT OF THE QUALITY FOR PVC RIGID SHEETS OBTAINED BY THE CALANDRADO PROCESS FOR POLIFILM COMPANY IN VENEZUELA*.

AUTHOR(S): Sergio Andrés Gómez Rodríguez
Laura Marcela Santamaría Roa**

KEY WORDS: Calandrado, Quality, Production, Contamination, Sheets, Conditions of operation

DESCRIPTION:

For Polifilm company in Venezuela is important to find the causes of the high contamination of its main export product, for PVC rigid transparent smooth and brilliant sheets obtained by the Calandrado Process with the purpose of increasing its sales and to gain a place in the international market as one of the main high quality PVC sheet producers.

With this work we seek to improve the quality in the sheets and to establish the appropriate conditions for the process and to obtain a product with the minor number of contaminations. With this not only we will obtain the good conditions of operation but also we take in from the investigation of raw materials until the obtaining of the final product in this way finding the main causes of contamination.

* Project of grade

** Industrial University of Santander, School of Physiochemical Engineerings. Ing. Ramiro Augusto Salazar La Rotta

INTRODUCCION

En nuestros días, la industria del plástico ha incrementado su importancia ya que cada vez es mayor la cantidad de productos que a diario empleamos cuya base en su formulación es el PVC. Esto indica que las empresas que laboran para este tipo de material son beneficiadas, aumentando así la producción y por ende los ingresos. Además las exigencias y competencia del mercado son mayores, originando que la calidad y costo sean puntos claves en el consumo de estos productos.

Hoy en día **Polifilm de Venezuela S.A.** bajo su proceso de Calandrado pretende lograr excelentes productos para consolidarse en el mercado nacional e internacional como productor de láminas transparentes de muy alta calidad.

Este proyecto se realiza debido a la necesidad de la empresa productora de las láminas de PVC rígidas de encontrar las causas de contaminación, provenientes del medio ambiente, de las materias primas o generadas durante el proceso. El presente trabajo tiene como objetivo (Ver Anexo A, Pág. 39) mejorar la calidad de las láminas con respecto a las producidas hasta el momento viéndose reflejado en beneficios económicos para la empresa.

Actualmente el porcentaje de exportación de láminas de PVC rígidas, es alto y el mercado internacional exige cada vez mas una mejor apariencia, por esto se hace necesaria la investigación, pues el propósito de la empresa es aumentar sus ventas en el exterior, consolidándose con un nivel de calidad superior a sus competidores que le generen reconocimiento en el mercado y aumento de sus utilidades.

1. CONCEPTOS TEORICOS

1.1 POLÍMEROS

Son moléculas gigantes que se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas son lineales y otras poseen ramificaciones, algunas se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales.

1.1.1 Clasificación de los Polímeros según sus Propiedades Físicas

Desde un punto de vista general se puede hablar de tres tipos de polímeros:

- * Elastómeros
- * Termoplásticos
- * Termoestables.

1.1.2 Polimerización

La polimerización es un proceso químico mediante el cual se unen varias moléculas de un compuesto, generalmente de carácter no saturado – monómero para formar una cadena de múltiples eslabones, moléculas de elevado peso molecular llamadas macromoléculas o polímeros. En nuestro caso en particular, el monómero cloruro de vinilo se transforma en el polímero Poli (cloruro de vinilo) o PVC.

1.1.3 Métodos de Polimerización

Hoy en día se conocen cinco diferentes clases de polimerización que se practican en la industria. Los tipos de PVC obtenidos por estos

procedimientos se diferencian por sus características y en su posterior transformación. (Variedades del poli (cloruro de vinilo) polimerizadas por métodos análogos pueden mostrar diferencias en sus propiedades, según la forma de conducir la polimerización y su acabado).

Las clases de polimerización son las siguientes:

- * Polimerización en suspensión.
- * Polimerización en emulsión.
- * Polimerización en masa.
- * Polimerización en solución.
- * Polimerización en precipitación.

1.2 PVC (Poli cloruro de vinilo). Propiedades

El nombre genérico PVC describe a una familia de polímeros resultantes de la polimerización del monómero cloruro de vinilo ($\text{CH}_2 = \text{CHCl}$) por diversos procesos.

El PVC es un polvo muy fino, de color blanco y totalmente inerte. Es el único material plástico que no es 100% originado del petróleo pues contiene 57% de cloro (derivado del clorato de sodio-sal de cocina) y 43% de petróleo. El PVC es resistente a la acción de hongos, bacterias, insectos y roedores; es resistente a la mayoría de los reactivos químicos; buen aislante térmico, además es resistente a impactos (choques).

Lo que se conoce como PVC en un artículo terminado no es el polímero puro, las resinas de PVC siempre se mezclan con otros productos para producir lo que se denomina como un compuesto de PVC, el cual tiene características necesarias de acuerdo a cada aplicación.

El PVC recibe aditivos que lo vuelven la materia plástica más polivalente que existe. Estos pueden mejorar su resistencia al calor o al frío, a choques o a la luz. Al añadir líquidos orgánicos denominados plastificantes, por ejemplo, el PVC gana gran flexibilidad. A las especificaciones que definen el tipo y la concentración de éste y de otros aditivos para cada tipo de aplicación prevista se les denomina formulación, esto es, que existe una especificación de cantidad y de tipo de aditivo que se debe añadir a la mezcla, dependiendo del producto que se quiera obtener.

1.2.1 Compuestos de PVC.

Es una mezcla de resina, que es el mayor componente del compuesto de PVC, y de una serie de aditivos que según las aplicaciones para las que se necesite el producto; se añaden con el fin de dar las propiedades finales a la lámina.

1.2.2 Efecto de las propiedades de la resina sobre el procesamiento.

El PVC presenta una serie de características o propiedades que sirven para conocer, controlar y predecir su comportamiento durante la transformación y desempeño del producto terminado. Entre esas propiedades se encuentran:

- * Densidad Aparente.
- * Valor K.
- * Porosidad.
- * Forma, tamaño y distribución de partícula.
- * Contaminantes en la granulometría.
- * Estabilidad térmica dinámica (ETD).

Todas estas propiedades producen efectos distintos sobre el procesamiento y sobre los artículos terminados.

1.3 Aditivos

Son sustancias que se le agregan al polímero para proteger sus propiedades, modificarlas (sin afectar su estructura molecular) o lograr un determinado desempeño del producto final.

Dentro de los requisitos que debe cumplir un aditivo para incluirlo en una formulación se destacan los siguientes:

- * Buena solubilidad y compatibilidad con el polímero.
- * Baja volatilidad y buena resistencia a la exudación.
- * Resistencia a agentes químicos y extracción acuosa.
- * Resistencia a la degradación térmica.
- * No debe impartir color al producto final.
- * Baja toxicidad o nula.
- * Relación costo beneficio.

1.3.1 Clasificación de los aditivos

- *Aditivos que evitan o previenen la degradación del polímero.*
- *Aditivos que modifican las propiedades de superficie.*
- *Aditivos que modifican las propiedades ópticas*
- *Aditivos que modifican las propiedades mecánicas.*
- *Otros aditivos*

* En la tabla 1 se encuentra un resumen de aditivos utilizados en la formulación de PVC (Ver Anexo C, Pag 78).

1.4 Método de Calandrado

El calandrado es un procedimiento que se aplica únicamente a los polímeros gomosos, incluyendo al cloruro de polivinilo plastificado, así como a los cauchos sintéticos y naturales. En el calandrado se requiere fundamentalmente que el polímero esté en el estado gomoso. Mediante este procedimiento se obtiene una lámina continua del calibre preciso cuando se hace pasar el compuesto de PVC por un sistema de rodillos rotatorios calientes. Por lo común, se requiere más de una pasada para darle a la lámina la precisión que se necesita; entonces, se usan máquinas de rodillos múltiples. En la Figura 1 se muestran algunas disposiciones en que se colocan los rodillos (Ver Anexo D, Pag 104).

En la figura se muestra la trayectoria que sigue el polímero gomoso dentro de la máquina. La primera lámina se forma cuando el material pasa por la primera línea de contacto entre los rodillos, directamente desde la alimentación, la cual puede hacerse con un molino de dos rodillos o un extrusor. En la segunda línea de contacto entre rodillos se hace pasar, a menudo la lámina sin comprimirla. En el tercer contacto se vuelve a hacer la lámina, donde gira un banco. El grosor o calibre de la lámina se da en los rodillos de calandra o estiramiento con los rodillos haladores. Se prefiere el diseño de L invertida porque el material está más tiempo en la máquina, lo que permite calentarlo completamente. Por otro lado, el diseño de Z inclinada ofrece un corto recorrido térmico. Es evidente que las calandras para plásticos y cauchos, en cuanto a sus principios, son similares a los molinos de dos rodillos. Sus rodillos están separados una distancia fija (aunque se puede ajustar)

Las calandras para plásticos y cauchos son máquinas de calibración constante en las cuales se modifica la fuerza que mantiene la calibración según el material que se manufactura.

Las fuerzas que se generan de esta manera entre los rodillos pueden ser considerables. El valor de las fuerzas de separación que se generan en una lámina de 100 μm de calibre, es de 30 o 40 toneladas, y para una de 50 μm , es de 70 toneladas. Esto es suficiente para doblar los rodillos y causar que el espacio entre ellos se curve en forma convexa, lo cual da una lámina de calibre no uniforme, de borde a borde. Esa lámina no sirve para cumplir la mayoría de los objetivos, debido a que se distorsiona cuando se enrolla; cuando se desenrolla de nuevo, tiene el centro abolsado. Para mantener un espacio de separación paralelo en el procedimiento se compensa la flexión de los rodillos de varias maneras:

- a.) Al conformar en el rodillo una curva opuesta para compensar. (Ver figura 2 Anexo D Pag 104).
- b.) Cargar antes los extremos de los rodillos para obtener un flexión compensatoria.(Ver figura 3 Anexo D Pag 104)
- c.) Cruzar ligeramente los ejes de los rodillos para obtener orillas más gruesas. (Ver figura 4 Anexo D Pag 104)

De estos métodos, conformar de alguna manera el contorno es el más simple y el único método si la máquina no tiene las condiciones necesarias para doblar los rodillos o cruzar ejes, pero es el menos versátil. Un contorno o forma determinada sólo será útil para pocos materiales y espesores; además, volver a esmerilar es un procedimiento laborioso y, a menudo, caro. Es importante no compensar de más la deformación porque se obtendrá una lámina cóncava; esto también causará distorsión al enrollar y la lámina tendrá orillas onduladas al desenrollar. Los dispositivos que permiten doblar rodillos o cruzar ejes incrementan el costo del capital de una máquina ya de por sí costosa: sin embargo, la mayoría de las máquinas modernas tienen ya sea uno o dos de estos aditamentos.

Las calandras se usan para producir láminas. Las láminas de cloruro de polivinilo encuentran más a menudo usos directos, por ejemplo, en cortinas de baño, impermeables y otras vestimentas y lienzos; en calibres más gruesos, como cubiertas de pisos, tapicerías, etc. En la siguiente figura se muestra una distribución común de una planta de calandrado de cloruro de polivinilo. La materia prima entra en el punto de arranque y unos pocos minutos después, la lámina terminada se enrolla en el extremo de la línea.

La lámina calandrada tiene, por lo común, alta orientación y comportamiento anisotrópico en sus propiedades físicas. Desde luego, el proceso es altamente lineal. El polímero se alinea a lo largo de la lámina en la dirección de la máquina. Hay componentes de tracción importantes conforme la lámina deja la zona de compresión y también hay fuerzas predominantemente cortantes dentro de la misma zona.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La metodología del proyecto consta de tres etapas, la primera y segunda etapa corresponden al desarrollo experimental y la tercera etapa se tratará en el capítulo de resultados y discusión.

PRIMERA ETAPA (Ver Anexo D, Pag 105)

2.1 RECONOCIMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

2.1.1 Resina

La resina, principal materia prima de estudio está identificada por lotes los cuales contienen un número definido de jumbos (cada una de las partes en las cuales viene dispuesta la resina, bolsas con 650 Kg como se muestra en la Figura 6 (Ver Anexo D Pag 106) se consideraron aquellos lotes con los cuales se realizó alguna producción de estudio. El procedimiento para el estudio de esta materia se basó en un plan de muestreo con el cual se pretende tomar partes representativas de los lotes existentes (se debe tener en cuenta que de la mayoría de los lotes utilizados en las producciones de láminas de PVC rígido no quedaban muchos jumbos para cumplir con el muestreo) esto con el fin de realizar un seguimiento de calidad de la materia prima. El muestreo se realizó con la frecuencia determinada en el plan de muestreo de materias primas con el que trabaja la empresa.

El procedimiento fue de la siguiente manera:

1. Toma de muestras de resina PVC suspensión de cada jumbo. La cantidad de resina tomada por jumbo estaba entre 200-500 g.
2. Identificación de la muestras.

3. Pruebas técnicas a las muestras de resinas (según el plan de calidad de la empresa)
4. Evaluación de pruebas con el equipo técnico.
Las pruebas realizadas a las muestras se encuentran en el Anexo B en la página 51.

2.1.2 Aditivos sólidos

A los aditivos sólidos sólo se les hace prueba de apariencia debido a que las demás propiedades son aprobadas con el certificado de calidad. El procedimiento realizado a las muestras se encuentra en el Anexo B en la página 58.

2.1.3 Materias primas líquidas

A las materias primas líquidas se les realiza además de un chequeo de apariencia la prueba de estabilidad térmica dinámica, el procedimiento llevado a cabo para la prueba de apariencia se encuentra en el Anexo B, página 58 y para la prueba de estabilidad se realiza el mismo que para la resina.

2.2. PRINCIPIOS BASICOS PARA FORMULAR PVC.

En los principios básicos de cómo formular PVC (Ver Figura 12 Anexo D Pág. 107), se establecen como guía considerar los siguientes elementos:

- Requerimientos de Uso: aplicación exterior, interior, temperatura de uso, en contacto con alimentos.

- Requerimientos de procesamiento: extrusión monotornillo, doble tornillo, inyectora, calandrado, moldeo por compresión, entre otros.

Formular es como armar un rompecabezas, donde cada pieza debe encajar para llegar a un objetivo final.

2.3. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS PARA PRODUCTO TERMINADO

De acuerdo con el plan de calidad implementado por POLIFILM DE VENEZUELA S.A., para garantizar la calidad del producto terminado y evitar que entre al mercado con defectos que impliquen rechazo, se llevan a cabo dos tipos de pruebas; las pruebas en línea (pruebas que por su método se hacen en la línea de producción) y las de fuera de línea (son pruebas técnicas que se realizan posterior a la fabricación de la lámina). Los procedimientos para cada una de las pruebas se encuentran en el Anexo B en la Pág. 60.

2.3.1 Pruebas en Línea

- A. Peso
- B. Calibre
- C. Estabilidad Dimensional (Encogimiento)

2.3.2 Pruebas fuera de Línea

- A. Brillo
- B. Contaminación
- C. Lay – Flat

D. Resistencia a la tensión y elongación (Tracción)

E. Rasgado

2.3.3 Recolección Datos de Resultados Técnicos a Producto Terminado

Para la recolección de datos de producto terminado se tuvieron en cuenta todos los aspectos que identifican un lote de producción determinada con el fin de conocer todas las propiedades y características de la misma a la hora de hacer un análisis. Los datos que se recolectaron fueron los siguientes:

- Fecha de Producción
- Producto
- Calibre
- Orden de Producción ó Número de Lote
- Cantidad Producida
- Lote de Resina utilizado para la Producción
- Contaminación de la Lámina. (Apariencia)
- Turno
- Condiciones de Operación

* La definición de cada dato se encuentra en el Anexo B página 68.

2.4. ENSAYO PILOTO EN EL LABORATORIO

Esta prueba piloto se basa en la simulación del proceso de fabricación de películas rígidas a nivel de laboratorio y tuvo como fin realizar a pequeña escala la producción de una lámina y así poder observar cómo condiciones como temperatura, velocidad y presión influyen en la procesabilidad del producto y la aparición de algunas contaminaciones como los son los grumos, las burbujas y los despegues además de las provenientes de la

materia prima, en un molino de laboratorio (dispositivo de dos rodillos cromados, brillantes que giran en sentido contrario con velocidad y temperatura determinadas) con dimensiones menores a las de la calandra.

El proceso comenzó con la formulación y preparación de las mezclas utilizando algunos de los lotes de resina que fueron usados en las producciones analizadas y posteriormente se obtuvieron las películas transparentes con la ayuda del molino (Ver Figura 27 Anexo D Pág. 111.).

A continuación se describe en forma mas detallada el procedimiento realizado:

Se prepararon las mezclas según la fórmula. Se mezcló bien hasta homogenizar y se verificó el funcionamiento y condiciones de trabajo del molino. Posteriormente se introdujo la mezcla entre los rodillos inicialmente a baja velocidad para evitar en lo posible que cayera en la bandeja inferior y en caso de que esto ocurriera se debía agregar de nuevo esta cantidad a los rodillos.

Al fundir se aumentó la velocidad hasta un límite que permitiera trabajar sin riesgo. Usando guantes de tela se desplazó la mezcla desde los extremos hacia el centro de los rodillos para lograr homogenizar lo mejor posible dicha muestra y una vez homogenizada se llevó al calibre deseado abriendo o cerrando los rodillos según fuera el caso y cuando se alcanzó la abertura requerida se dejó que la muestra abarcara el ancho de los rodillos y se sacó del molino asegurándose que éste quedara con los rodillos separados para evitar daños a los mismos, luego se extendió la lámina sobre una superficie plana y se dejó enfriar por 5 minutos como mínimo.

SEGUNDA ETAPA (Ver Anexo D, Pag 112)

2.5. DIAGRAMA DE CAUSA – EFECTO.

La figura 29 presenta el diagrama de causa – efecto (Ver Anexo D, pag 113) el cual se utilizó como herramienta para solucionar la contaminación en las láminas identificando como primera medida unas causas principales denotadas como: máquina, mano de obra, materia prima, método, medición y medio ambiente.

En la tabla número 3 (Ver Anexo C página 80) se encuentran las posibles fuentes de contaminación de las láminas de PVC rígidas de forma más detallada, y la importancia de analizar cada una de ellas.

2.6 PLANES DE ACCION

Después de analizar cada una de las posibles causas de contaminación que afectan la apariencia de la lámina, se clasificaron los datos para su respectivo análisis en los siguientes tipos:

2.6.1 Orden Cronológico.

Este estudio se planteó mes a mes (**Ver Archivo de Excel –Orden Cronológico- Anexo F**) con el fin de asignarle a cada producción un caso específico que dependía de la comparación entre la contaminación de la resina y la contaminación de la lámina producida. Se crearon 4 casos o criterios de comparación:

Caso 1: Contaminación Resina Baja – Contaminación Lámina Alta

Caso 2: Contaminación Resina Alta – Contaminación Lámina Baja

Caso 3: Contaminación Resina Alta – Contaminación Lámina Alta

Caso 4: Contaminación Resina Baja – Contaminación Lámina Baja

Los rangos escogidos para el umbral entre baja y alta fue de 45 contaminaciones por 100 g de resina y 45 para la lamina pero dando mayor importancia a las fibras y puntos negros grandes que son el principal problema de apariencia.

Después se calcularon los porcentajes a los cuales equivalían los casos para cada mes, finalmente se sumaron las producciones que pertenecían a cada uno de los casos para todos los meses y así sacar los porcentajes generales que representaran el comportamiento de todo el año.

2.6.2 Días del Mes.

Con este estudio se organizaron las producciones de todos los productos en el día que fueron realizados (**Ver Archivo de Excel –Días del Mes- Anexo F**) con el fin de observar algún patrón de contaminación en días específicos del mes sin importar cual fuera, por ejemplo en el día 1 están todas la producciones que fueron realizadas los días uno (calendario) del año y así sucesivamente. Según los datos recolectados la alta contaminación de las producciones se debe en gran parte al exceso de fibras, por esta razón se realizó un estudio sobre las posibles fuentes de las fibras.

2.6.3 Turnos.

Este estudio se podría analizar desde dos perspectivas, la primera es por tiempo, es decir, el horario en el cual los operarios de la calandra llenan los reportes durante la producción. La otra perspectiva es analizando el grupo de personal que está encargado de operar la máquina, éste análisis no se va a tener en cuenta debido a que los grupos se rotan y en este caso el error humano sería aleatorio y difícil de controlar.

Para este análisis se organizaron los datos para todas las producciones de acuerdo al turno en el cual fueron realizadas (**Ver Archivo de Excel – Turnos- Anexo F**) con el fin de observar si la hora de producción estaba afectando la contaminación de la lámina. Para observar algún patrón de comportamiento se calcularon los promedios de las contaminaciones de las producciones para cada uno de los meses.

2.6.4 Calibre.

Para este estudio se organizaron los datos de todas las producciones según su calibre (menor a mayor, **Ver Archivo de Excel –Calibre- Anexo F**) con el fin de observar si el espesor de la lámina influye directamente en la cantidad de contaminaciones que pueda tener la misma.

2.6.5 Producto

Con este dato se dividió toda la información según el producto fabricado (**Ver Archivo de Excel –Producto- Anexo F**) con el objetivo de mirar las cantidades chequeadas y aprobadas según las especificaciones estándar que aplica la empresa para los productos de exportación y así generalizar estas especificaciones para toda la producción de rígidos. Para tener un criterio de aprobación o rechazo de una producción determinada se compararon las contaminaciones con las especificaciones y de esta manera se decidía. Al final se sumaban respectivamente las cantidades producidas, chequeadas y aprobadas de cada uno de los productos con el fin de calcular el porcentaje aprobado (de lo chequeado) y determinar con esto cual de los productos tenía el porcentaje más alto de aprobación.

Las especificaciones mencionadas son las siguientes: Para el Vipack Farmacéutico el umbral entre bajo y alto para los puntos negros mayores de

120µm fue de 30 puntos, para las burbujas fue también de 30 burbujas y para la sumatoria de las fibras, los grumos y las imperfecciones u otros fue de 45. Con el fin de tener un rango de flexibilidad en las contaminaciones se trabajó un margen de error del 50%.

Las especificaciones para los demás productos (Vipack Atóxico, Vipack Industrial, Vipack Termopack y Vipack Carpeteria) fueron de 100 puntos para los puntos negros mayores de 120 µm, 50 para las burbujas y 45 para la sumatoria de fibras, grumos e imperfecciones u otros, como en el Vipack Farmacéutico también se trabajó un margen de error del 50%.

2.6.6 Condiciones de Operación

Las variables que inciden en el proceso de calandrado se recolectaron en tablas organizadas de acuerdo al producto y al mes de producción (**Ver Archivo de Excel –Condiciones de Operación- Anexo F**). Para sintetizar el análisis de los datos se escogieron aquellos que son determinantes en una producción de compuestos de PVC rígido como lo son las temperaturas de los rodillos de calandra, la velocidad de línea, la temperatura del Buss y del molino y correlacionarlos con la contaminación de las láminas. Para esto se realizaron unas tablas donde se recogieron las características más importantes de una producción, mes de fabricación del producto, número de lote, cantidad de scrap en caso que contenga, cantidad producida, las condiciones de operación anteriormente mencionadas y la contaminación de la lámina, con el fin de determinar las causas de la contaminación de la lámina ocasionadas por el proceso y las condiciones óptimas de operación para cada producto de aquellos calibres de mayor demanda.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

TERCERA ETAPA (Ver Anexo D, Pág. 114)

Como se puede ver, el diagrama de flujo muestra la tercera etapa que corresponde al orden de presentación y discusión de los resultados.

3.1 SÍNTESIS DE LOS PLANES DE ACCIÓN

3.1.1 Orden Cronológico

La tabla que recopila los resultados de este estudio se presenta en la tabla 4 (Ver Anexo C Página 84).

El porcentaje presentado en la tabla es general y representa el comportamiento de la producción de un año (julio 2005 – junio 2006). Como se puede ver el porcentaje más alto lo tiene el caso uno, el cual dice que el 50% de las láminas producidas tienen una contaminación alta pero la resina con la cual fueron fabricadas tiene una contaminación baja. El segundo porcentaje fue el del caso cuatro, que muestra que el 18% de las láminas tenían una contaminación baja y fueron producidas con una resina de contaminación baja; como se puede ver el 69% de la producción de un año fue elaborada con una resina de contaminación baja (45 contaminaciones en 100 g de resina) y la mayoría de dicha producción tiene un alto número de contaminaciones, todo esto hace concluir que la contaminación de la resina como materia prima principal es ajena a la contaminación de las láminas con lo cual se afirma que la resina no es el mayor problema como fuente de contaminación.

El siguiente porcentaje es el del caso tres, éste dice que el 18% de la producción fue elaborada con una resina de contaminación alta, y las láminas

analizadas muestran una contaminación alta, lo que indica que en la resina si existe cierta contaminación, pero no es determinante en la de la lámina.

Es decir, existen factores ambientales y de proceso que inciden directamente en dicha contaminación. Con esto se ratifica que un análisis de condiciones de operación de los productos si era necesario.

Por ultimo tenemos con un porcentaje del 13% el caso 2, el cual deja ver que la producción analizada tenía una contaminación baja pero elaborada con una resina de contaminación alta, esto demuestra que la contaminación que contiene la resina puede ser minimizada con las condiciones de operación adecuadas, con el fin de comprobar esta hipótesis, en el análisis de condiciones de operación se incluirá la contaminación de la resina como parte del estudio.

3.1.2 Días Del Mes

Al realizar el estudio por Días del Mes (**Ver Archivo de Excel –Días del Mes- Anexo F**) se mostró un aparente aumento de las fibras en los días intermedios del mes. Para tener certeza de este comportamiento, se calcularon los porcentajes que cumplían o no las especificaciones técnicas para las fibras (45 fibras máximo) sobre los kilogramos producidos en cada día pues en algunos de ellos la producción de láminas es baja y las cantidades de fibras no eran muy reveladoras.

Después de hacer el cálculo de dichos porcentajes, efectivamente durante los días del 10 al 20 de cada mes donde la cantidad producida supera los 50000 Kg, más del 70% de las producciones no cumplían con las especificaciones técnicas para las fibras como se muestra en la tabla 5 (Ver Anexo C página 84).

Para determinar las causas de la aparición de las fibras se establecieron las posibles fuentes contaminantes que se muestran a continuación:

- ✓ Telares (Ver Figura 31 Anexo D Pág. 114): Cerca de la calandra donde se producen las láminas, opera maquinaria para la fabricación de las telas utilizadas en productos como manteles, cortinas, etc. Los hilos usados son de algodón y debido a su baja densidad son atraídos por la lámina.
- ✓ Bandas Transportadoras (Figuras 32 y 33 Anexo D Pág. 115.): Las bandas que alimentan los rodillos de la calandra son de algodón y desprenden fibras debido al continuo uso y las temperaturas que se manejan.
- ✓ Ventiladores o Extractores: Estos sistemas de ventilación utilizan aire del exterior para bajar la temperatura en la planta; es posible que este aire traiga consigo fibras de vidrio de la empresa contigua o simplemente este esparciendo las fibras de los telares en el área de calandra.
- ✓ Jumbos de Resina, Bolsas de Polietileno, Polipropileno y papel (Figura 34 Anexo D Pág. 115): Las materias primas sólidas utilizadas en el proceso de calandrado vienen empacadas en sacos o bolsas que al no ser abiertas de manera adecuada desprenden fibras que contaminan la lámina.

Como primera medida se analizó la producción de telares durante el año de observación con el fin de determinar si el funcionamiento simultáneo de éstos junto con la calandra, influían directamente en la contaminación por fibras de las láminas. De forma similar al estudio de orden cronológico se establecieron 4 casos, en los cuales se comparaba la cantidad de fibras en la producción con el funcionamiento de los telares. Los casos son los siguientes:

Caso 1: Producción de Telares Si – Contaminación Lámina Baja

Caso 2: Producción de Telares Si – Contaminación Lámina Alta

Caso 3: Producción de Telares No – Contaminación Lámina Baja

Caso 4: Producción de Telares No – Contaminación Lámina Alta

El criterio para el umbral de contaminación de la lámina por fibras es el mismo que el escogido para el anterior estudio, 45 fibras máximo.

Se sumaron las cantidades producidas de cada caso para todos los meses del año y finalmente se calcularon los porcentajes para cada uno de los casos en base a la producción total. Los datos consolidados se encuentran en la tabla 6 (Ver Anexo C Pág. 85).

El porcentaje presentado en la tabla es general y representa el comportamiento de la producción de un año (julio 2005 – junio 2006). Como se puede ver el caso con mayor porcentaje es el número dos el cual indica que los días que hay producción de telares la contaminación de la lámina es alta, además el caso tres muestra con un 20 % que la contaminación de la lámina es baja cuando el área de telares no labora, con lo cual con un 63 % proveniente del caso dos y tres se puede ver que la producción de telares afecta directamente en la elaboración de las láminas aumentando la cantidad de fibras en éstas.

El 22 % correspondiente al caso cuatro deja ver que la contaminación por fibras no es exclusiva de los telares y existen otras fuentes tales como las anteriormente mencionadas (bolsas, bandas, ventilación, etc.) que están contaminando la lámina durante la producción. Como se puede ver en los resultados del ensayo de laboratorio realizado para la identificación de cada una de las contaminaciones, la Figura 20 (Ver Anexo D Pág. 109) muestra las imágenes de fibras encontradas en una serie de láminas producidas. Al observar las diferentes imágenes (muestras representativas de todas las fibras analizadas) se puede ver que las fibras se encuentran quemadas, y el 100% de las analizadas poseen las mismas características (color, forma,

aparición, etc.). Como se mencionó anteriormente el 63% de las fibras que aparecen en las láminas provienen de los telares (hilos de algodón) por lo tanto al realizar la similitud de las características de las fibras analizadas, finalmente se afirma que el 100% de este tipo de contaminación es de algodón y que la fuente externa de contaminación son las bandas transportadoras ya que estas también están elaboradas con fibras de algodón.

Por último el caso uno con un 15 % revela que no todas las fibras que se desprenden de los telares son atrapadas por la calandra, en cambio, están siendo eliminadas por el sistema de extracción o permanecen en el área de telares.

3.1.3 Turnos

Los promedios calculados para este estudio se muestran en la tabla 7 (Ver Anexo C Pág. 85). Al ver los promedios que están recolectados en la tabla se puede ver que el análisis por turnos no es concluyente ya que no muestra ningún patrón de comportamiento.

3.1.4 Calibre

Para este estudio inicialmente se calcularon los promedios de las contaminaciones para cada uno de los calibres y se organizaron en la tabla 8 (Ver Anexo C Pág. 87).

Con este análisis se encontró que las burbujas aumentan con el calibre, esto es debido al banco, es decir, cuando se tienen calibres bajos el banco que se necesita entre los rodillos es bajo y el espacio entre los rodillos de calandra es mínimo, por lo tanto éste no atrapa aire que posteriormente forman las

burbujas, mientras que con los calibres altos la cantidad de masa que se necesita en el banco es alta al igual que la distancia entre los rodillos por lo cual aumenta la capacidad de éste de atrapar aire y generar más burbujas. Con lo que respecta a las otras contaminaciones se realizó otro estudio pues al parecer para los calibres intermedios la contaminación es más alta que para los calibres bajos o altos. Con dicho estudio se quiso comprobar si el número de contaminaciones está ligado al calibre o depende de la cantidad producida de éste. El análisis consistió en calcular el porcentaje de producción aprobada o no aprobada de cada calibre según especificaciones técnicas en base a la cantidad total producida. En este estudio se tendrán en cuenta los puntos negros grandes, las imperfecciones u otros y los grumos. Las especificaciones técnicas que se trabajaron ya fueron mencionadas anteriormente.

Al ver la Tabla 9 (Anexo C Pág. 87) se puede ver claramente que no solo los calibres intermedios no cumplen las especificaciones técnicas, los calibres bajos y altos también poseen un porcentaje de producción no aprobada por lo tanto se rectifica lo mencionado con el anterior análisis, además los calibres fabricados en menor frecuencia cumplen con los porcentajes más altos las especificaciones técnicas.

El calibre con mayor cantidad producida es el calibre 300 μm y este a su vez posee el porcentaje más alto de producción no aprobada con un 24%.

3.1.5 Producto

Este análisis deja ver que el producto con el porcentaje mas alto de material aprobado (Ver tabla 10 Anexo C Pág. 89), es el Vipack Atoxico, cabe aclarar que dicho porcentaje es sobre lo chequeado y supera el 80%, el Vipack Farmacéutico tiene sobre el 90% de producción chequeada y casi el 60% aprobado, lo que deja claro que con dichos productos se están cumpliendo

las especificaciones tanto de control de calidad (chequeo – producto terminado) como de apariencia.

Como se sabe, el Vipack Atoxico, el Termopack y el industrial tienen la misma formulación, su diferencia radica en que el Vipack Atoxico no lleva material reprocesado (scrap); pero al observar la tabla se puede ver claramente que el Vipack Atoxico presenta una mejor calidad en cuanto a contaminación de la lámina ya que supera a los otros dos con un 10% en producción aprobada, lo que indica que el scrap influye en la contaminación de las láminas.

Al comparar la cantidad de scrap se puede ver que al Vipack Termopack le agregan una bolsa de 30 kilos por mezcla mientras que al Vipack Industrial le agregan entre 90 y 120 kilos, la tabla también muestra que la diferencia de porcentajes de producción aprobada entre estos dos productos es de tan solo 0.14% lo que hizo pensar que aunque el scrap influye en la contaminación de las láminas la cantidad que se le agrega puede ser indiferente; para tener certeza de lo anterior se hizo necesario revisar las condiciones de operación para determinar la causa de esta variación.

Para el Vipack Carpetería donde la materia prima para su producción casi en su totalidad es scrap se esperaba que la cantidad aprobada fuera mucho menor, pero al observar la tabla se puede ver que el Vipack Industrial lo supera tan solo con el 7 %, es decir, que se puede obtener un producto de buena apariencia con 100 % de material reprocesado.

3.1.6 Condiciones De Operación

Para las tablas de análisis de condiciones de operación (Ver Anexo C Pág. 91 a 97) se escogieron las producciones con menor cantidad de

contaminaciones y las de mayor cantidad, esto se hizo para cada calibre de cada producto.

Como se puede ver en la síntesis de los planes de acción – condiciones de operación (Ver Anexo B Pág. 69), el objetivo fue escoger una orden de producción para cada calibre de cada producto, que no sólo tuviera un número de contaminaciones bajo, sino que contara con las condiciones de operación adecuadas para obtener un mayor rendimiento de la máquina y así poder tomar dichas condiciones como referencia para futuras producciones.

Para escoger las condiciones de referencia se tuvo en cuenta factores decisivos tales como el número de contaminaciones, la productividad (velocidad de la línea), cantidad de scrap, y un cocinamiento uniforme de la mezcla (Temperaturas en el molino y en el Buss).

Al leer los análisis de cada uno de los calibres se puede ver que hay varias cosas en común, por ejemplo: sin importar cual sea la formulación los calibres bajos se ajustan fácil al objetivo, es decir, presentan baja contaminación y buena productividad.

La aparición de puntos negros se debe al cocinamiento anticipado del material, las altas temperaturas del Buss y del molino queman el material antes de llegar a los rodillos de la calandra generando los puntos. En las tablas de los productos Vipack Industrial, Carpetería y Termopack se ve que manejan temperaturas más altas en los rodillos de calandra que las del Farmacéutico y Atóxico, esto se debe a que el material reprocesado (Scrap) que se agrega a la formulación necesita más temperatura para fundir las partículas del material y así evitar la aparición de grumos.

Aunque el Vipack Farmacéutico y el Atóxico no contienen material reprocesado de todas formas generan una cantidad considerable de grumos, al analizar la velocidad de línea que aparece en las tablas se ve que las producciones que poseen una velocidad de línea alta tienen menor cantidad de grumos que aquellas que presentan menor productividad, esto no sólo se ve en estos productos, los materiales que poseen scrap tienen el mismo comportamiento lo cual verifica lo anteriormente mencionado.

En el caso de las burbujas, como ya se había mencionado anteriormente están directamente ligadas al calibre que se esté produciendo, pero en las tablas se observa que en algunas producciones de calibres altos presentan una baja cantidad de ellas esto es debido a las altas temperaturas que se manejan en los rodillos de calandra.

Finalmente con el análisis de las condiciones de operación se puede decir que tanto los calibres bajos y altos, o los productos con material reprocesado o sin éste, presentan básicamente el mismo comportamiento, y el número de contaminaciones puede ser disminuido con condiciones de referencia adecuadas sin afectar el rendimiento del proceso.

3.2 ENSAYO EN PLANTA

Después de haber analizado las posibles fuentes de contaminación de la lámina en base al Diagrama Causa – Efecto (Diagrama de Pescado), y haberse adentrado en el proceso paso a paso desde las materias primas hasta su producción y posterior chequeo realizando para esto diferentes tipos de estudios con el fin encontrar las condiciones adecuadas para la producción de una lámina PVC rígida, lisa, transparente y brillante que cumpliera con las especificaciones técnicas tanto de apariencia como de propiedades mecánicas; se planteó un Ensayo en Planta, en cual se realizó

una producción donde se aplicaron las deducciones extraídas de cada uno de los estudios.

3.2.1 Escogencia Del Producto

En base al estudio por Producto se escogió el Vipack Industrial como producto a fabricar en el ensayo debido a la gran demanda que presenta en el mercado (63% de la producción anual de rígidos es de este producto), además de ser el más chequeado y uno de los que menos tiene producción aprobada. Por otra parte el Vipack Industrial tiene la misma formulación que el Vipack Atóxico y el Vipack Termopack con lo que se pueden generalizar en gran parte la condiciones encontradas para su producción.

Como el Vipack Industrial maneja una amplia cantidad de calibres, se decidió que el calibre a ensayar debía ser uno de los calibres intermedios, con el fin de extender hacia calibres bajos y altos las condiciones realizando sencillos ajustes en las mismas.

El calibre seleccionado dentro de esta línea de rígidos fue el calibre 300 debido a que es el más producido por su amplia gama de aplicaciones en el mercado.

3.2.2 Estrategias Y Condiciones

Para la preparación del Ensayo en Planta se tuvieron en cuenta varios aspectos importantes que influían directamente en el proceso y a su vez en la calidad final de la lámina producida.

Materias Primas: Para la producción de ensayo se asignó un lote de resina, a la cual no se le había realizado los respectivos análisis de chequeo para materias primas, por lo cual se procedió a muestrear los jumbos y

posteriormente hacer las pruebas de contaminación en banda, granulometría y apariencia. Estas pruebas se realizaron con el fin de comprobar si la contaminación de la resina influía o no en la contaminación de la lámina.

Por otra parte debido a que el Vipack Industrial es un producto que utiliza scrap como materia prima para su rendimiento se decidió trabajar con dos cantidades diferentes de scrap en las cochadas (entre 30 y 120 Kg. dependiendo de la cantidad a producir) y observar si al variar la cantidad de esta materia prima la contaminación de la lámina se veía afectada.

Con las demás materias primas se cumplió con el plan de calidad de la empresa, el cual solo chequea la apariencia de las mismas.

Maquina: En base al estudio de condiciones de operación se escogieron las condiciones de referencia las cuales ya fueron establecidas para el Vipack Industrial calibre 300 μm en la Síntesis de los Planes de Acción. Las condiciones iniciales fueron de guía ya que a medida que transcurría la producción se realizaron los debidos ajustes de acuerdo a los requerimientos de la máquina y a los estudios anteriormente realizados.

Dos de los equipos más importantes en el proceso de calandrado (Mezcladoras y Buss) necesitaron una previa limpieza antes de su uso debido a que son fuentes de contaminación, pues en el caso de las mezcladoras debido a su proceso quedan residuos de anteriores producciones que contaminan la nueva mezcla. En la cabeza del Buss se acumulan partículas de mezcla que con el tiempo y el uso se degradan y son recogidas por el nuevo compuesto PVC que se esta produciendo, estas contaminaciones a través del proceso generan puntos negros.

Los rodillos de calandra fueron previamente limpiados con pasta abrasiva y ácido esteárico con el fin de mantener su brillo y remover sustancias o partículas provenientes de anteriores producciones.

En general el área de la calandra fue aseada para evitar cualquier tipo de contaminación. Sin embargo debido a la magnitud de la máquina, la limpieza de ésta se realiza cuando la producción en calandra para completamente o en casos especiales para su mantenimiento.

Personal: Con el fin de incluir el ensayo dentro de la programación de la producción de calandra se contactó al Jefe de Operaciones de la Planta para incluir una corrida y solicitar la orden de producción con las características requeridas (Vipack Industrial calibre 300 μm). El ensayo se programó para el día Jueves 3 de Agosto del 2006 a las 2:00 p.m.

Antes del ensayo en planta se realizó una reunión con el Jefe de Área de Calandra, el supervisor en turno y los gerentes del departamento Técnico y de Producción, con el objetivo de concertar, programar y precisar en conjunto el procedimiento a seguir.

También se realizaron las recomendaciones respectivas a cada uno de los operarios encargados de las diferentes partes del proceso con el fin de informar las estrategias a poner en marcha.

Se hizo una especial recomendación a la persona encargada del mezclado para que al abrir cualquiera de los empaques de las materias primas se evitara un mal corte y esto ocasionara la contaminación de la mezcla.

Departamento Técnico: Para lograr un chequeo continuo de los rollos de la producción del ensayo en planta se coordinó con los Analistas Técnicos para realizar las respectivas pruebas de línea (apariencia, calibre, contaminación etc.) y registrar los datos en los formatos.

3.2.3 Procedimiento

La orden de producción (Figura 35 Anexo D Pág. 115) asignada para el ensayo en planta fue 47375, en ella se encontraban registradas las materias primas y las cantidades requeridas. La cantidad a producir fue de 2250 Kg (la mezcla se divide en tres cochadas cada una de 750 Kg) lo que representa 6 rollos aproximadamente cada uno de 350 Kg. Debido a que eran tres los baches a producir se decidió agregar a dos de las cochadas una cantidad de scrap igual a 60Kg y a la restante tan solo 30 Kg. Las materias primas y las cantidades utilizadas se encuentran en la tabla 27 (Ver Anexo C Pág. 98).

Las condiciones de referencia se le entregaron al Jefe de Área de Calandra el cual se encargó de operar los controles de la máquina y ajustar cada una de las variables según lo propuesto para el ensayo. Cabe aclarar que por ser un ensayo la productividad (velocidad de enrollado) no era una de las variables. La tabla con las condiciones se muestra en la tabla 28 (Ver Anexo C Pág. 99).

La primera etapa fue el mezclado, a la persona encargada se le entregó la orden de producción para iniciar el proceso y comenzar la homogenización de la mezcla, en primera instancia se limpiaron las mezcladoras (la calandra de Polifilm de Venezuela cuenta con dos mezcladoras (Figura 36 Anexo D Pág. 115), cada mezcladora con una capacidad de 1500 Kg, pero cada una se cargó con 750 Kg), el procedimiento de limpieza se siguió tal como se encuentra en el instructivo (Ver Normatividad – Anexo E Pág. 119).

Luego se descargó en la mezcladora la resina de PVC valor K 57 (Figura 37 Anexo D Pág. 116). Posteriormente se agregaron los estabilizantes y los lubricantes internos y se mezcló durante 5 minutos. En seguida se añadieron los lubricantes externos y las ayudas de proceso, se mezcló de nuevo

durante 5 minutos. Finalmente se descargó el modificador de impacto y el scrap (para las primeras dos mezclas se agregó 60 Kg a cada una, y para la tercera una bolsa de 30 Kg). En las Figuras 38 y 39 (Anexo D Pág. 116) se pueden ver los diferentes aditivos y la mezcladora en su interior ya cargada respectivamente.

Después de mezclar durante 15 minutos se descargó y por medio de un riel se llevó hasta la tolva del Buss, ver Figuras 40 y 41 (Anexo D Pág. 116) respectivamente.

En seguida vienen los pasos de mayor homogenización de la mezcla, los equipos encargados de esta función son el Buss y el molino ver Figuras 42 y 43 (Anexo D Pág. 117) respectivamente. Las bandas transportadoras conectan estos dos dispositivos llevando la mezcla gelificada. Luego la mezcla completamente homogenizada fue transportada hacia los rodillos de calandra (Figura 44 Anexo D Pág. 117), donde se formó una lámina que siguió su curso a través de un tren post-calandrado (Figuras 45 y 46 Anexo D Pág. 117) para su enfriamiento.

Finalmente la lámina ya fabricada fue envuelta por la bobinadora (Figura 47 Anexo D Pág. 117) y empacada (Figuras 48 y 49 Anexo D Pág. 118) para su distribución y venta.

3.3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL ENSAYO EN PLANTA

A la resina utilizada en el ensayo de planta se le realizaron las pruebas de chequeo para materia prima y los resultados se encuentran en la tabla 29 (Anexo C Pág. 100)

El ensayo comenzó con unas condiciones de operación de referencia las cuales ya han sido mencionadas anteriormente, y rollo a rollo fueron modificadas por el supervisor de área según los resultados obtenidos con la prueba de contaminación para las láminas la cual fue realizada

simultáneamente con la producción por el Departamento Técnico y en base a los análisis realizados en la Síntesis de los planes de acción. El chequeo de contaminación y sus respectivas condiciones de operación para cada rollo se muestran en las tablas 30 y 31 (Anexo C páginas 100 y 101 respectivamente).

Al ver la Tabla 31 (Anexo C Pág. 101) En la columna para el rollo 1 se puede ver las condiciones iniciales con las que comenzó el proceso, debido a la baja velocidad y al tiempo que demora el proceso normalmente estas condiciones se ven reflejadas en los rollos 1 y 2. Se observa en la tabla de registro de condiciones que en éstos rollos la cantidad de puntos negros aunque es pequeña, dañaba la apariencia de la lámina, por lo que se decidió bajar las temperaturas de los rodillos 1 y 2 de calandra y no la del molino y del Buss las cuales son estándar para este calibre, con el fin de disminuir la contaminación por puntos, esta disminución se vio reflejada en la contaminación de los rollos 3 y 4.

Al minimizar la cantidad de puntos, comenzó la aparición de grumos y burbujas, esto se debe a que la cantidad de scrap adicionada a las dos primeras mezclas (estas abarcan desde el rollo 1 al 4) necesita una temperatura más alta para homogenizar las partículas de scrap que son más gruesas y poder formar la lámina en los rodillos de calandra, además la cantidad de masa que necesita el banco para la realización de este calibre, requiere mayores temperaturas para mantener dicha masa caliente y evitar que atrape aire.

Este aumento de grumos se contrarrestó con un aumento en la velocidad de línea pero manteniendo la temperatura de los rodillos constante. . La disminución de los grumos se pudo ver reflejada en los rollos 5 y 6 de la producción. Las bajas temperaturas hizo evidente la aparición de burbujas por lo que finalmente se aumentó la temperatura de los rodillos manteniendo la velocidad (Ver condiciones de operación del rollo 6, Tabla 31 Anexo C

Pág. 102). Los resultados de este cambio se vieron reflejados en la cantidad de burbujas del último rollo (rollo 6). Las altas temperaturas no generaron puntos negros ya que la velocidad alta evitó la degradación del material.

Es importante aclarar que el alto número de imperfecciones u otros (manchas de flujo, una marca repetitiva a lo largo de los rollos fabricados ocasionada por un golpe de un rodillo halador, y otra marca debido a un rayón del rodillo 3 de calandra) fue ocasionado por fuentes ajenas a las condiciones de operación y materia prima.

La aparición de fibras fue inminente debido a que el día del ensayo los telares continuaron con su habitual funcionamiento y las bandas transportadoras usadas fueron las mismas con las que se opera normalmente la calandra (de algodón).

Al observar la Tabla 32 (Anexo C Pág. 103) de control de proceso de calandra se ve claramente que todos los rollos cumplieron con las especificaciones tanto de calidad (contaminaciones) como de propiedades mecánicas las cuales no se vieron afectadas por las modificaciones realizadas a las condiciones de operación. Es importante destacar que la apariencia en cuanto a brillo, color, transparencia visual, apariencia del rollo y en general apariencia del material fabricado fue muy buena lo cual era el objetivo general de este trabajo de grado.

Con este ensayo y sus muy favorables resultados quedan comprobados todos los análisis realizados y por lo tanto se puede afirmar con seguridad que:

La contaminación de la resina como materia prima principal es ajena a la contaminación de las láminas y por esto la resina no es el mayor problema como fuente de contaminación. Es decir, hay factores ambientales y de

proceso que inciden directamente en dicha contaminación. Además, cualquier tipo de contaminación que tenga la resina puede ser minimizada con las condiciones de operación adecuadas.

Por otro lado la producción de telares afecta directamente la elaboración de las láminas aumentando la cantidad de fibras en éstas, aunque no es la única fuente de contaminación por fibras, el uso de bandas transportadoras de algodón es la causa del aumento de éstas en las láminas.

Al analizar las condiciones ambientales del turno en el cual fueron realizadas las producciones del año de investigación se encontró que el estudio no mostraba ningún patrón y por lo tanto se tomó como no concluyente.

La aparición de burbujas es inherente al calibre, debido a que está afectada por la cantidad de aire que atrapa la masa del banco y las condiciones de operación que modifican el mismo. Esta contaminación puede ser minimizada manteniendo una cantidad de masa constante y adecuada entre los rodillos y manejar temperaturas altas los rodillos 1 y 2 de calandra.

Todos los calibres, bajos, intermedios y altos presentan producciones que no cumplen con especificaciones técnicas, este hecho está ligado a la frecuencia de producción del calibre.

Mantener la velocidad alta y el cierre de los rodillos adecuado evita la aparición de grumos.

Un cocinamiento moderado manteniendo las temperaturas en los valores promedio para el Buss, Molino y Rodillos de calandra previene la generación de puntos negros.

Si un material posee dentro de sus materias primas cualquier cantidad de scrap necesita manejar temperaturas altas durante su cocinamiento, para disminuir la aparición de grumos en la lámina.

CONCLUSIONES










- ✓ Con este trabajo de grado se encontraron las causas y fuentes de contaminación que afectaban la apariencia de la lámina, además se estableció una normatividad con los procedimientos adecuados y las recomendaciones necesarias para la fabricación de láminas de PVC rígidas producidas por el proceso de calandrado para lograr la consolidación en el mercado nacional e internacional de la empresa Polifilm de Venezuela S.A.
- ✓ Las materias primas de los compuestos de PVC rígidos no afectan la contaminación final de la lámina producida por el proceso de calandrado. Sin embargo cuando entre ellas se encuentra material reprocesado (scrap) es necesario ajustar las condiciones de operación de la máquina para el correcto procesamiento de ésta.
- ✓ La mayoría de las contaminaciones que presentan las láminas pueden ser minimizadas partiendo de unas condiciones de referencia adecuadas para un determinado producto y calibre, y modificando éstas durante el transcurso del proceso de acuerdo a los resultados obtenidos rollo a rollo.
- ✓ La determinación de las fuentes de contaminación por fibras fue minuciosa y de vital importancia debido a que este tipo de contaminación es el más común y abundante entre las producciones, además de ser la principal causa de rechazo de material.

RECOMENDACIONES

- Localizar los jumbos de resina en el almacén en un lugar que no sea húmedo, ya que si la resina no se encuentra totalmente seca produce en las láminas imperfecciones.
- Aspirar bien el jumbo antes de abrir con el fin de eliminar impurezas tales como arena, polvo, ceniza, etc, que recoge desde la descarga hasta el momento del mezclado.
- Al momento de abrir el jumbo para realizar la mezcla tirar del nudo sin romper la cuerda y así prevenir la aparición de fibras en la lámina.
- No abrir ninguna de las bolsas de papel con bisturí o cualquier otro utensilio ya que el corte de éstas produce fibras de papel.
- Cuidar que la cantidad de scrap por mezcla sea la correcta y asegurarse que pertenezca a la formulación que se está produciendo para evitar la aparición de grumos.
- Limpiar cada 12 horas la cabeza del buss para evitar la acumulación de material quemado.
- Al momento de reprocesar evitar hacerlo desde el molino, pues al tener menos homogenización con la mezcla aumenta la cantidad de grumos, por esto se recomienda picar y reprocesar desde las mezcladoras.

- Utilizar bandas transportadoras sanitarias (fabricadas con fibras artificiales), ya que estas no contaminan desprendiendo fibras como lo hacen las bandas de algodón y soportan mayores temperaturas.
- Cuidar que el material que va a las picadoras permanezca limpio para evitar que este contamine la lámina que se va a producir.
- Limpiar las tuberías o conductos por las cuales se transportan los refiles para ser procesados de nuevo.
- Con el fin de evitar que los ventiladores atraigan fibras u otro tipo partícula del ambiente es necesario instalar filtros que retengan dicha contaminación.
- Para minimizar la cantidad de fibras que se desprenden del área de telares y que se mantienen en el ambiente de la planta es importante conservar cerrada la cortina que aísla los telares del resto de planta, aunque para evitar por completo que las fibras provenientes de los telares contaminen la producción se recomienda encapsular dicha área.

BIBLIOGRAFIA

-  [http:// www.petco.com.co](http://www.petco.com.co)
-  [http:// www.pequiven.com](http://www.pequiven.com)
-  <http://www.polifilm.com.ve>
-  [http:// www.plastiunivers.com/tecnica/hemeroteca/articulocompleto](http://www.plastiunivers.com/tecnica/hemeroteca/articulocompleto)
-  <http://www.solvayindupa.com/processosdetransformacao/>
-  PETCO. Petroquímica de Colombia S.A. Compuestos de PVC, composición y aplicaciones.
-  GOLDING, Brage.Ph.D.Polymers and Resines. D,Van Nostrand Company, Inc. Princeton, New Jersey.1959.p. 62-130,574-712.
-  WILLIAMS, David. J. Polymer science and Engineering. Prentice Hall, Inc. London. 1971. p. 110-126
-  Physical properties of polymers. Handbook J.Am.Chem.Soc. 1997,119,4096