

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Química

**“PROCESO DE FABRICACIÓN DE CLORURO DE POLIVINILO
(PVC) EN GUATEMALA”**

presentado por

EDGAR RAFAEL MELENDEZ MOREIRA

Guatemala

1996

**“PROCESO DE FABRICACIÓN DE CLORURO DE POLIVINILO
(PVC) EN GUATEMALA”**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Química

**“PROCESO DE FABRICACIÓN DE CLORURO DE POLIVINILO
(PVC) EN GUATEMALA”**

**Trabajo de graduación presentado para optar el título de
Ingeniero Químico
en el grado de Licenciado**

EDGAR RAFAEL MELENDEZ MOREIRA

Guatemala

1996

Vo. Bo.:

(f) _____
Ingeniero Gamaliel Zambrano
Asesor

Tribunal:

(f) _____
Ingeniero Gamaliel Zambrano

(f) _____
Ing. Eduardo Mosquera

(f) _____
Ing. Eduardo Calderón

Fecha de aprobación: **18 de julio de 1996**

**A mis padres, hermanos y
a mis amigos**

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA #	CONTENIDO	PÁGINA
1	POLIMERIZACIÓN DE CLORURO DE VINILO	4
2	PROCESO DE TRANSFERENCIA EN LA POLIMERIZACIÓN DE PVC	5
3	EVOLUCIÓN DEL CLORURO DE HIDRÓGENO EN PVC	8
4	SALES DE TIPO POLIMETINO O DE CARBONIO	8
5	MECANISMO DE DEHIDROCLORINIZACIÓN	9
6	FÓRMULA GENERAL PARA ESTABILIZADORES ÓRGANO-ESTAÑO	10
7	FÓRMULA GENERAL PARA MERCAPTIDAS ÓRGANO-ESTAÑO.	10
8	REACCIÓN DEL ÓRGANO-ESTAÑO CON CLORURO DE HIDRÓGENO	11
9	ESTABILIZADORES COMERCIALES EN BASE A CARBOXILATOS DE METALES	12
10	MODO DE ACCIÓN DE LA COMBINACIÓN DE CARBOXILATOS DE CADMIO Y BARIO	13
11	ABSORBEDORES UV	13
12	CALANDRADO	15
13	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA INSTALACIÓN DE CALANDRADO DE PVC PLASTIFICADO.	15
14	MEZCLADOR RÁPIDO DEL TIPO COWLES	18
15	TIPOS DE RECUBRIMIENTOS	20
16	EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE	21
17	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA FABRICACIÓN DE COMPUESTOS DE PVC	24

RESUMEN

A través de la investigación del proceso de fabricación de PVC en Guatemala se logró conocer los orígenes, propiedades, características, técnicas de procesamiento así como su aplicación. Esto fue necesario debido a que la industria requiere de continua actualización. Guatemala es actualmente un fuerte consumidor de PVC, esto justifica el estudio de esta industria poco conocida a nivel nacional. El efecto del PVC en la sociedad es inevitable ya que existe en la actualidad una amplia gama de artículos fabricados con base en el PVC, por lo tanto no puede negarse la importancia de este trabajo.

Fue muy valioso conocer el proceso de fabricación de PVC en Guatemala para determinar que la formulación, degradación térmica y estabilización térmica del PVC plastisol permite experimentar a nivel de laboratorio, sin contar con métodos sofisticados ni complicados.

La experiencia en el laboratorio resultó un éxito en la formulación de PVC plastisol a partir de una pasta PVC y DOP. Esta fórmula cambió su color a causa de la degradación térmica en condiciones normales de proceso, por lo tanto, fue necesaria su estabilización con un estabilizador en base a metales. El uso de este estabilizador prolongó el tiempo de cambio de color originado por la degradación térmica e hizo factible la aplicación y uso del plastisol. Los resultados de laboratorio permiten concluir que es factible la formulación de un compuesto de PVC, el cual se degrada térmicamente en condiciones normales de proceso. El uso de estabilizadores térmicos disponibles comercialmente en el mercado permiten la estabilización del compuesto de PVC. El compuesto de PVC estabilizado puede aplicarse por el método de revestimiento por esparcimiento para elaborar un recubrimiento de PVC comúnmente llamado cuero sintético. El uso final de este revestimiento de PVC es la fabricación de zapatos, muebles, ropa, billeteras, bolsos, etc.

I. INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta una investigación relacionada con el proceso de fabricación de cloruro de polivinilo o mejor conocido en el ámbito industrial guatemalteco como PVC. El proceso de investigación presenta dos partes: una práctica y una teórica, las cuales se detallan con mayor precisión más adelante.

Esta investigación espera despertar el interés para dar continuidad a estudios relacionados con el tema, por ser éste, uno de los productos que en nuestro país se produce a gran escala y se utiliza como materia prima en diferentes trabajos relacionados con la industria plástica principalmente, sin descartar la posibilidad de ser usada en otras más.

A. PARTE TEÓRICA

Se investigó el proceso de fabricación de Cloruro de Polivinilillo en Guatemala sobre los siguientes campos del PVC:

- origen y manufactura,
- propiedades y características,
- modificación,
- degradación,
- estabilización,
- transformación.

Se aclararon las características y propiedades del PVC, las técnicas más apropiadas para procesarlo y su aplicación industrial.

B. PARTE EXPERIMENTAL

Se aplicaron los conocimientos disponibles en la parte teórica y se experimentó con el siguiente procedimiento:

- formulación de un compuesto de PVC (plastisol),
- degradación térmica del compuesto de PVC,
- estabilización térmica del compuesto de PVC,
- elaboración de un recubrimiento de PVC a partir del compuesto formulado y estabilizado.

Se experimentó con un plastisol ya que el método de ensayo es bastante simple y no se necesita equipo sofisticado. Además, permitió la elaboración de un recubrimiento por el método de esparcimiento que es la técnica más sencilla entre las comprendidas en el procesamiento de PVC.

II. ANTECEDENTES

A. ORIGEN Y MANUFACTURA DEL PVC

La necesidad de encontrar materiales que puedan producirse a gran escala para disminuir considerablemente su costo, garantizar una disponibilidad casi ilimitada y además ofrecer ventajas incomparables frente a los materiales tradicionales procedentes de los recursos naturales, hizo que el hombre investigara y desarrollara la industria del plástico

El diseño ha sido un motor eficaz en la expansión de los plásticos al conseguir formas más atractivas o utensilios más funcionales que permiten a menudo la simplificación de mecanismos o el aumento de prestaciones.

A este éxito de los plásticos ha contribuido en gran medida la posibilidad de su coloración, con colores atrayentes que mejoran su aspecto, lo que ha sido un factor determinante para la aceptación del plástico en múltiples aplicaciones donde los materiales tradicionales como metales, madera, vidrio, etc., parecían poco menos que insustituibles.

El PVC es uno de los plásticos más importantes porque su producción y consumo mundial se ha incrementado considerablemente desde su introducción en los años cuarenta. Parte de este éxito se debe a su amplia compatibilidad con un gran número de sustancias de baja masa molecular (plastificantes, modificadores de impacto, lubricantes, etc.) que permiten variar a voluntad de sus propiedades mecánicas, desde rígido hasta flexible, admitiendo diferentes métodos de procesado y aplicaciones.

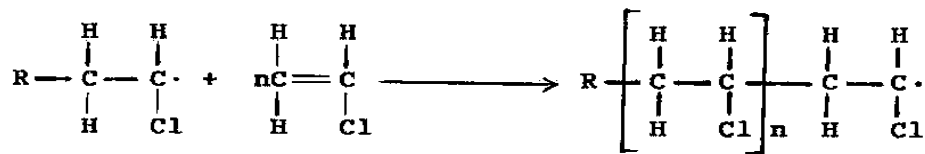
El PVC se obtiene por la polimerización del cloruro de vinilo derivado del petróleo. La polimerización del cloruro de vinilo es una reacción en cadena de radicales libre. Cuando el radical libre inicial ha sido formado, una serie de monómeros se enlazan a él y el doble enlace en el cloruro de vinilo se rompe. La función del radical se mantiene a medida que la cadena crece hasta que finalmente, una reacción de terminación ocurre. Éste puede ser el resultado de una combinación de dos macro radicales de una reacción desproporcional.

Figura No. 1
Polimerización de Cloruro de Vinilo

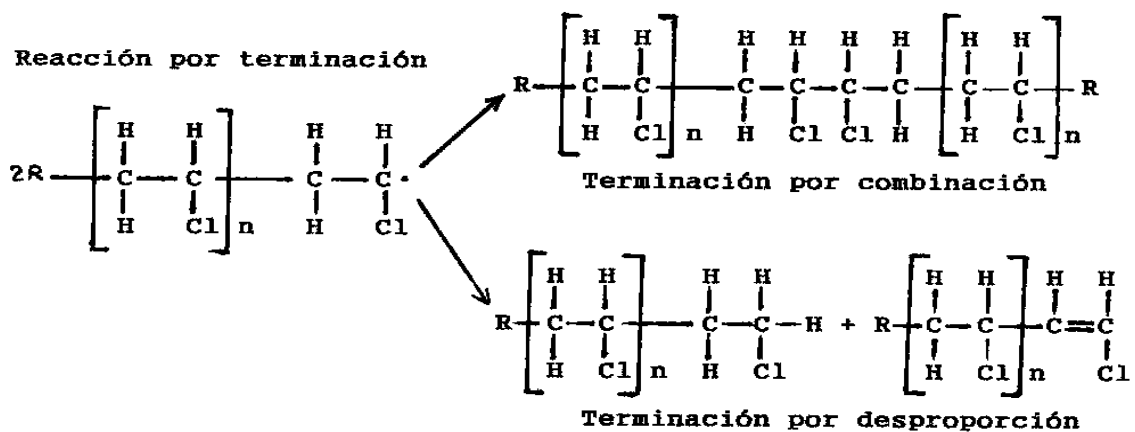
Reacción inicial



Reacción de propagación

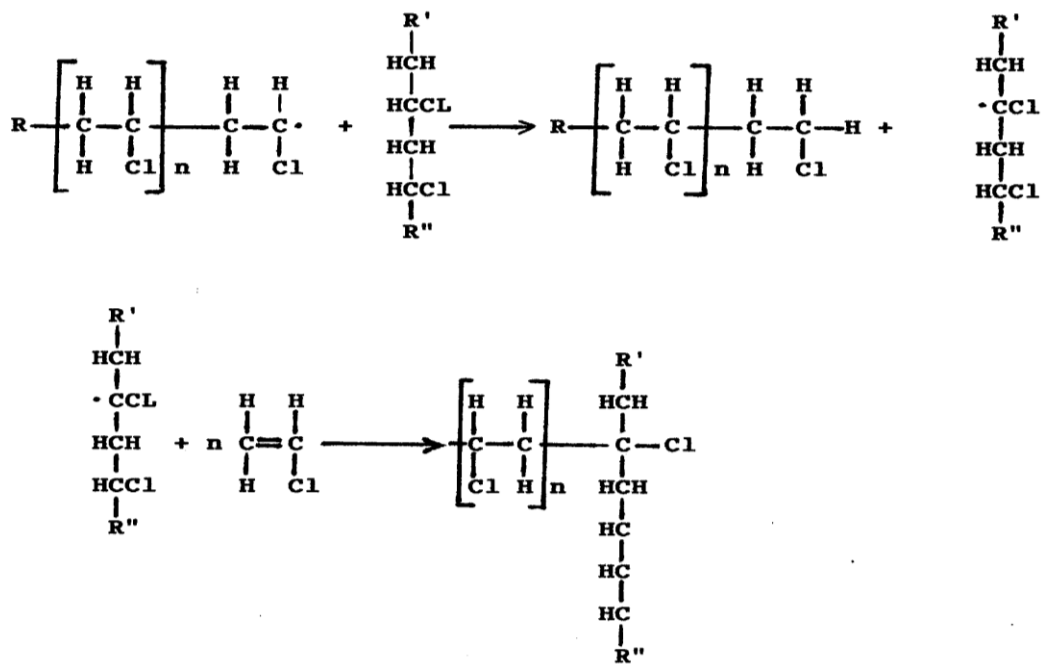


Reacción por terminación



Otras reacciones de terminación son el resultado de procesos de transferencia, donde un radical libre es transferido de una cadena polimérica formada, el crecimiento de nuevas unidades monoméricas, entonces se conduce a la ramificación.

Figura No. 2
Proceso de transferencia en la Polimerización de PVC



Los tres sistemas de polimerización más empleados son: emulsión, suspensión y masa. Las características del PVC dependen del sistema empleado durante su polimerización, lo que posibilita la obtención de calidades especiales para cada aplicación.

B. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL PVC

El PVC es susceptible de moldearse por aplicación de calor y endurecerse por el frío tantas veces como se quiera, debido a que no sufre durante este proceso, ninguna transformación química si no que solamente un cambio físico.

Por esta característica muy importante se le clasifica entre las materias plásticas como termoplástico y de este principio parten todas las técnicas utilizadas para su procesamiento.

En la práctica, el usuario parte generalmente del PVC completamente polimerizado, suministrado en forma de polvo o granulado. Según sean las necesidades, el PVC puede ser disuelto en solventes orgánicos, fundido o transformando bajo la acción del calor y de la presión.

Las características de las resinas de PVC dependen del sistema utilizado durante su polimerización, lo que posibilita la obtención de calidades especiales para cada aplicación. Los tres sistemas de polimerización mencionados, anteriormente, proporcionan macromoléculas de diversa longitud de cadena, por lo que se habla siempre de grados de polimerización medios (valores K).

A mayor valor K, mayor es la masa molecular media. Cuando el valor K aumenta el punto de reblandecimiento del polímero crece, y con ello las propiedades mecánicas y la estabilidad térmica mientras que la elasticidad disminuye. Para cada aplicación se recomienda un determinado intervalo del valor K:

- Entre 50 y 60: calandrado (laminación entre cilindros) de PVC rígido,
Cuerpos huecos y moldeo por inyección
- Entre 60 y 68: extrusión de PVC rígido;
- Entre 70 y 80: transformación de PVC plastificado

C. MODIFICACIÓN DEL PVC:

Una desventaja del PVC es su baja estabilidad a altas temperaturas de procesamiento, pero esto puede remediarse con el uso de estabilizadores térmicos. Es virtualmente imposible procesar el PVC a altas temperaturas sin el uso de estabilizadores y a esto se debe que la tecnología del PVC haya estado siempre ligada, muy cercanamente, al desarrollo de estabilizadores adecuados.

Durante el procesamiento del PVC se intenta variar sus propiedades entre ciertos límites mediante la incorporación de aditivos cuya compatibilidad ha sido previamente estudiada.

Entre los aditivos comúnmente utilizados, se encuentran los estabilizadores mencionados anteriormente y también aquellos aditivos que modifican el color, textura, densidad, resistencia mecánica y eléctrica, como lo son: los pigmentos, los colorantes, los blanqueadores ópticos, los plastificantes y los modificadores de impacto.

Así pues, cuando hablamos de PVC (placas, piezas, utensilios, monofilamentos, etc.) nos referimos al compuesto de PVC, que consiste en el polímero de PVC más un conjunto de aditivos homogéneamente distribuidos en su estructura polimérica.

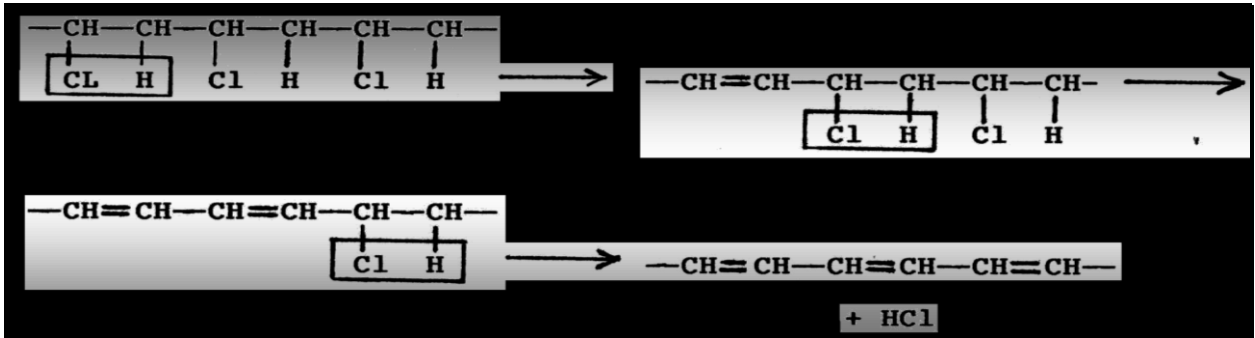
D. DEGRADACIÓN DEL PVC

Hay dos diferentes procesos en la degradación del PVC: La degradación térmica (termólisis), en la cual el PVC está sujeto a altas temperaturas durante el procesamiento y la degradación a la luz (fotólisis), esta es parte del proceso de envejecimiento.

1. TERMOLISIS. Es bien conocido que el PVC se degrada severamente por el calor. El proceso de degradación se acompaña por cambios típicos de color y a medida que la

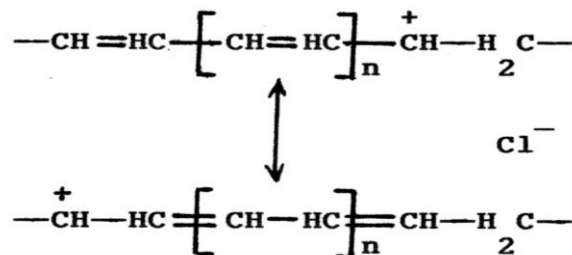
decoloración se incrementa, las propiedades físicas se deterioran. El PVC se vuelve quebradizo progresivamente hasta que el material se desintegra por completo. La termólisis va acompañada de la dehidroclorinización del PVC que comprende la evolución del cloruro de hidrógeno.

Figura No. 3
Evolución del Cloruro de Hidrógeno en PVC



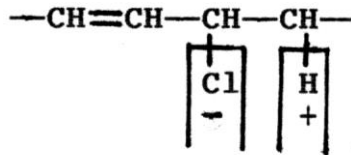
Los compuestos intermedios son sales de tipo polimetino o sales de carbonio. Éstas se forman en la termólisis del PVC y tienen la estructura mesomérica como se muestra a continuación:

Figura No. 4
Sales de tipo Polimetino o de Carbonio



La eliminación de cloruro de hidrógeno se debe a un mecanismo iónico. El átomo de cloro actúa como un anión y el átomo de hidrógeno como un protón.

Figura No. 5
Mecanismo de Dehidroclorinizacion



2. Fotólisis. El PVC se degrada por la luz. El efecto fotolítico más poderoso proviene de la luz solar. Es muy difícil de distinguir el resultado de la decoloración por fotólisis de la resultante por termólisis. Además de la decoloración existen también otros cambios indeseados en las propiedades mecánicas que van haciendo al PVC quebradizo.

El proceso fotolítico depende no solamente del tipo de PVC sino también de su tratamiento térmico. En general, cuanto más avanzada sea la degradación térmica más pronto inicia la decoloración.

La fotólisis se da generalmente y especialmente, a temperaturas arriba de 25°C, acompañada por dehidroclorinización.

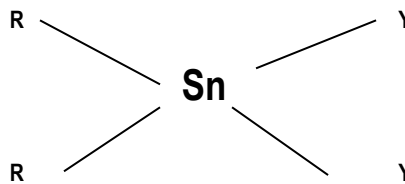
E. ESTABILIZACIÓN DEL PVC

1. ESTABILIZACIÓN CONTRA LA DEGRADACIÓN TÉRMICA. Es virtualmente imposible procesar PVC a altas temperaturas sin el uso de estabilizadores. Esta es la razón por la cual la tecnología del PVC haya estado siempre ligada al desarrollo de estabilizadores de especificaciones de patentes, las cuales sin embargo, no contienen ninguna información sobre los mecanismos de estabilización.

2. TIPOS DE ESTABILIZADORES TÉRMICOS.

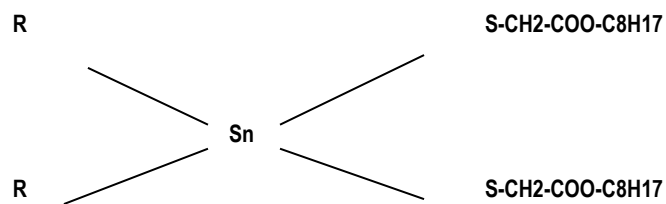
a. Estabilizadores órgano-estaño. Estos son estabilizadores más efectivos, la mayoría de los cuales son derivados de la siguiente fórmula:

Figura No. 6
Fórmula General para estabilizadores órgano-estaño



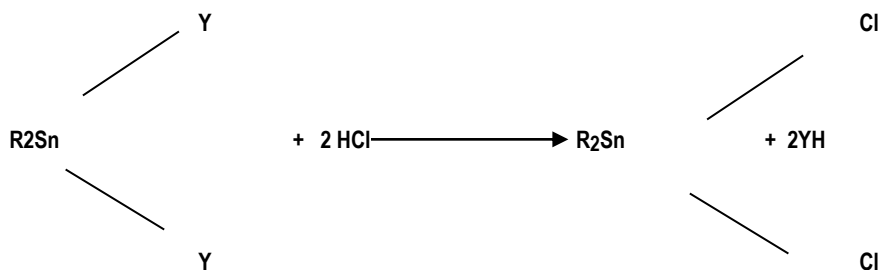
El sustituyente "R" es un grupo alquilo (como n-butilo o n-octilo) directamente unido al estaño. El sustituyente "Y" es mucho más importante para la acción de estabilización. Éste puede ser un grupo mercapturo unido al estaño a través de un átomo de azufre, como el ester del ácido tioglicólico.

Figura No. 7
Fórmula general para mercaptidas órgano-estaño.



Como todos los estabilizadores, los compuestos órgano-estaño tienen la habilidad de formar enlaces con el cloruro de hidrógeno como lo muestra la siguiente figura.

Figura No 8
Reacción del Órgano-estaño con cloruro de hidrógeno



La formación del cloruro de dialquilo de estaño, durante el procesamiento ha sido confirmado experimentalmente. El cloruro de dibutilo de estaño, está presente entre otros componentes en los constituyentes volátiles, los cuales son emitidos en el proceso, y explica la reducción en el contenido de estaño que ocurre en el proceso térmico de producción de láminas de PVC.

Los cloruros de dialquilo de estaño no tienen ningún efecto sobre la degradación o la estabilización. La neutralización del cloruro de hidrógeno inhibe su acción auto-catalítica sobre la deshidroclorinización y esto a su vez, previene la formación de compuestos que son la causa de la decoloración. Algunos ejemplos de estabilizadores órgano-estaño son los siguientes:

Advastab	TM	181MS	(mercaptida de metilo de estaño)
Irgastab	17	M	(mercaptida de butilo de estaño)
Irgastab	17	MOK	(mercaptida de octilo de estaño)

b. Otros estabilizadores metálicos. Otros componentes metálicos comúnmente usados como estabilizadores térmicos son las sales de plomo, bario, cadmio, calcio y zinc de ácidos orgánicos e inorgánicos y de fenoles sustitutos.

El hecho que todos estos sean receptores de cloruro de hidrógeno, no es en sí mismo suficiente para explicar sus propiedades estabilizantes.

En la práctica, los carboxilatos de metales son usados como mezclas sinérgicas (dos son usados juntos para que el resultado sea realmente mejor que el esperado si se usaran por separado). Las combinaciones más comúnmente usadas son los componentes de bario y cadmio, bario y zinc o calcio y zinc.

Figura No. 9
**Estabilizadores comerciales con base de
carboxilatos de metal**



(I) Irgastab BZ 555 (combinación de bario y Zinc)

(II) Irgastab CZ 11 (Combinación de calcio y Zinc)

Durante la estabilización del PVC se reproducen cloruros de cadmio y Zinc. El cloruro de cadmio y aún más, el cloruro de zinc, catalisa la degradación del PVC, así que el uso de estabilizadores de zinc o cadmio solos, conducirían rápidamente a una severa decoloración bajo un proceso térmico.

La adición de carboxilatos de bario o calcio retarda la proliferación de los cloruros de cadmio y zinc, mediante la conversión de estos cloruros a sus carboxilatos correspondientes.

F. TRANSFORMACIÓN DEL PVC

Los principales procesos o sistemas utilizados en la transformación del PVC son por inyección, extrusión, calandrado, moldeo rotacional y recubrimiento.

Cada uno de estos sistemas ha dado lugar a múltiples métodos de trabajo así como al desarrollo de maquinaria específica e incluso, a modificaciones en el PVC para poder conseguir un resultado óptimo en la aplicación final.

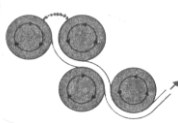
1. TRANSFORMACIÓN DEL PVC PLASTIFICADO. El PVC plastificado se obtiene por la incorporación de un 30 hasta un 50% de plastificantes del tipo de ésteres de los ácidos tánicos o fosfóricos. La eficacia del plastificante descansa sobre el hecho de que rebaja la temperatura de gelificación del PVC.

Las moléculas del plastificante se interponen entre las macromoléculas del PVC y evitan que éstas permanezcan íntimamente unidas y por lo tanto, favorecen su movilidad. De esta forma las propiedades mecánicas del PVC pueden ser ampliamente modificadas.

a. CALANDRADO DEL PVC PLASTIFICADO. El sistema utilizado para la fabricación en continuo de hojas o láminas de PVC (rígidas o flexibles) mediante laminación entre cilindros, constituye el calandrado. Es uno de los procesos tecnológicos que mayor grado de perfeccionamiento ha alcanzado a lo largo de su evolución y desarrollo.

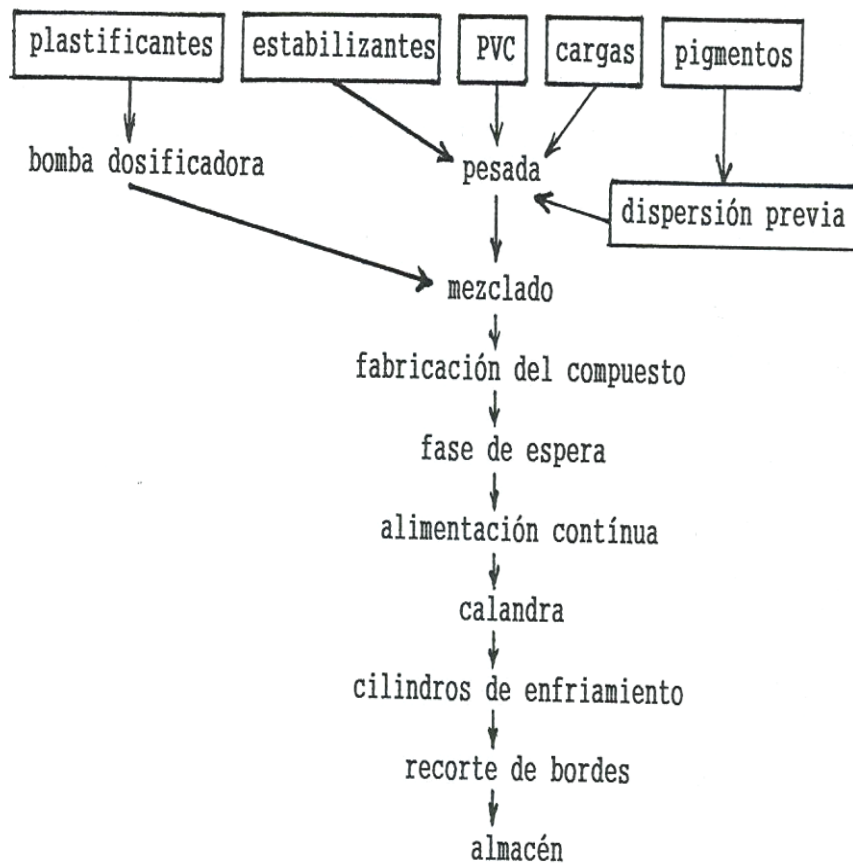
Los tipos de calandras varían en función del número de cilindros y de la posición de los mismos. Las más modernas poseen cuatro cilindros colocados en forma de Z, disposición que elimina la flotación de los cilindros, lo que permite una mayor velocidad y control del espesor de la lámina.

Figura No. 12
Calandrado



La temperatura de los cilindros está comprendida entre los 150 y 180°C. Normalmente estos cilindros trabajan por fricción, es decir, que el segundo y el tercero giran cada uno a una velocidad que es 5-10% superior al que le precede. El tercero y cuarto cilindros giran a la misma velocidad. También es esencial para la calidad de las hojas calandradas, que la superficie de los cilindros sea completamente lisa y que se halle uniformemente calentada.

Figura No.13
**Diagrama de flujo para la instalación
de calandrado de PVC plastificado**



El modo operativo al cual se hace referencia en el esquema anterior, indica el tipo de producto de uso más generalizado y el proceso que se sigue para el calandrado.

PVC: Se utiliza mayoritariamente el tipo de suspensión y en menor escala el tipo masa. Se requiere una buena absorción del plastificante y una buena resistencia de la hoja resultante. El valor K empleado fue de 65 a 70.

Plastificantes: Como plastificante primario se utiliza talato de dioctilo (DOP). Como plastificantes ignífugos se emplean los fosfatos y para mejorar la resistencia al frío, el adipato de dioctilo (DOA).

Estabilizantes: En el caso del PVC rígido, se utilizan el butilo de estaño y el octilo de estaño, este último para formulaciones atóxicas. Para el PVC plastificado se emplean el calcio-zinc o bien el bario-zinc (fórmulas y nombres comerciales en sección 3.5.2.2).

Cargas: Son compuestos orgánicos usados por razones de economía o para dar al producto final ciertas propiedades requeridas en el uso, como baja densidad o un acabado liso a la superficie del PVC. Generalmente no se utilizan. Cuando eventualmente se emplean, el carbonato de calcio precipitado es el de uso más frecuente.

Pigmentos: Se requiere buena resistencia al calor y que no interaccione con los estabilizantes empleados.

Alimentación

continua: banda transformadora que alimenta los cilindros en toda su anchura gracias a un movimiento de vaivén.

Recorte de bordes y

recuperación: Las láminas que salen de la calandra tienen bordes dispares, estos se recortan y se incorporan a la fabricación del compuesto vigilando la estabilización.

b. PLASTISOLES Y ORGANISOLES. PLASTISOLES: Son pastas obtenidas por dispersión de una resina de PVC polimerizada en emulsión en un plastificante. Este juega un doble papel, así: por una parte, constituye el vehículo de dispersión de la resina y, por otra, confiere flexibilidad al producto final.

El PVC-E empleado en los plastisoles es de un valor k entre 70 y 80 posee partículas muy finas (10 micrones). Las pastas melifican en presencia de calor. El plastificante más universal es el ftalato de dioctilo (D.O.P.) pero según las exigencias del método de aplicación o del producto final, se emplean mezclas con otros plastificantes. El contenido de plastificante varía según las aplicaciones, pero en general, se halla comprendido entre el 50 y el 80% de la resina.

Las propiedades del plastisol, aparte del tipo de resina y del plastificante primario empleado, dependen de los demás componentes, como lo son: Estabilizantes, lubricantes, cargas, pigmentos, etc.

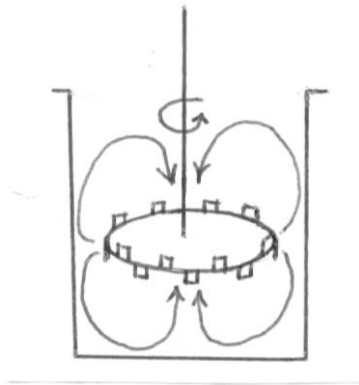
La gelificación, o sea, la transformación de la dispersión líquida en solución sólida por disolución de la resina en los plastificantes, tiene lugar al calentarse la pasta entre los 160 y 190°C. Los sistemas de aplicación más frecuentes para los plastisoles son: Recubrimientos a rasqueta (lámina metálica que forma un ángulo de 90° con la superficie a recubrir) moldeo de cuerpos huecos o rotacional y por inmersión.

ORGANISOLES: Son dispersiones de PVC en un plastificante, en presencia de cantidades más o menos importantes de un disolvente volátil, como hidrocarburos alifáticos. La

principal aplicación de los organosoles se da en el recubrimiento de metales (mangos de herramientas).

Los plastisoles y los organosoles, se prepararan con mezcladores lentos de movimiento planetario o bien en mezcladores rápidos del tipo Cowles.

Figura No. 14
Mezclador rápido del tipo Cowles



En el primer caso se incorporan todos los componentes sólidos de la formulación y se inicia una agitación lenta. Seguidamente y sin dejar de agitar, se añade parte del plastificante y se prosigue la mezcla hasta obtener una pasta fina.

Cuando se usan mezcladotes rápidos del tipo de disco dentado se inicia la preparación mezclando todos los componentes líquidos (plastificantes, estabilizantes y diluyentes) y luego se añaden poco a poco las cargas, para finalizar con la incorporación lenta de la resina.

La duración de la mezcla es de unos quince minutos y durante la misma, hay que evitar que la temperatura se eleve por encima de los 35-40°C, ya que en este caso, se produciría una

pregelificación del PVC. Finalmente en los dos sistemas de trabajo hay que realizar el vacío para eliminar el aire ocluido por la agitación.

Es conveniente dejar reposar el plastisol, una vez preparado, durante unas horas para conseguir su maduración, fase en que las pequeñas partículas de PVC se hinchan y la gelificación posterior se produce de forma más fácil y rápida.

c. RECUBRIMIENTOS: Sistema de aplicación consistente en extender una capa de plastisol sobre soporte tales como tejidos de algodón o fibras sintéticas, papel, etc. La capa depositada por una cuchilla se gelifica haciéndola pasar por un horno.

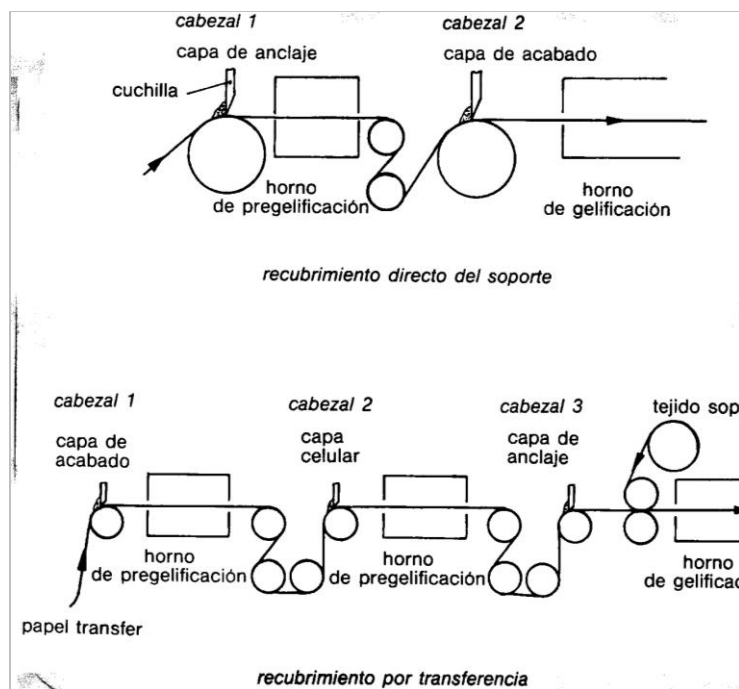
El recubrimiento es la principal aplicación del plastisol y con esta técnica se fabrican el cuero artificial con soporte textil, tejidos impermeables, correas de transmisión, reversos de alfombras, etc. Cuando se trata de producir cuero artificial de alta calidad, el recubrimiento se compone de varias capas: Una primera de fondo, que determina la adherencia sobre el soporte textil. Una capa intermedia, opaca y pigmentada y la de superficie, que proporciona el aspecto final del producto. Algunas veces se aplica una cuarta capa de barniz transparente de protección. La capa intermedia es la parte principal del recubrimiento, puesto que representa el 50% del espesor total.

Existen dos tipos de recubrimientos: directo y por transferencia. El recubrimiento directo consiste en recubrir directamente el soporte (tejido, no tejido o papel), mediante un equipo con uno o varios cabezales en que se puede depositar una capa compacta o celular en el primer cabezal y, después de la pregelificación, una capa de acabado en el segundo.

En el recubrimiento por transferencia, el plastisol se deposita sobre un soporte intermedio (papel siliconado) que sirve de vehículo. Una vez pregelificado, se aplica encima el tejido a recubrir. Esta técnica se utiliza, especialmente, en el recubrimiento de tejidos elásticos, como el género de punto. Los papeles de transferencia pueden ser brillantes o mates y grabados o no. Estos papeles pueden ser utilizados varias veces.

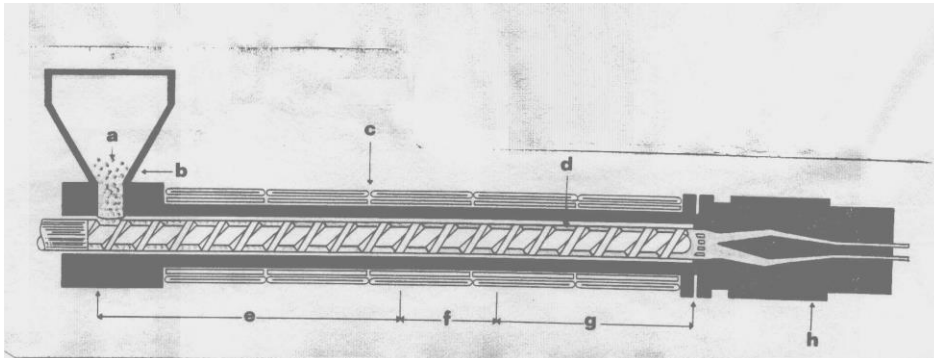
Figura No. 15

Tipos de recubrimientos



d. EXTURSIÓN DEL PVC PLASTIFICADO: Esta técnica de transformación, como su nombre lo indica, tiene lugar en la extrusora, máquina cuyas características más importantes son la geometría del husillo, la relación entre su longitud y el diámetro y la relación de compresión. Se alimenta con compuestos granulados o en forma de polvo seco).

Figura No. 16
Extrusora de tornillo simple



- a) Gránulos
- b) Tolva
- c) Chaqueta de calentamiento
- d) Compuesto
- e) Zona de alimentación
- f) Zona de compresión
- g) Zona de bombeo
- h) Cabeza extrusora

Entre los artículos más importantes transformados por extrusión figuran los siguientes:

Hojas, placas, mangueras, perfiles, aislamiento de cables, fundas o forros para cables, etc.

La temperatura de extrusión se establece entre 150 y 180°C. El material extruido se enfría generalmente en un baño de agua.

2. TRANSFORMACIÓN DEL PVC RÍGIDO: Dentro del PVC, el PVC rígido representa entre el 60 y el 62%, con una tendencia a crecimientos superiores a los del PVC plastificado. Las aplicaciones más importante son: Tuberías y accesorios, perfiles, película, placas, botellas, etc. Uno de los campos de mayor penetración del PVC rígido en los últimos años, ha sido el de la construcción, con los perfiles para ventanas, perfiles para persianas y placas para recubrir y proteger fachadas de madera, puertas de garaje, etc. Estas aplicaciones, que constituyen un

verdadero desafío a la intemperie, exigen una cuidadosa formulación del compuesto, una no menos cuidada selección de los pigmentos y una especial atención a las condiciones de transformación.

Lógicamente y de acuerdo con la aplicación final, deberá seleccionarse el tipo de PVC y el correspondiente valor de K. De acuerdo con las principales aplicaciones del PVC rígido mencionado, los sistemas de transformación más empleados son la extrusión y el calandrado.

a. CALANDRADO DEL PVC RÍGIDO: No existen diferencias fundamentales en las distintas fases de la fabricación de hojas de PVC plastificado o rígido y por tanto, es válido todo lo expuesto en el calandrado del PVC plastificado.

Quizá haya que mencionar, que mientras en la producción de película y hojas de PVC plastificado hay que controlar el comportamiento reológico por la elección y la cantidad de plastificante, en las películas de PVC rígido los estabilizantes y lubricantes son los que influyen sobre el comportamiento reológico.

Las hojas de PVC rígido obtenidas por calandrado se utilizan, entre otras, en las siguientes aplicaciones: Hojas embutidas, destinadas al embalaje (tarimas para envasado de alimentos, empaque bajo blister, etc.), hojas decorativas para el contra placado de muebles y hojas estiradas empleadas como soporte de cintas adhesivas, cintas magnéticas para grabaciones, etc.

Como consecuencia de estas aplicaciones, las exigencias en materia de dispersión son muy elevadas, puesto que la presencia de partículas de pigmento de un tamaño superior al

espesor de la película, determinarían puntos de rotura y, por tanto, pérdida de propiedades mecánicas en las hojas del PVC.

3. FABRICACIÓN DE COMPUESTOS DE PVC. Generalmente, la fabricación de compuestos en forma de polvo seco o de gránulos, constituye la actividad de una industria auxiliar entre el fabricante del polímero y el transformador. Sin embargo, algunos productores de polímero elaboran compuestos y existen transformadores importantes que por razones de consumo, fabrican sus propios compuestos.

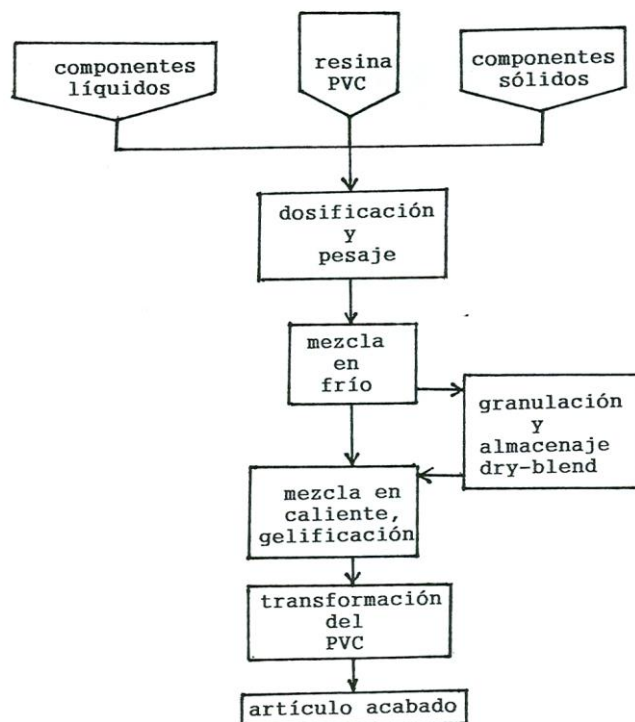
La preparación requiere las siguientes etapas:

- Dosificación y mezcla de los componentes de la formulación (polímero, estabilizantes, cargas, plastificantes, lubricantes, pigmentos, etc.) en el mezclador rápido, donde se produce la distribución y desgregación, así como la difusión de los componentes líquidos, que son absorbidos por las partículas de PVC, obteniéndose el polvo o mezcla seca (dry-blend) que se presenta como un material suelto, pero que no puede ser fundido.
- En esta fase se consigue la disgregación de los aglomerados de partículas primarias, gracias al cizallamiento y al calor (130-150°C).
- La última fase comprende la gelificación o fusión de las partículas primarias de PVC bajo la acción del calor.

Las fases B y C tienen lugar de forma simultánea en una extrusora de doble husillo o en una de husillos satélites de dos etapas. Unidades de corte, junto al cabezal y previo enfriamiento del material, proporcionan el gránulo. Según los sistemas de transformación del polímero se emplea compuesto en polvo o granulado.

En la figura que a continuación se presenta, se indica de forma esquemática, el diagrama de flujo para la fabricación de un compuesto de PVC.

Figura No. 17
Diagrama de flujo para la fabricación de compuestos de PVC



La industria del PVC en Centroamérica es una industria joven, pujante y moderna. Por lo tanto, hay poco conocimiento del proceso de fabricación del PVC, los productos que ha creado esta industria y como ha influido a las demás industrias, técnicas y casi todas las actividades humanas en el área.

En Guatemala se tiene un uso considerable de PVC, por lo tanto, es necesario conocer sobre su fabricación, características propiedades y usos que se encuentran en el medio nacional.

La mayor parte de la industria guatemalteca está involucrada directa o indirectamente en el procesamiento de PVC. Por esta razón, es necesario contar con este trabajo para disponer, de manera clara, con los conocimientos específicos del procesamiento de PVC.

Finalmente es importante para la sociedad en general, porque el uso del PVC va desde el simple aparato doméstico a las piezas más sofisticadas utilizadas en las técnicas espaciales, pasando por sectores de la importancia de la construcción, automóvil y empaque.

IV. OBJETIVOS

A. GENERALES

- Actualizar los conocimientos del proceso de fabricación de PVC en Guatemala.
- Aplicar los conocimientos del proceso de fabricación de PVC a nivel de laboratorio.

B. ESPECÍFICOS

- Aclarar el origen y manufactura del PVC, sus características y propiedades, las técnicas más apropiadas para procesarlo y su aplicación industrial.
- Experimentar con la formulación de un compuesto de PVC, su degradación térmica, su estabilización térmica y la elaboración de un recubrimiento de PVC a nivel de laboratorio.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Existe poca información y conocimiento de la industria del PVC en Guatemala. Esta falta de conocimiento se debe a que la industria del PVC es una industria joven, pujante y moderna que ha creado nuevos productos y se mantiene continuamente en desarrollo.

Otro problema a resolver es la necesidad de la industria guatemalteca de actualizarse en la tecnología del PVC. Este trabajo es una herramienta útil que presenta de manera clara los conocimientos específicos del proceso de fabricación del PVC.

Debido a que las técnicas de fabricación de PVC requieren equipo sofisticado, es muy difícil simular a nivel de laboratorio las condiciones de operación en un proceso industrial. Este es un problema que limita las posibilidades de experimentar con PVC a nivel de laboratorio.

La falta de conocimiento de las propiedades y características del PVC en el medio nacional, limita las aplicaciones potenciales que tiene el PVC en la industria nacional y no permite aprovechar los beneficios que ofrece el PVC.

VI. METODOLOGÍA

A. PARTE PRÁCTICA

Se experimentará con plastisol ya que para procesar este material no se necesitan métodos de ensayo dinámicos sino estáticos. Esto simplifica y reduce considerablemente el equipo de laboratorio a un horno convencional.

El plastisol también, permite la elaboración de un recubrimiento por esparcimiento, que es la técnica más sencilla entre las comprendidas en el procesamiento de PVC: De no ser así, se tendría que disponer de equipo sofisticado como un molino de dos rodillos o un plastógrafo para simular los procesos de calandrado, extrusión e inyección.

1. FORMULACIÓN DE UN PLASTISOL: Se deberá seguir la fórmula básica para compuesto de PVC para recubrimiento por esparcimiento:

PVC pasta	100 partes
DOP	80 partes

2. DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL PLASTISOL: Se elabora un recubrimiento por esparcimiento, con el compuesto de PVC formulado en el punto 1. Este recubrimiento se somete a la acción del calor en un horno y se monitorea su degradación térmica.

3. ESTABILIZACIÓN TÉRMICA DEL PLASTISOL: Este compuesto de PVC formulado en el punto 1. se estabiliza térmicamente con un estabilizador a base a bario y zinc. Comercialmente está disponible el IRGASTAB BZ 555, recomendado por CIBA-GEIGY, S.A. (ACC). El plastisol estabilizado se somete a degradación térmica siguiendo el punto 2.

4. ELABORACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO DE PVC: Aplicando el método de esparcimiento directo se elaborara un recubrimiento de PVC, utilizando el plastisol del punto 1 y tela 100% nylon. Este recubrimiento se somete a la acción del calor para lograr su acabado final.

VII. RESULTADOS

A. FORMULACIÓN DE UN PLASTISOL

100 gramos de pasta de PVC y 80 de DOP se vertieron en un bicker de 500 ml. El bicker se colocó en un recipiente con agua y hielo. La mezcla se agitó durante 15 minutos con un agitador rápido del tipo de disco dentado "cowles" (Fig.14). La temperatura de la mezcla fue de 30°C. Se obtuvo una mezcla homogénea de color blanco. Posteriormente se dejó reposar por 4 horas para permitir que el aire ocluido saliera y se consiguió su maduración.

B. DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL PLASTISOL

Sobre una pieza de vidrio de 10 cm de largo, 5 cm de ancho y 1 mm. de grosor se colocaron 5 gramos de plastisol. Se esparció con una espátula y formó una película uniforme. Esta película se sometió a un temperatura de 180°C durante 20 minutos en un horno convencional. Posteriormente a intervalos de 10 minutos se cortó una porción de dos centímetros de la película hasta 50 minutos. Se guardaron las piezas cortadas durante la degradación para su posterior comparación.

C. ESTABILIZACIÓN TÉRMICA DEL PLASTISOL

A la mezcla obtenida en el punto A se le agregó 2 gramos de IRGASTAB BZ 555 y se agitó de nuevo por 15 minutos siguiendo el mismo procedimiento. Se procedió a formar una película de plastisol de la misma forma que en el punto B.

Esta película se sometió a una temperatura de 180°C durante 20 minutos. Posteriormente a intervalos de diez minutos se cortó una porción de dos cm. de la película hasta 50 minutos. Las piezas obtenidas se compararon con las piezas procedentes del punto B.

C. ELABORACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO DE PVC

Sobre una pieza de diez cm. de largo por diez de ancho de tela 100% nylon se vertieron cinco gramos de plastisol procedente del punto C y con una espátula se esparció hasta cubrir la tela en su totalidad. Esta tela se sometió a una temperatura de 180°C durante 50 minutos y posteriormente se dejó enfriar hasta que volvió a temperatura ambiente.

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. FORMULACIÓN DE UN PLASTISOL

Fue adecuado utilizar una mezcla total de 180 gramos, porque se logró una buena homogenización en 15 minutos utilizando un agitador rápido. Fue muy importante que la agitación de la mezcla se realizara en un recipiente con agua y hielo porque se evitó que comenzara el proceso de degradación térmica del plastisol. Fue necesario dejar reposar la mezcla por cuatro horas porque durante la agitación formó muchas burbujas.

B. DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL PLASTISOL

El método que se utilizó para monitorear la degradación térmica del plastisol permitió observar el efecto del calor sobre las características del plastisol. Principalmente se observó un cambio en el color a partir de los 20 minutos y un cambio drástico en el color a los 30 minutos (anexo 1).

C. ESTABILIZACIÓN TÉRMICA DEL PLASTISOL

El IRGASTAB BZ 555 tiene muy buena compatibilidad con el plastisol porque se observó una mezcla homogénea. La adición del IRGASTAB BZ 555 no cambió el color de la mezcla. Se logró un efecto estabilizante en el plastisol cuando se sometió a degradación térmica porque el cambio en el color se prolongó considerablemente en la degradación térmica del plastisol. Se observó un cambio en el color a los 30 minutos y un cambio drástico a los 50 minutos (anexo 1).

D. ELABORACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO DE PVC

El método de recubrimiento por esparcimiento permitió elaborar una tela recubierta de PVC. La estabilización térmica del plastisol con IRGASTAB BZ 555 permitió someter al recubrimiento de PVC a la acción del calor durante 50 minutos para lograr su acabado sin observar cambios en el color originados por la degradación térmica. (anexo 2).

IX. CONCLUSIONES

A. FORMULACIÓN DE UN PLASTISOL

La pasta de PVC y DOP son compatibles, forman una mezcla homogénea. La formulación de un plastisol es posible a partir de la mezcla de pasta de PVC y DOP usando un agitador rápido del tipo de disco dentado "Cowles".

B. DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL PLASTISOL

El calor tiene un efecto negativo sobre el plastisol. El principal efecto del calor que se puede observar es un cambio de color del plastisol. El cambio de color del plastisol es proporcional al tiempo de degradación térmica. El cambio de color del plastisol no permite su aplicación y uso.

C. ESTABILIZACIÓN TÉRMICA DEL PLASTISOL

El IRGASTAB BZ 555 estabiliza térmicamente al plastisol. La adición de IRGASTAB BZ 555 en el plastisol prolonga el cambio de color originado por degradación térmica. El uso de IRGASTAB BZ 555 permite la aplicación y uso del plastisol.

D. ELABORACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO DE PVC

La estabilización térmica del plastisol utilizando IRGASTAB BZ 555 y el método de recubrimiento por esparcimiento permite la elaboración de un recubrimiento de PVC a nivel de laboratorio. El acabado final del recubrimiento se logra sometiendo el recubrimiento a una temperatura de 180°C por 50 minutos. Durante este tiempo no se observa ningún cambio de color en el plastisol.

X. RECOMENDACIONES

A. FORMULACIÓN DE UN PLASTISOL

Para la formulación de un plastisol se recomienda dejar reposar la mezcla de pasta de PVC y DOP por un período de tiempo mayor a cuatro horas. Será recomendable dejarla reposar por 24 horas para que el aire atrapado durante la agitación, salga totalmente.

B. DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL PLASTISOL

Las recomendaciones hechas anteriormente en la formulación del plastisol ayudarían a formar una película de plastisol más uniforme antes de su degradación térmica. Se recomienda hacer cinco películas de plastisol en forma separada sobre la correspondiente pieza de vidrio. Esto facilitaría la toma de muestras durante la degradación térmica del plastisol y reduce el manejo de la película de plastisol en intervalos de diez minutos. La muestra de la película degradada sería mayor y permitiría una observación más apropiada de la degradación térmica del plastisol.

C. ESTABILIZACIÓN TÉRMICA DEL PLASTISOL

Las mismas recomendaciones de la degradación térmica del plastisol, son válidas para este punto. Se recomienda experimentar con tres diferentes dosis de IRGASTAB BZ 555. Se recomienda experimentar con 1.5 partes, 2.0 partes y 2.5 partes de estabilizador por ciento de pasta de PVC. Esta experiencia sería muy interesante para optimizar el efecto estabilizante del IRGASTAB BZ 555.

D. ELABORACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO DE PVC

Es recomendable usar otro tipo de tejido más permeable para la elaboración de un recubrimiento de PVC. Se recomienda tela 100% algodón en lugar de 100% nylon. Esto ayudaría a formar un recubrimiento de mayor grosor y uniformidad.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Anderson, D. Y D. McKenzie. 1970. *The mechanism of the Termal Stabilization of Polyvinyl Chloride with Metal Carboxylates and Epoxy Plasticizers. 7th IUPAC Microsymposium on Makromolecules.*

Andreas, H. y M. Reichardt. 1990. *Termal degradation and stabilisation of PVC. Ciba-Geigy Marienberg Gmbh., Alemania*

Batzer, H. y L. Friedrich. 1979. *Introduction to macromolecular chemistry. John Wiley & Sons, Second Edition. Inglaterra.*

Ciba-Geigy Marienburg GMBH. 1971. *Manual of PVC-Additives. Ciba Geigy Marienburg GMBH., Alemania*

Gardner, S. 1975. *Organic Chemistry. Harper & Row publishers, E.E.U.U.*

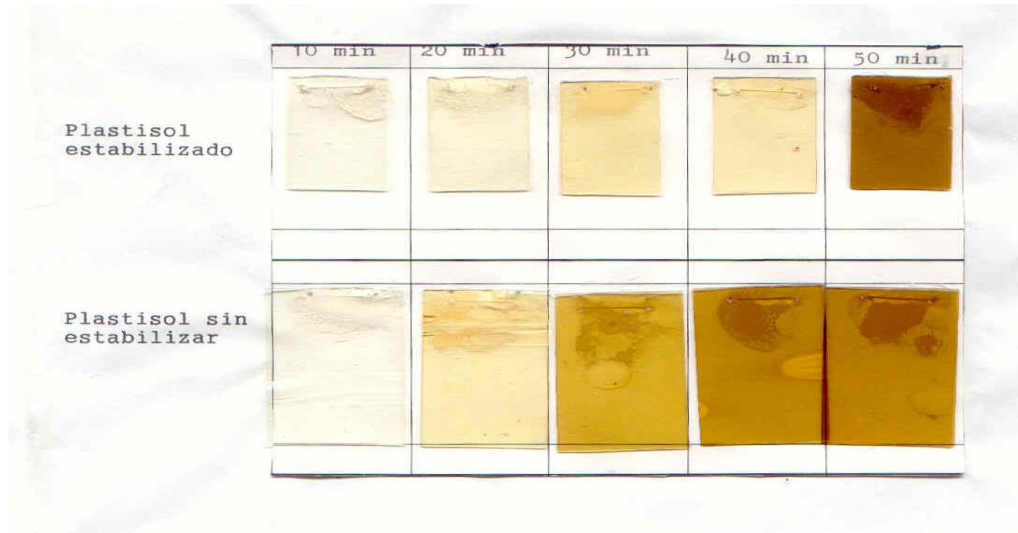
Gili, E. 1990. *Coloración de materias plásticas. Centro español de plásticos, España.*

Moore, H. Y D. Kibbey. 1987. *Materiales y procesos de fabricación. Editorial Limusa, S.A. de C.V., Primera edición, México.*

Roberts, J., Stewart, R. y Caserio, M. 1971. **Organic Chemistry. WA Benjamin, Inc. E.E.U.U.**

XII. ANEXOS

13.1 Comparación de la estabilización térmica con la degradación térmica del Plastisol



13.2 RECUBRIMIENTO DE PVC

