

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



OBTENCION DE TELAS PLASTICAS DE CLORURO
DE POLIVINILO POR LOS METODOS DE EXTRU-
SION-LAMINADO.

T E S I S
Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO
P r e s e n t a

JUAN MANUEL CONDE PEREZ

CARLOS SILVA Corderos

1 9 7 7



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA
CLAS: TESIS 1977
ADD: M.T. [REDACTED] [REDACTED]
FECHA: _____
PROC: _____

MT 100



QUIMICA

PRESIDENTE: PROF. JULIO TERAN ZAVALETA.

VOCAL: PROF. HECTOR SOBOL ZASLAV.

Jurado asignado originalmente:

SECRETARIO: PROF. FERNANDO ITURBE HERMANN

1er. SUPLENTE: PROF. ANTONIO REYES CHUMACERO.

2o. SUPLENTE: PROF.A.MARGARITA GONZALEZ TERAN.

Sitio donde se desarrolló el tema: TELAS PLASTICAS EXTRUIDAS S.A.

SUSTENTANTE JUAN MANUEL CONDE PEREZ

CARLOS SILVA CARDENAS

ASESOR QUIM. JULIO TERAN ZAVALETA.

A MIS PADRES

...DUEÑOS DEL MERITO QUE ESTO
REPRESENTA, POR EL APOYO, AMOR
Y DEDICACION QUE EN TODO MOMENTO
ME HAN BRINDADO.

A MI ABUELITA MARIA,
CORRESPONDIENDO A LA CON-
FIANZA DEPOSITADA EN MI.

A MIS HERMANAS FLOR, MARTHA Y -
ROSA ESTHER, CON TODO EL CARIÑO
QUE LES TENGO, Y A MI CUÑADO --
LUIS.

A MIS MAESTROS

COMPAÑEROS Y AMIGOS.

I N D I C E

	Pág.
PROLOGO.	
CAPITULO I.....	3
1.- Generalidades sobre plásticos.	
2.- Materias primas.	
3.- Polimerización en masa.	
4.- Propiedades del cloruro de polivinilo.	
CAPITULO II.....	23
1.- Variables del proceso.	
2.- Equipo.	
3.- Extrusión del cloruro de polivinilo.	
4.- Producto terminado.	
CAPITULO III.....	51
1.- Orientación.	
2.- Producción de telas plásticas.	
3.- Control del proceso.	
4.- Acabado.	
CONCLUSIONES.....	84
BIBLIOGRAFIA.....	87

PROLOGO:

El procesamiento del cloruro de polivinilo por el método de extrusión laminado, para la formación de telas plásticas, es el método que en el presente trabajo pretendemos tratar, y, si no representa, la última novedad en la amplia gama, en lo que a procesamiento de plásticos se refiere, desde luego constituye uno de los métodos que ha recibido mucho impulso en la presente década, debido a las grandes cantidades del material operado, a consecuencia de la creciente demanda que tanto en la industria, como en las necesidades de la vida actual, han suscitado la inmensa variedad de artículos producidos en esta forma.

Intentaremos desarrollar el tema con la finalidad de lograr una visión general de este método, para lo cual, haremos al iniciar el trabajo, una pequeña cita histórica, que nos introduzca después a los orígenes del proceso, lógicamente seguiremos con el concepto de lo que es el plástico y datos de su incumbencia, a nuestro juicio, importantes.

Presentaremos a continuación, la procedencia de la materia prima, su obtención y características, que serán indiscutiblemente decisivas en los resultados que se obtengan.

Finalmente se procederá, a analizar los dos métodos básicos que completen nuestro objetivo: la extrusión y el la-

minado, con sus consecuentes problemas, ventajas, dificultades y beneficios.

También se incluye una reseña sobre detalles de los implementos, que en forma manifiesta, contribuyen al logro de un mejor cometido.

Esperamos que este trabajo, estimule y contribuya a aumentar el interés, que el lector tenga hacia este tipo de proceso, y, sería satisfactorio que pudieramos ampliar el concepto o aclarar interrogantes, que pudieran tener las personas que se inclinan por el método de extrusión laminado, puesto que ellas son, a las que pretendemos ayudar con los problemas que en la práctica se les presentan.

Como hemos mencionado, nuestra meta es pues, lograr -- una mejor visualización de las nuevas técnicas de laminado lo gradadas en el mundo, y, su adaptación en nuestra industria, de ser lo que presentamos algo que no alcance a satisfacer los -- requerimientos de nuestros lectores, esperamos que sea una -- guía que pueda patentizar nuestro objetivo.

CAPITULO I

GENERALIDADES.

La historia de los plásticos comienza aproximadamente desde hace 100 años; y la industria del laminado nació hacia 1911, con el llamado laminado fenólico, que consistía en la aplicación de calor y presión a una pieza de cartón impregnada de resina, posteriormente se laminaron piezas de gran resistencia, con la aparición de las resinas de urea-formaldehído, y de poliéster, que también originaron el laminado a baja presión, y otros métodos de laminado.

Antes de adentrarnos en el proceso del que nos ocuparemos, es necesario hablar de una manera generalizada de los plásticos y ubicar el lugar que entre ellos corresponde al cloruro de plivinilo.

Los plásticos pueden ser divididos en dos grupos, con base en su comportamiento al calor, los cuáles son: termofijos y termoplásticos.

El nombre de termoplásticos se deriva de la propiedad que éstos tienen, de poderse fundir, dar forma y endurecer, - repetido número de veces, sin perder sus propiedades; pero su principal característica es la de estar compuestos de moléculas lineales con pocos o ningún enlace cruzado. En los materia

les termofijos ocurre todo lo contrario, ya que estos consisten inicialmente de moléculas lineales, que por calentamiento, forman irreversiblemente una red de enlaces cruzados, dando un producto final, duro y fuerte, son en general más resistentes al calor que los termoplásticos.

Para la formación de productos terminados, los plásticos pueden procesarse solos, como en el caso del poliestireno, polimetilmetacrilato, y el polietileno en las películas transparentes, pero generalmente son modificados en un paso inicial de su procesado, por la adición de plastificantes, estabilizadores, cargas, colorantes y pigmentos los cuáles dan las propiedades deseadas para su uso en un proceso posterior.

Los plastificantes se agregan, usualmente para mejorar la capacidad de procesado, aumentando la flexibilidad, y para proteger el producto terminado contra la humedad y la degradación química.

Las cargas mejoran las propiedades físicas, entre las más usadas figuran, el asbesto, la mica, el corcho, las fibras de algodón y de vidrio, los carburos metálicos y el grafito.

Los colorantes y pigmentos se agregan para dar color al producto final, en ocasiones los pigmentos funcionan también como cargas.

En el procesamiento de un plástico, también son utili-

zados, estabilizadores, protectores térmicos, lubricantes, mo
dificadores de flujo, protectores contra degradación por ata-
que de luz ultravioleta, antioxidantes, abrillantadores, anti-
comburentes, fungicidas, antiestaticos, y otros como: solven-
tes volátiles y no volátiles, agentes dispersantes, diluyen-
tes, protectores de calidad y modificadores de viscosidad.

Plastificantes:

Estos compuestos son ésteres que se adicionan a las re
sinas para darles propiedades plásticas, por lo que puede de
cirse que es la parte más importante en la producción del --
plástico primordialmente, puesto que de ella depende la flexi
bilidad o dureza del material; dichas propiedades varían pro-
porcionalmente a la cantidad de plastificante. Teniendo como-
base la composición por cada cien partes de resina, agregando
de 50 a 60 partes de plastificante pueden obtenerse productos
rígidos utilizables en la producción de envases de alta resis
tencia, discos fonográficos, etc; agregando de 70 a 80 partes
de plastificante se obtienen compuestos semirígidos, que se -
utilizan en la fabricación de mangueras, tubos, suelas, taco-
nes, forros, etc. y, con 150 partes de plastificante por cada
100 partes de resina se obtienen compuestos suaves que se ---
aplican en la fabricación de zapatos, suelas, películas, empa
ques y una infinidad de usos.

Estabilizadores.-

Otras sustancias imprescindibles en los plásticos, son los estabilizadores.

Una de las principales causas de la degradación de un compuesto plástico, en nuestro caso el PVC, es la acción del calor, y este es necesario aplicarlo en la extrusión y laminado del compuesto; aunque no existe una teoría satisfactoria, que explique el mecanismo de esta degradación, por su semejanza con la realidad, sin embargo, es aceptada aquella que nos dice, que al aplicar calor a un compuesto, éste deja en libertad al cloro, el cuál se combina posteriormente con un átomo de hidrógeno, formando así cloruro de hidrógeno, el cuál actúa como un catalizador en la degradación del compuesto, por ésto, la función de un estabilizador, es en sí, la de combinarse con el cloro que queda en libertad para evitar que se forme el ácido clorhídrico. Para el desempeño de esta función son empleados casi siempre compuestos de plomo que al combinarse producen cloruro de plomo, compuesto de color blanco, que proporciona al PVC una buena apariencia.

Una desventaja de los compuestos de plomo es que son tóxicos, y el uso de ellos está restringido para productos de PVC, en donde no van a ser empacados, alimentos, medicinas, u otros artículos ingeridos por las personas. El empleo de los mencionados estabilizadores de plomo, tiene supremacía en la

fabricación de:

Compuestos para forros aislantes de conductores eléctricos

Compuestos rígidos, no transparentes.

Compuestos semirígidos y suaves no transparentes.

PVC espumado.

Otra desventaja de los estabilizadores de plomo es la - de tornar opacos a los compuestos de PVC, quienes en contacto con iones azufre, causan el ennegrecimiento del compuesto que - los contiene.

Entre los principales estabilizadores utilizados se encuentran:

Sulfato dibásico de plomo.

Sulfato tribásico de plomo.

Estearato dibásico de plomo.

Carbonato básico de plomo.

Clasificados como segundo grupo, se encuentran los estabilizadores de cadmio, estaño y zinc, usados en los compuestos no tóxicos, entre ellos están:

Sales organometálicas de bario, cadmio y zinc.

Laureato de cadmio o bario.

Mercaptida de dibutil estaño.

Di n-octil Estaño

Di iso-octil de ácido tioglicólico

Combinaciones de estearatos de cadmio y zinc.

Iso-octil tiogliconato de dibutil estaño.

La proporción con que se aplican los estabilizadores en los compuestos es variable, por cada 100 partes de resina, encontramos las siguientes proporciones: el sulfato tribásico de plomo se aplica en una proporción de 3 a 5 partes en compuestos plastificados, y de 5 a 10 partes en compuestos no plastificados, mientras que el estearato dibásico se aplica de 1 a 5 partes para la misma cantidad, los estabilizadores del segundo grupo se aplican en proporciones de 5 a 10 partes.

Lubricantes:

Los lubricantes son sustancias no compatibles con los ingredientes del compuesto, cuya función primordial es darle fluidez al compuesto, para facilitar la labor de moldeo. Este aumento de fluidez, tiene relación con el abatimiento de la adhesión, en la etapa de enfriamiento del compuesto fundido, con las paredes metálicas del equipo, como son: paredes y aspas de las mezcladoras, tolvas, barriles, cilindros de extrusores, boquillas o labios de los dados. Se aplican en una proporción que va de 0.25 a 2 partes, por cada 100 partes de resina.

Existen lubricantes internos y externos, los primeros, son los que actúan sobre la superficie del compuesto de PVC; y los externos, son los que actúan en la superficie de las fuentes de flujo, de estos últimos, los más usados son los jabones

metálicos, como estearato de calcio, de plomo, de bario, de zinc, de aluminio, de litio, o de magnesio, los cuáles dan al compuesto también, una cierta estabilidad térmica.

Otras substancias adicionadas a las resinas, son las cargas, que le proporcionan propiedades tales como: magnéticas o de poder aislante; los pigmentos que dan color al compuesto, y que deben ser compatibles con la resina y los demás ingredientes del compuesto, los modificadores de flujo que producen un cuerpo uniforme a las masas fundidas, y, substancias antioxidantes para la protección de aquellas resinas que son expuestas a la intemperie.

MATERIAS PRIMAS:

La materia prima para el proceso de extrusión, es el cloruro de polivinilo, el cuál es recibido por el moldeador en forma de gránulo, polvos o pequeños cubos. Para moldear con estos materiales, un artículo con determinadas formas y dimensiones, es necesario inducir un flujo, por la acción del calor y presión, el calor es considerado por el hecho de aumentar la plasticidad de una masa, como un agente plastificante, una elevación de la temperatura induce un flujo plástico; sin embargo, como en un párrafo anterior se ha mencionado un plastificante es aquella substancia que reduce o llega a vencer la fuerza de atracción intermolecular y, que cuando es agrega

do a una masa de polímero, le disminuye el punto de reblandecimiento así como la fuerza de tensión y compresión, mientras que la extensibilidad, flexibilidad, y la habilidad de absorber impactos, se incrementan.

El cloruro de polivinilo es un plástico de considerable rigidez, lo que implica que los atributos requeridos para el plastificante que se le adicione, son:

- 1.- Que sea compatible con él.
- 2.- Que no sea volátil, generalmente, ésto es logrado puesto que la mayoría de los plastificantes son líquidos de alto punto de ebullición, cuya presión de vapor a la temperatura ambiente es despreciable.

El papel de un plastificante es el rompimiento de la monotonía de la configuración del polímero, y la neutralización de las fuerzas cohesivas, por medio de la eliminación del efecto de los grupos polares, los cuáles deben ser compatibles, o sea, deben poseer grupos moleculares que no presenten una marcada repulsión con la presencia de los grupos polares del polímero, actúa a nivel intramolecular disminuyendo las fuerzas de Van der Waals.

El primer plastificante usado fué el fosfato de tricresilo, pero debido a que producía una intoxicación crónica que llega a manifestarse por una parálisis convulsiva según sea el

grado de fosforismo, se ha deshechado usualmente se emplea, el ftalato de dioctilo o el ftalato de dinonilo, por ser inofensivos.

Al plastificante se le aplica antes de ser usado un control de calidad en sus especificaciones, la densidad relativa, generalmente a 25°C, el índice de refracción, el índice de acidez representado por el % de ácido ftálico el cuál se determina haciendo la titulación del plastificante mediante hidróxido de sodio en presencia de fenoftaleína, teniendo la muestra disuelta en alcohol metílico, el punto de inflamación que como especificación general, para ser un buen plastificante, debe estar arriba de 200°C, esta prueba se realiza, colocando el plastificante en una cápsula de metal con un termómetro y calentando por medio de una resistencia eléctrica, se hace pasar una flama por la superficie del plastificante y se anota la temperatura a la cuál se inflaman los vapores del mismo.

El color se ajusta comparándolo con el agua por medio de un aparato con una escala de 5 para el agua, hasta 100; se verifica también el porcentaje de volátiles, pesando una muestra que se introduce a una estufa durante una hora a 150°C, para que después de 30 min. en el desecador, se efectúe otra pesada.

El PVC, materia prima base, en el proceso de extrusión-laminado que nos ocupa, puede ser fabricado por diferentes procesos: suspensión, emulsión, en masa; considerándose importante, la procedencia del cloruro de polivinilo utilizado, ya que el método empleado en su elaboración influye en sus características físicas, se describe a continuación, el método de polimerización en masa.

La polimerización en masa consta de dos pasos que son, - una prepolimerización del monómero, y una polimerización final; en ella, el cloruro de vinilo se polimeriza sin agua, bajando los costos de producción, eliminando algún tratamiento posterior de agua, o eliminación de ella por filtración o secado del polímero.

En la polimerización en masa la transferencia de calor se efectúa por conducción y convección. El cloruro de vinilo presenta ventajas técnicas en este proceso ya que se evapora a presión atmosférica, (su viscosidad es muy baja, de 0.2 cp.) a -14°C .

La polimerización en masa se efectúa a temperaturas entre 40° y 70°C con el cloruro de vinilo en equilibrio, con una presión de vapor de 5 a 13 kg/cm^2 . El control se realiza manteniendo en equilibrio constante, las presiones de vapor durante la reacción. Los sobrecalentamientos locales causan -

destilaciones parciales del monómero absorbiéndose, hasta que nuevamente se alcance el equilibrio.

La transferencia de calor no presenta problemas mientras exista suficiente cloruro de vinilo para permitirla y mientras exista una superficie libre disponible para la recondensación del monómero.

La velocidad instantánea de polimerización dependerá de la habilidad del monómero para transferir calor.

Al iniciarse la polimerización hay suficiente monómero disponible y la superficie libre controla la reacción, cuando ésta avanzada, el monómero es quien controla. Aunque el control térmico de la reacción de polimerización no es una barrera para la misma polimerización en masa; para la producción del PVC por este método surgieron problemas, debido a que comienza con una fase líquida y continúa en una fase sólida tipo talco, el monómero y el polímero tienen diferentes pesos específicos, por lo que los reactores para este método son especiales.

La prepolimerización se realiza en un recipiente vertical de acero inoxidable, con una turbina de hojas planas. Por medio de mamparas se logra una disminución del vórtice. La velocidad de agitación es alta, con este fluido de baja viscosidad, no es necesario someter toda la carga a esta fase de prepolimerización, ya que con la mitad de la carga es suficiente para generar "semillas" para producir una resina de estructura sa --

tisfactoria en la segunda parte de la reacción. Esta fase dura aproximadamente tres horas dependiendo de la temperatura y de la cantidad de catalizador; en ella se forma un precipitado el cuál se nota sólo hasta que se ha polimerizado del 4 al 12% -- del cloruro de vinilo. Este precipitado desuelve cantidades -- considerable de cloruro de vinilo, aproximadamente de 5 a 6 -- partes de cloruro de vinilo, por una parte de PVC.

En la segunda fase los gránulos formados, o mejor dicho, preformados, crecen por polimerización posterior del monómero, parte del cuál se encuentra ya disuelto en el polímero. Con -- una concentración del polímero de aproximadamente del 20% ya -- no existe más monómero libre fuera de los gránulos, o sea, en -- la fase líquida. Cuando la polimerización continúa, es un me-- dio esencialmente polvoso, y el equipo debe estar diseñado para ese trabajo. Se usan autoclaves horizontales fijas, con una ro-- tación muy lenta. Dado que la segunda etapa es cuatro veces -- más larga aproximadamente, que la primera, es posible alimentar varias autoclaves en un sólo prepolimerizador. Los reactores se cargan aproximadamente a la mitad de su capacidad para lograr -- una mezcla efectiva. La agitación es lenta, se inicia con 20- a 30 revoluciones por minuto, y al final se tienen de 5 a 10 -- RPM.

La resina que sale directamente de los autoclaves, re--

quiere únicamente, ser tamizada para remover las partículas -- gruesas. El cloruro de vinilo que no reaccionó es recuperado -- inmediatamente, y, es apto para volver a ser usado sin tratamiento posterior.

La prepolimerización se efectúa hasta que se forman grá nulos con suficiente cohesión para mantener su integridad y poder actuar como "semillas" en la segunda parte de la polimerizaci ón. Esto requiere aproximadamente un 7% de la conversión, generalmente trabaja con la mitad del monómero total. Con conversiones mayores del 15%, se usa un condensador de reflujo, para aumentar el área de transferencia de calor, y la conversión se controla midiendo el calor generado (1 kg. de cloruro de vinilo cede 460 kcal.).

El prepolímero se envía por gravedad junto con el monómero residual a la autoclave, y el catalizador necesario para la segunda etapa.

El catalizador se consume y la reactividad prácticamente se termina cuando se alcanza la conversión deseada. Esto -- permite el almacenamiento total del prepolímero en caso de que su traspaso a la autoclave tenga que tardarse.

Los reactivos son llevados rápidamente a la temperatura de reacción alimentando agua caliente en la chaqueta del reactor.

El calor de reacción de la segunda etapa es removido en la chaqueta de la autoclave por enfriamiento de la flecha del agitador y en el condensador de flujo.

Las hojas del agitador están curvadas hacia adentro, para prevenir sacudidas cuando penetre el polímero y rotan a una distancia mínima de la pared de la autoclave y a muy bajas revoluciones, hasta que se alcance la conversión final que se haya prefijado, y, que se determina por la cantidad de calor que se genera en la reacción.

Dependiendo del PVC que se fabrique, el tiempo empleado en esta parte es de 8 a 12 horas. La reacción se para desgasi-ficando monómero que no ha reaccionado, el cuál condensa y se recircula al tanque de almacenamiento, se aplica vacío a la autoclave, después de lo cuál, la resina se vacía con agitación a transportadores neumáticos, hacia la sección de cribado para remover las partículas de tamaño grande.

Las resinas fabricadas por la polimerización en masa -- pueden emplearse en extrusión, moldeo, aplicadas sobre superficies, inyección, laminado, etc. Las resinas en masa son homogéneas en lo que se refiere a forma y tamaño de gránulos y a su porosidad, las resinas de masa y estructura uniforme son gránulos de 0.5 a 1 micras.

Una ventaja importante del PVC obtenido por este método

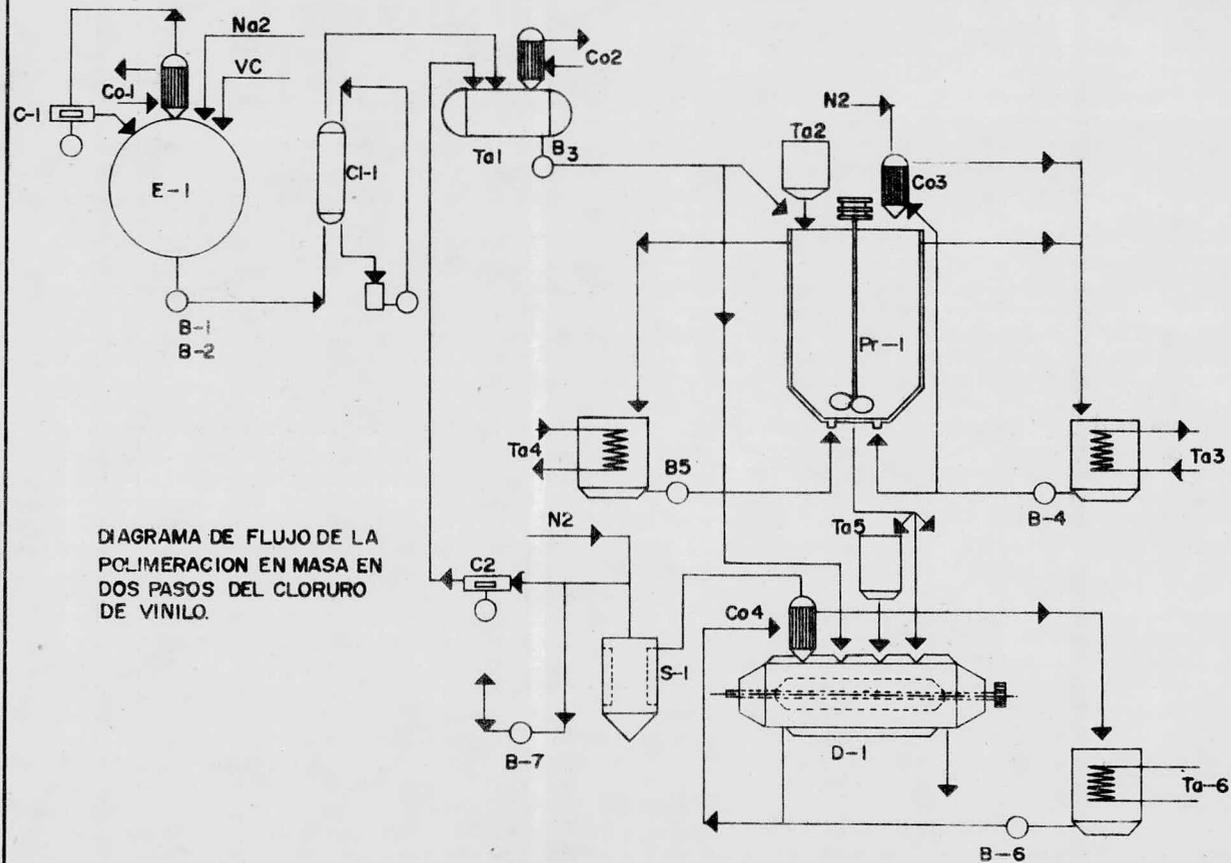


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA
POLIMERACION EN MASA EN
DOS PASOS DEL CLORURO
DE VINILO.

FIG. 1

NOMECLATURA DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE LA POLIMERIZACION
EN MASA EN 2 PASOS DEL CLORURO DE VINILO

- B-1 — BOMBA DE VC
- B-2 — " " "
- B-3 — " " " CON MANOMETRO
- B-4 — " " RECIRCULACION DEL AGUA DEL PREPOLIMERIZADOR
- B-5 — BOMBAS DE AGUA DE REFRIGERACION
- B-6 — BOMBA DE RECIRCULACION DE AGUA DEL POLIMERIZADOR
- B-7 — " " VACIO
- C-1 — COMPRESOR DE VC
- C-2 — " " DESGASIFICACION
- Co-1 — CONDENSADOR DE LA ESFERA DE VC
- Co-2 — " " VC
- Co-3 — " " REFLUJO
- Co-4 — " " " DE AUTOCLAVE
- Cl-1 — COLUMNA DE LAVADO DE NaOH
- D-1 — DISTRIBUIDOR ROTATORIO
- E-1 — ESFERA MONOMETRO
- Pr-1 — PREPOLIMERIZADOR
- S-1 — SEPARADOR DE AIRE DE COMPRESION
- Ta-1 — TANQUE DE ALIMENTACION DE ALMACENAMIENTO DIARIO DE PVC
- Ta-2 — " DOSIFICADOR DEL CATALIZADOR DEL POLIMERIZADOR
- Ta-3 — " DE AGUA CALIENTE
- Ta-4 — " " " DE REFRIGERACION
- Ta-5 — " DOSIFICADOR DEL CATALIZADOR DEL POLIMERIZADOR
- Ta-6 — " DE AGUA

es su alta porosidad, por lo que absorbe rápidamente los plastificantes y tiene un nivel de saturación alto.

El PVC en masa funde fácilmente cuando está procesado sin plastificante, los tubos de PVC en masa, rígidos pueden ser extruídos, con la acción de tan sólo 1.5% de estearato de calcio, y 0.6% de cera sintética como estabilizador. En una relación de extrusión muy alta y sin degradación térmica, el PVC en masa tiene claridad sin rival cuando se usa en botellas, hojas y películas. El proceso de polimerización en masa, es altamente selectivo, no dando productos secundarios. Usa cantidades despreciables de catalizadores para obtener un producto pero sin secar, y, lo que es más importante, la polimerización se efectúa sin ningún solvente emulsificador, lo que significa que el producto no contiene impurezas, como agentes emulsificantes o tensoactivos. Este proceso es económico ya que no tiene materiales inertes como agua y solventes que deben ser separados del producto final.

Esta transparencia impartida por ausencia de agentes -- emulsificantes o tensoactivos es muy importante.

PROPIEDADES DEL PVC:

El PVC es un polvo blanco, ligeramente cristalino, inodoro, insípido, con una densidad aparente 0.25 a 0.70 g/cm³, y un peso molecular que varía de 50 000 a 150 000 u.a. que tiene

efectos en la resistencia al impacto y en su alargamiento y es fuerza a la tensión.

Según el peso molecular del PVC, puede ser utilizado pa ra los siguientes fines, las resinas de alto peso molecular se usan para tubería flexible, material eléctrico, mangueras, y - películas calandriadas; las resinas de peso molecular intermedio se usan en películas y placas, artículos recubiertos y pro ductos rígidos y, las resinas de bajo peso molecular son usa-- das en recubrimientos de lecho fluidizado, discos fonográficos, etc.

Los polímeros de PVC, se descomponen a temperaturas ele vadas (220°C o más), con la luz, formando cloruro de hidrógeno, la velocidad de deshidrogenación aumenta con el peso molecular decreciente; y la cloración de las dobles ligaduras disminuye- la velocidad de deshidroclorinación.

El PVC presenta las siguientes propiedades:

Densidad relativa	1.2 a 1.6
Volúmen específico	de 0.036 cm ³ /g a 0.227 cm ³ /g.
Claridad	Transparente.
Posibilidad de colorearse	Ilimitada.
Índice de refracción	1.544
Calor específico	0.32 a 0.51 cal g/°C
Conductividad térmica	3.9 a 4 x 10 ⁻⁴ $\frac{\text{Cal}}{\text{seg} \times ^\circ\text{C} \times \text{cm}}$

Resistencia al calor continuo	87.7 a 100°C
Velocidad de ignición	Muy lenta.
Resistencia a la tensión	352.1 kg/cm ² a 633.8 kg/cm ²
% de alargamiento	2 a 500
Humedad relativa	50 % a 25°C
Resistencia dieléctrica a 60 ciclos	0.8 a 2.6 x 10 ¹⁴ OHM/cm.
Constante dieléctrica a 60 - ciclos	6.5 a 12
Constante dieléctrica a 1000 ciclos	5 a 6
Factor de potencia a 60 ciclos	0.08 a 0.12
Factor de potencia a 1000 ciclos	0.10 a 0.16
Efecto de la luz	Ninguno
Efecto de envejecimiento	Sin ser afectado.
Efecto del agua a) Fría	Ninguno
b) Caliente	Reblandecimiento
Absorción de agua (24 horas)	0.05%
Efectos de los ácidos	
a) Débiles	Ninguno
b) Fuertes	Ninguno
Efecto de los álcalis	
a) Débiles	Ninguno
b) Fuertes	Ninguno

Efecto de los solventes orgánicos

Soluble en cetonas y ésteres.-

Algo soluble en la mayor parte de los aceites. No soluble en gasolina.

Efecto de los metales incluidos en el plástico.

Inerte.

Propiedades del Moldeo

Moldeabilidad buena

Temperatura de moldeo por compresión

104 a 176°C

Encojimiento por moldeo

0.57 cm/cm

Tendencia al flujo frío

Ligera.

CAPITULO II

EXTRUSION

La extrusión es un proceso ampliamente usado en la industria de los plásticos, para fundición continua, mezclado, moldeo etc; lo mismo que sus combinaciones posteriores, con templados, labrados o laminados.

Por este método, se procesan grandes cantidades de material termoplástico, que tienen formas constantes como tubos, - películas, láminas, canales y filamentos así como recubrimientos de alambres para usos eléctricos.

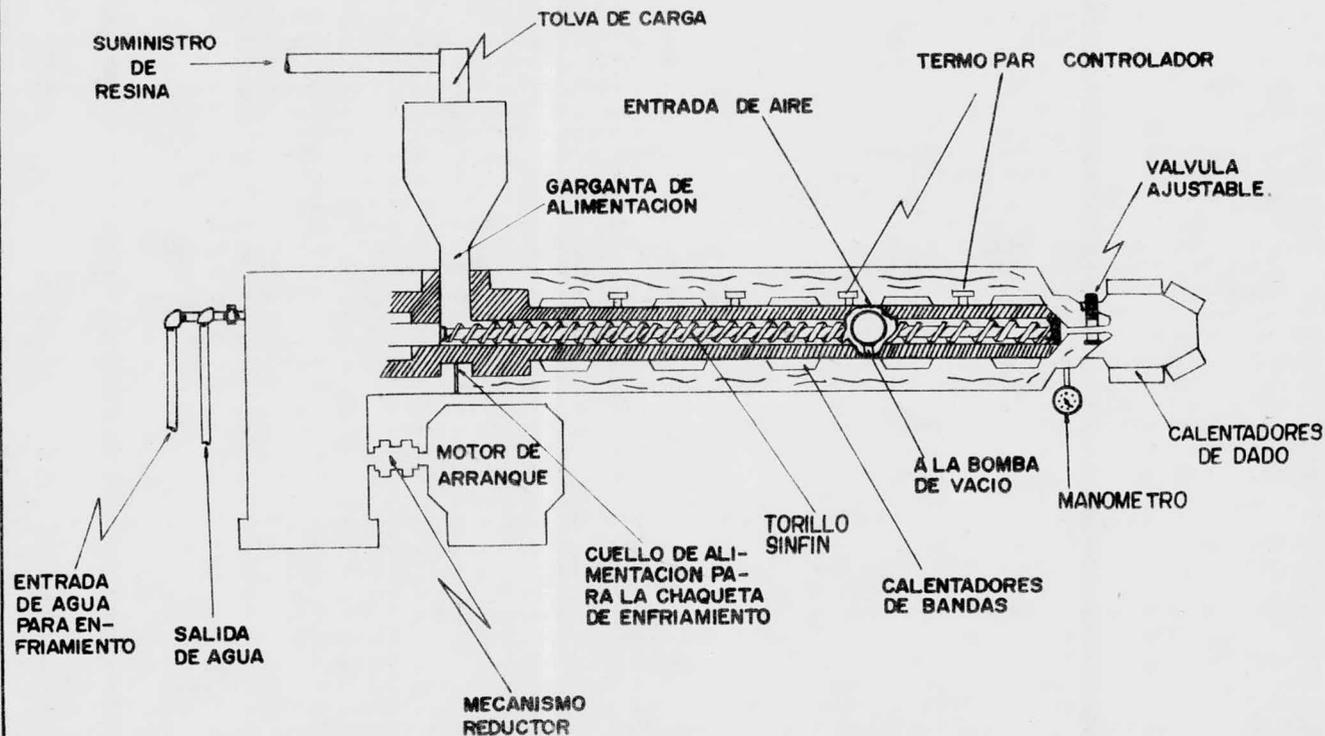
Un extrusor típico, consiste de un tornillo rotacional, - encerrado en un cañón cilíndrico, un dado, y en combinación a éstos, un sistema de calentamiento y de enfriamiento, con el propósito de elaborar una mezcla térmicamente homogénea con -- una velocidad de flujo constante.

Los extrusores pueden ser de tornillos sencillo o múltiples. El extrusor de tornillo sencillo es el más común por su flexibilidad, resistencia, simplicidad y bajo costo. La figura 2 muestra un extrusor de tornillo sencillo. Los extrusores multitornillos se usan cuando se desea una dispersión de los compuestos, de sus plastificantes, llenadores, pigmentos, estabilizadores; de ellos, los de doble tornillo son los más comunes. Existe también un extrusor hidráulico, que es usado ampliamente por los fabricantes de materiales metálicos y sus productos

derivados; las máquinas de este tipo suelen ser de mayor capacidad que las de tipo tornillo, y con una construcción más simple, sin embargo se utilizan menos en la industria de los plásticos, debido a que dichos extrusores no presentan un flujo constante de forma indefinida, sino necesitan nueva carga después de cada operación; son más bien adaptables al proceso de extrusión en húmedo.

Los extrusores llamados de tornillo alimentador sin fin, son los que generalmente se emplean, en ellos, un tornillo girando lentamente, conduce el material plástico, que se alimenta constantemente en forma de gránulos, polvo o tiras, desde una cámara de carga, hasta el molde. Este material es calentado parcialmente por contacto con las paredes de la cámara, puesto que el mayor incremento de su temperatura es debida a la energía desarrollada por la fricción del tornillo sin fin, y, cuando se ha obtenido una consistencia moldeable, pasa a través de una boquilla o dado, para de ahí pasar a una banda transportadora.

Los extrusores son clasificados por su capacidad, por el diámetro interno de barril, y por la relación que exista entre su longitud con respecto al diámetro (L/D), el barril, es el cilindro hueco en donde va la parte torneada del tornillo, en base a su diámetro interno, los tamaños estándar de extrusores sencillos son de 3.81, 5.03, 6.3, 8.8, 11.4, 15.24, 17.7,



COMPONENTES ESENCIALES DE UN EXTRUSOR CON TORNILLO SENCILLO

FIG. 2

20.3 cm., el barril es diseñado generalmente para resistir --- hasta 704.2 kg/cm^2 de presión; al resultado de dividir la parte volada del tornillo entre el diámetro interno del barril, - es lo que se llama específicamente relación L/D, con la aclaración de que no es una medida absoluta, puesto que en ocasiones, la parte volada del tornillo, se toma hasta el embudo de alimentación, generalmente la relación L/D es de 24:1, pero también son aceptables las relaciones desde 16:1 hasta 30:1.

El tornillo es sin duda el componente más importante de la máquina de extrusión; deben mantener una holgura, muy ajustada con la línea del cilindro, porque los plásticos deben mantener un movimiento frontal hacia la boquilla, y no quedar --- atrapados en la cámara calentadora, donde están expuestos a -- descomposición debido a las elevadas temperaturas para plásticos, que al calentarse en contacto con acero, pueden liberar - gases corrosivos, los tornillos deben protegerse con unos forros especiales en dureza y resistentes a la corrosión, y, para protegerlo contra averías mecánicas, se recomienda que antes de poner el motor en marcha, la cámara debe de estar a la temperatura de extrusión, y ablandar el material antes de que gire el tornillo, generalmente, los tornillos dañados demuestran que se ha operado con un plástico demasiado frío.

Muchos tornillos son taladrados para permitir el calentamiento o enfriamiento interno. La perforación a lo largo del

tornillo prevee un cambio brusco de temperatura en la mezcla, por causa del calor transferido a través del tornillo; el enfriamiento de la sección de alimentación depende de las características de la mezcla que se alimente, procurando no alterar mucho la temperatura de dicha mezcla.

Las aleaciones comunmente usadas para los tornillos son las de acero 4140, y para las aspas, depende del uso que se les pretenda dar; es normal que a ambos se les incremente su dureza por medio de templado o incrustaciones de materiales resistentes al tipo de uso, como podría ser la Estelita 6. Muchos tornillos son cromados, para evitar la corrosión, aparte de impartirles mayor resistencia y facilitar su limpieza.

La geometría de los tornillos varía considerablemente. Cada sistema de resinas tiene sus propios requerimientos. El tornillo de acero más usual tiene una distancia entre dos enrolladas sucesivas del lomo, o entre cada aspa, llamada distancia de acarreo o paso, que es, equivalente al diámetro interno del extrusor. El diámetro externo de las aspas está usualmente supeditado al diámetro interno del barril, y, a las tolerancias de la máquina. El desgaste radial es usualmente de 0.18 a 5.08 mm/cm del diámetro del tornillo.

Los tornillos varían desde 2.5 cm de diámetro para pequeños extrusores de laboratorio hasta 30.5 cm. siendo el de 6 cm., el tipo de tornillo más común. Las máquinas de moldeo por ex--

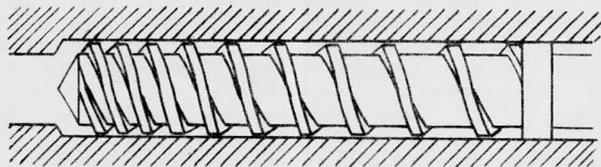
trusión trabajan mejor con tornillos de diámetro pequeño, porque alcanzan una mayor uniformidad en su acabado y reducen al mínimo la potencia necesaria, sin embargo en los procesos de extrusión del caucho se emplean extrusores con tornillos de mayor diámetro.

La anchura de la rosca también varía, y generalmente es de 3 a 6 mm. Aunque no es posible determinar con precisión la velocidad del tornillo, en condiciones óptimas, los impulsores de éstos debieran de ser de 10 a 40 RPM, en este aspecto se tiene una gran versatilidad porque pueden conseguirse velocidades variables motoreductores de corriente continua.

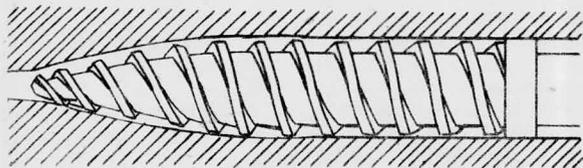
~~Existen diferentes tipos de tornillos para forzar al material plástico hacia la abertura de la boquilla, y, no es ciertamente poca la controversia promovida en torno al mejor tornillo utilizable.~~

En general, el tornillo acepta en su extremo alimentador un material basto, granular, de pobre conducción calorífica, que debe ablandarse por la acción de las zonas calientes y la fricción del tornillo rotativo conforme el material es cortado, compactado y movido hacia la boquilla.

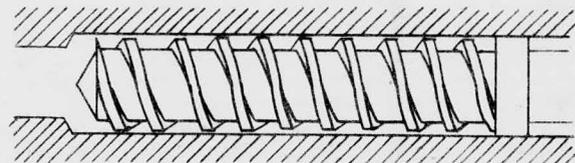
Antes de que llegue el plástico al final del tornillo, debe haberse ablandado, mezclado y haber expulsado al aire completamente, objetivos que se facilitan disminuyendo progresivamente el paso del material, a medida que se aproxima a la salida.



A



B



C

TIPOS BASICOS DEL TORNILLO DEL EXPULSOR

FIG. 3

da. Existen tres tipos básicos para estos fines:

- a).- El tornillo de diámetro constante pero con paso variable entre anillos.
- b).- Tornillo con diámetro variable, estrechándose hacia la salida.
- c).- Tornillo con espacios uniformes entre anillos y diámetros gradualmente descendentes. (Fig.).

Los tipos "A" y "C" son los más usados en las máquinas extrusoras de plásticos, debido a la dificultad de construir el tipo "B".

Los tornillos en general, constan de dos secciones. la de alimentación y la de medición, un diseño muy usado es el de paso constante, que posee un canal, profundo en la sección trasera de alimentación, y que va disminuyendo de fondo hasta la sección de medición. El canal del tornillo en la sección de alimentación es diseñado con el suficiente volumen; para compensar el cambio de densidad de la resina, y asegurar una alimentación suficiente en las secciones de transición y medición una buena sección de medición actúa como un regulador de flujo cuando se le suministra una mezcla de plástico completamente homogénea, el flujo de material puede cesar de inmediato si el material es suministrado prematuramente al embudo de alimentación, puesto que se adhiere al tornillo, la relación de fondo del aspa de la sección de medición o reguladora de la alimentación es conocido como la relación de compresión.

Las cribas están situadas después del tornillo, y sirven para quitar partículas gruesas de la mezcla, son una serie de tamices de metal, que tienen como finalidad detener o atrapar partículas extrañas; en el extrusor también se tienen válvulas reguladoras, para permitir una mayor libertad de operación y procesar una mayor variedad de materiales a diferentes velocidades, las válvulas pueden ajustarse también para minimizar el flujo, sin llegar al corte total.

La extrusión de algunos materiales es facilitada por un torpedo o dilatador, que mediante calor adicional que recibe de las paredes del cilindro, distribuye el material en capas de sección más delgadas. El grupo tornillo torpedo es el más efectivo para plásticos rígidos, pero para algunos compuestos como el polietileno y el cloruro de vinilo, un tornillo actúa satisfactoriamente sin la ayuda de un torpedo.

El torpedo puede formar parte integral del tornillo o ser un miembro separado antes o después de los pesos de alimentación, de formar parte integral del tornillo, debe de tener una superficie bien pulida que establezca un buen contacto entre el material y las paredes del cilindro, de lo contrario, siendo estacionario debe evitarse taponamientos de material, otra función que hasta cierto punto lleva a cabo el torpedo es el enderezado de material que haya podido adoptar formas de tirabuzón por la acción del tornillo.

TIPO DE DADO CUBIERTO CON AJUSTE
DE ANCHURA.

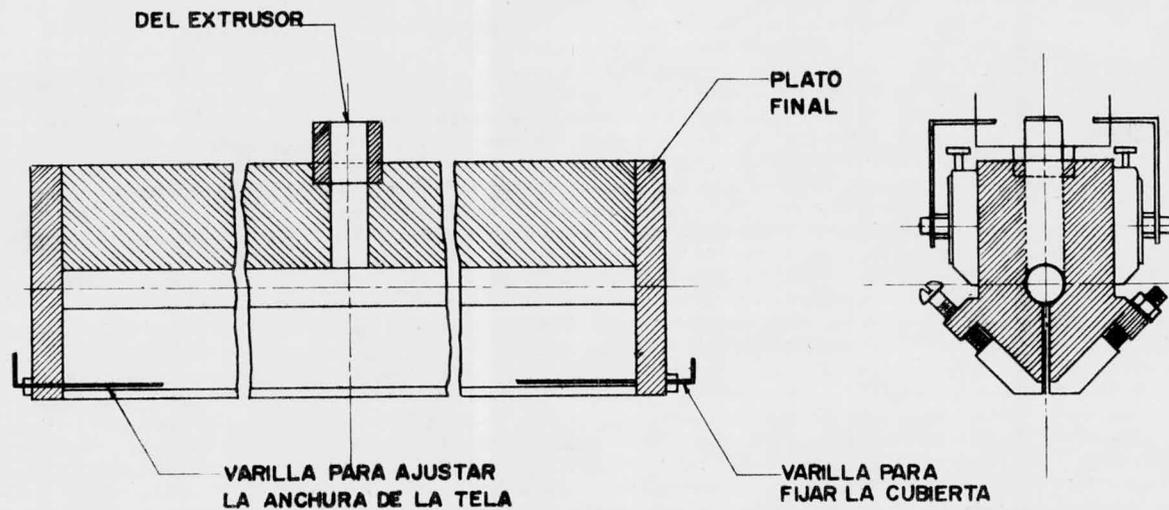


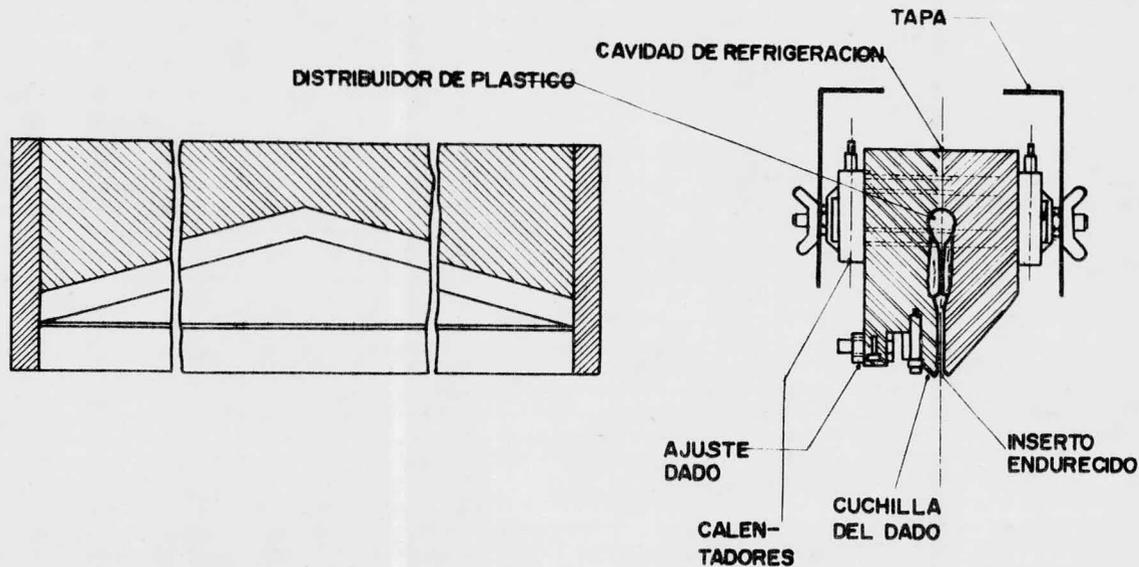
FIG. 4

Los dados son también una parte importante en el proceso de extrusión, en ellos la mezcla fundida y homogénea, adquiere las formas y dimensiones requeridas, para usos posteriores. Dependiendo de su uso pueden ser ranurados y tubulares. Para el proceso de extrusión laminado, son los dados ranurados los que se emplean; éstos según las modificaciones que presentan, se dividen en dos categorías. Un dado de la primera categoría es el tipo bocallave, mostrado en la fig. 4, llamado así por su sección transversal, en él, a lo largo de un canal circula el flujo de plástico fundido para ser distribuido a lo ancho del dado, por medio de un sistema circular que alimenta a su vez, la estrecha ranura por donde se emite una membrana continua; éste podría modificarse, colocando la alimentación en un extremo, lo cual no es recomendable por las variaciones que presenta la membrana emitida.

La fig. 5 muestra un tipo de dado de película de la segunda categoría, llamado de cubierta suspendida o tipo cola de pescado, que es empleado con grandes ventajas y muy diferentes modificaciones para películas enrolladas con un enfriamiento previo.

Proceso de Extrusión:-

En este proceso la alimentación es proporcionada generalmente en el centro, sobre el barril. Las aberturas de alimentación son generalmente redondas, con un diámetro igual al



DADO TIPO CUBIERTA SUSPENDIDA PARA ENFRIAR AL ROLLO
DE PELICULA.

FIG. 5

diámetro del tornillo en ocasiones también son ovaladas o rectangulares. El embudo para controlar la alimentación puede ser cromado y con un núcleo de enfriamiento para prevenir un reblandecimiento prematuro del plástico, lo cuál ocasiona problemas de endurecimiento. Entre el barril caliente y el regulador de enfriamiento se colocan aislantes térmicos para evitar un intercambio de calor. La propulsión del extrusor debe ser proporcional a la regulación de su velocidad y a una potencia suficiente para satisfacer los requerimientos de la extrusión.

Para evitar cualquier aglomeración o taponamiento de la mezcla en el extremo alimentador de la tolva, debido al calor del cilindro, la sección de alimentación debe de estar refrigerada por agua, también es conveniente que el paso de la tolva al tornillo sea de alimentación tangencial, por abajo del tornillo hasta el hueco del cilindro.

Después del arranque, cuando la resina comienza a ser procesada, es conveniente mantener al dado a una temperatura inferior, al punto de fusión de la resina, para permitir que antes de que el plástico comience a reblandecerse haya un tiempo de precalentamiento.

Si en el arranque, la presión de la mezcla en el extrusor, excede a los 352.1 kg/cm^2 , o alrededor del 80% de la capacidad normal de presión del extrusor, la máquina podría pararse y el tiempo de calentamiento sería alargado.

Para minimizar la presión de la mezcla, el arranque del extrusor debe hacerse a bajas velocidades del tornillo, que regularmente son de 10 a 20 RPM, las revoluciones del tornillo pueden aumentarse gradualmente hasta que el extrusor emite material por el dado y se alcanzan las velocidades óptimas de producción. En ese momento las temperaturas de la camisa y el dado pueden ajustarse a las temperaturas normales de operación.

Los perfiles de temperatura del barril usualmente dependen de la máquina, tipo de resina, velocidad de extrusión, etc. Sin embargo, generalmente para resinas de alto punto de fusión se requieren perfiles que van decreciendo, o sea, que en la parte posterior de la camisa la temperatura sea alta, y en el dado sea baja.

Las medidas de la temperatura y la presión de la mezcla son necesarias en la extrusión para la seguridad y control del proceso. En su forma más simple, para el control se utiliza un pirómetro con su elemento sensor correspondiente que indica la temperatura, y un manómetro que nos indica las presiones de trabajo. Para el mejoramiento del control se utiliza un transductor que nos amplifique la señal de las presiones aceptables.

Para la medición de la temperatura es conveniente también, utilizar termómetros infrarrojos para plásticos, con el fin, de proporcionar un índice de temperatura de la mezcla sin que haya contacto con la misma después de su salida del dado.

Para el calentamiento pueden seguirse dos procedimientos. El primero consiste en aplicar el calor requerido, durante la operación continua, que se necesita para reemplazar las pérdidas por radiación y conductividad del mismo dado. Una consideración fundamental es, la de que, la temperatura de fundición correcta, es lograda atrás en el extrusor donde la transferencia de calor es más efectiva y la homogenización térmica de la mezcla es posible.

De ahí en adelante, en el adaptador y en el dado, el objetivo es calentar solamente para mantener térmicamente estable la mezcla, hasta que es llevada a la configuración deseada para la extrusión.

El segundo procedimiento es aplicar el suficiente calor a la mezcla para mantenerla fundida hasta que llegue al dado.

El tipo de calentador más económico es el calentador con resistencia tipo banda. De ellos se encuentra una gran variedad en el mercado. Comunmente se emplean los calentadores tipo cartucho, los cuales son insertados en perforaciones del extrusor, son calentadores con vida más larga y pueden ser utilizados con densidades de potencias altas.

La última innovación en cuanto a calentamiento de dados en el calentamiento por inducción que reporta una elevación de temperatura más rápida y contribuye a un mejor control de tamaño (espesor), pero es también extremadamente voluminoso para -

su construcción y más caro.

Todos estos calentadores son colocados sucesivamente por zonas con un termopar y un controlador que indica la temperatura de cada zona. Las lecturas obtenidas a través del termopar son tomadas como base para la operación del extrusor. El único tipo fundamental y transferible de información de temperatura es la temperatura de reserva obtenida con un termopar diseñado especialmente para el fundido y que va a través de la pared -- metálica donde se encuentra la corriente de plástico fundido.

Las zonas de calentamiento del extrusor se encuentran en un intervalo desde 71°C, 82°C, y 132°C al final del dado. La temperatura recomendada para el dado es de 160°C, el cuidado del control de temperatura es muy importante.

Para obtener una velocidad máxima de extrusión es necesario que el gradiente de temperatura sea mantenido por toda la máquina, a todo lo largo de ella, con una velocidad de tornillo tal que libere al compuesto y mantenga la cabeza de presión. El gradiente de temperatura y la velocidad del tornillo varían con el tipo de compuesto que son extruídos. Es importante pasar suficiente cantidad de agua fría a través del centro del tornillo, a altas velocidades del mismo, para eliminar cualquier posibilidad de rompimiento térmico de la estructura del compuesto.

Para tener un mejor control de la temperatura a la sali-

lida del agua, puede adicionarse un indicador de ella al conjunto de reguladores.

Algunas veces se utiliza una chaqueta de enfriamiento para el dado, en la extrusión de vinilo, esta chaqueta podría tener de 20.3 a 25.3 cm. de largo y alrededor del 50% más largo que el dado de extrusión.

En la extrusión de materiales plásticos se practica el calentamiento por zonas. El material avanza desde una zona de temperatura baja, a una alta, anterior a la abertura de salida.

Las piezas presentan un color mate muerto cuando la temperatura, mejora el brillo y la facultad de mantener la forma, hasta que sea excesiva, que es, cuando tiende a formarse burbujas internas y las piezas expulsadas tienen mayor tendencia a combarse. Con mayores velocidades de tornillo las burbujas tienden a formarse a menores temperaturas, lográndose mejores resultados cuando se calienta gradualmente al tornillo en toda su extensión. Esto es el propósito fundamenal del calentamiento por zonas: mantener uniforme la temperatura.

Puesto que la temperatura de extrusión está generalmente por encima de las presiones de vapor corrientes, en las plantas de moldeo, suelen usarse aceite caliente u otro líquido como agente transmisor, en torno al cilindro de la máquina extrusora.

Durante las operaciones de moldeo por extrusión el calor

friccional desarrollado por el tornillo, forma parte del calor necesario para la plastificación del compuesto.

El aceite puede actuar como refrigerante en el caso de que la temperatura se exceda de lo normal. Algunos materiales requieren mayor temperatura de extrusión, que la del líquido circulante. El cilindro calentado eléctricamente no es capaz de cumplir con estas condiciones.

Existen divergencias de opinión entre los constructores, en cuanto a los métodos óptimos para localizar las zonas caloríficas, longitud y las temperaturas. A causa de las muchas variables que entran en juego no es fácil que un diseño posea las condiciones necesarias de producción.

La conductividad térmica del material, tanto en forma granular como compacta y el calor específica, decide la rapidez con que ha de calentarse el material.

Puesto que los calores específicos entre plásticos no difieren gran cosa, unos de otros; la conductividad térmica es, sin duda la que decida en primer término. Algunos factores físicos determinan a sí mismo, la rapidez de calentamiento del material en el cilindro, siendo los mas notables, el espesor del material calentado en un momento dado, y, la acción mezcladora que contribuye en gran manera a la energía expansiva.

Aunque ciertas máquinas operan con un tornillo que recibe el calor por conducción del plástico, y el calor friccional desarrollado por el mismo en su movimiento, los calentadores internos proporcionan un control adicional.

Cuando se dispone también de acoplamientos para este fin, existen dificultades mecánicas para llevar un fluido calentado al tornillo giratorio. Indudablemente es más fácil usar calentadores eléctricos, controlados térmicamente, que establezcan las condiciones necesarias a las conexiones eléctricas a través de un dispositivo apropiado.

Es igualmente importante mantener fría la parte alimentadora del tornillo, para permitir que escapen los gases volátiles.

Otro principio fundamental para reducir la resistencia friccional desarrollada entre el tornillo o la camisa del cilindro y el material, es la elevación de la temperatura superficial, lo que baja la viscosidad del material en contacto con la superficie caliente, y, disminuye a su vez el esfuerzo para el arrastre.

El proceso de extrusión es termomecánico, y se requieren dos instrumentos básicos para el control de la máquina, uno para la temperatura y otro para la velocidad del tornillo. Es usual que se tenga una buena parte de autoregulación en el motor que proporciona el movimiento, si está realmente sin---

cronizado, el control automático de la velocidad del tornillo, no es tan importante como el control automático de la temperatura, que es esencial para la calidad y economía de la producción. Un método ideal de control automático, podría ser la medida de la presión en el punto más crítico, desgraciadamente - las propiedades físicas de los plásticos orgánicos no permiten leer la medida de la presión para transmitirla al controlador e indicador.

Muchos son los factores del problema del control de la temperatura para que éste sea eficiente, entre ellas tenemos:

- 1).- Localización de los elementos sensores de la temperatura.
- 2).- Baja conductividad térmica de los materiales.
- 3).- Masas relativas de la máquina en los materiales en tránsito.
- 4).- Calentamiento por presión y por trabajo mecánico.
- 5).- Secciones transversales del material en flujo.
- 6).- Velocidad del fluido y tiempo de calentamiento.
- 7).- Método de calentamiento y localización.
- 8).- Características de la viscosidad del material.

Este orden no tiene importancia para el proceso pero es importante para la discusión de la instrumentación.

Entonces es impráctico aplicar un elemento sensor primario, por ejemplo un termopar, directamente al flujo del material, podría éste colocarse en la pared del cilindro, hacien-

do tan buen contacto como fuera posible; así, cuando se realice la medición de la temperatura en la superficie interna de la pared, en el punto seleccionado, no será muy diferente ---- (quizá 10°C), de la marcada por el termopar, debido a la buena conductividad de las paredes de acero, pero debemos suponer -- que la temperatura de flujo del plástico, tendrá otro valor -- dependiendo de las condiciones de una zona en particular; el -- punto de ebullición, el mezclado y la sección transversal del -- plástico al comenzar a calentarse.

La temperatura de gran parte de la pared, en contacto -- con la cuál fluye suavemente el plástico, es controlada automá -- ticamente por el termopar, y, cualquier cambio de la temperatu -- ra del metal, repercute en cambios ya sea en el calor aplicado por calentamiento eléctrico, o bien en la velocidad del aceite, temperatura del mismo aceite de calentamiento, o en la canti -- dad de trabajo mecánico del plástico convertido en calor, que -- en un caso dado puede ser la causa de esa variación de temperatu -- ra.

Las pérdidas de calor varían con la temperatura ambiente, temperatura de enfriamiento del fluido, corrientes de aire y -- la temperatura de la pared o chaqueta del extrusor.

De aquí se deduce que el mejor resultado se tendría con una fuente estable de calor, es decir una línea de voltaje estable o combustible a presión, y en ellos se mantiene una pér-

dida de calor limitada especialmente en los medios de enfriamiento, ya sea, controlando automáticamente o ajustando manualmente.

Independientemente de la clase o calidad de control empleado, es importantísimo el control de las pérdidas de calor.

Un control sencillo de temperatura, en un extrusor grande, es inadecuada, particularmente cuando las velocidades de calentamiento y enfriamiento no son constantes, porque en el extrusor se procesan materiales diferentes. Debido a la importancia de este control las máquinas modernas están equipadas con controles adicionales en las zonas de calentamiento y enfriamiento, aún en el dado.

La localización y selección de los métodos de control, no solamente permite la selección del mejor diseño y calidad de una máquina, sino también mejora la operación, acortando el tiempo necesario para establecer los gradientes propios de temperatura, velocidad y presión, que de realizarse por medio de un control manual, resultaría operaciones difíciles.

El más común de los sistemas automáticos, es el de apagado-encendido, o de dos posiciones, en él, la temperatura es tan grande como lo permite un punto de referencia, el suministro de calor es mantenido, hasta llegar a dicho punto, y se suspende, en el momento de excederlo, es la acción típica de un simple termostato, y, realmente es la manera en que se con-

trola el proceso que tiene fluctuaciones constantes de temperatura dentro de un intervalo que depende ya, de la sensibilidad del controlador y de la marcha del sistema.

En el controlador, mientras que la temperatura del termopar, o del bulbo del termostato, dentro de un intervalo determinado, las temperaturas de las paredes del cilindro cerca del punto de instalación, podrían hacerse variar menos, la variación de temperatura en las zonas de material sería mínima. De esta forma si el controlador es suficientemente sensible y está instalado así en los períodos de altas y bajas velocidades de calentamiento, no se tendrían también variaciones grandes en la temperatura del material, que puede obtenerse entre límites razonables.

Este control de apagado-encendido es válido cuando los límites del intervalo permisible para el suministro de calor es pequeño. Si el mayor suministro de calor es el usado para un calentamiento arriba del punto de partida, entonces se requiere un control de alta sensibilidad.

En el control proporcional, algunas veces llamado control de aceleración, el responsable del control es el cambio de calor suministrado en proporción con la pérdida de temperatura del punto de control. En este método la temperatura permanece fija, a menos que sea perturbada de lejos lo suficiente para hacer que el controlador actúe después de una presión, la

temperatura es regresada al punto de control sin descarga, o con muy pequeña descarga, dependiendo del ajuste del instrumento, para prevenir una fluctuación continua. Se necesita una -- sensibilidad muy alta para poder detectar perturbaciones de -- temperatura muy pequeñas. Este es el método convencional más -- simple para ser usado en el extrusor, en donde, la demanda de calor durante la operación es más bien constante.

El control proporcional en un extrusor es nulo, si las -- cantidades de calor varían dentro de límites amplios.

Algunos controles proporcionales son modificados por la -- adición de un aparato llamado freno automático, que corrige -- cambios grandes en el calor suministrado, y, lleva incluido un segundo aparato, llamado control de velocidad, para evitar cam -- bios en la velocidad de alimentación.

El sistema en uso varía entre límites amplios de comple -- jidad y costo de equipo, desde el simple termostato para el ci -- lindro, hasta un pequeño termómetro estratégicamente colocado. Para completar el control automático, se requiere solamente -- una inspección ocasional por el operador. En el último de los -- casos, se recuerda, que para la temperatura de la zona más ca -- liente, es útil supervisarla durante la operación.

Defectos que presenta el PVC en el proceso de extrusión:

A lo que parece, los posibles defectos en el moldeo de -- plástico por extrusión son mayores que en el moldeo por inyec --

ción.

Aunque pueden usarse los mismos termoplásticos, debe tenerse en cuenta, que el proceso de extrusión se verifica continuamente, mientras que el de inyección, es más bien de alimentación por ciclo. Los principales defectos en extrusión son:

- a) Superficie basta o mate: En este caso el motivo principal es una temperatura de extrusión demasiado baja. Si se desarrolla considerable arrastre en la boquilla antes de que el material salga al exterior, la acción cortante que sigue puede causar una superficie defectuosa. Este defecto suele producirse igualmente si el material está a una temperatura demasiado baja. La situación puede ser remediada rápidamente si se -- mantiene alrededor del tornillo alimentador, controles de temperatura en el cabezal, separados de los del cilindro.
- b) Huellas de Fluido y manchas desiguales en la superficie:- Si las manchas aparecen alargadas y paralelas - una a otra, como por ejemplo, una serie de canales, - su origen está en la boquilla, que quizá esté rayada, en cuyo caso, nada en el proceso podrá eliminar este defecto. Pero si las marcas son desiguales, pueden - obedecer a la existencia de humedad o de impurezas - en el material de moldeo.

La humedad contribuye también a la formación de burbujas y deben eliminarse por medio de secado previo.

- c) Marcas discontinuas en la superficie:- Si los platos- y cribas dejan de homogenizar el fluido y si desarrolla insuficiente presión posterior entre el final del tornillo y la boquilla de extrusión (condición que -- alivia el torpedo) aparecerán marcas de desigualdades cuya frecuencia dependerá del tiro del tornillo y velocidad extrusora. Un tornillo debidamente diseñado - que ejerza mayor presión cuando el material se acerca a la boquilla seguida por una mezcla de líneas de --- fluido, no dejará marca discontinuas. También aliviará la situación una alimentación uniforme en la tolva y, que no se produzcan interrupciones mientras que el material circula hacia la entrada de la boquilla.
- d) Burbujas:- La aparición de burbujas que se presentan en secciones gruesas y se observan cuando la pieza es transparente generalmente son de origen gaseoso, debido a insuficiente presión posterior del troquel, y, - excesiva temperatura de extrusión, seguida por una -- caída brusca de presión. También pueden obedecer a contracciones volumétricas en las piezas gruesas moldeadas.
- c) Marcas pustulosas superficiales:- Pueden ser causadas

por excesivas temperaturas de extrusión y control defectuoso de la cinta transportadora. La temperatura adecuada para cada velocidad del tornillo y perfil especial de la boquilla montada en la máquina, ha de determinarse por tanteo. Por una parte se produce una superficie áspera y, por otra parte resulta otra superficie llena de ampollas. Entre estas dos temperaturas extremas se halla la región en que se producirá una superficie suave y de buen brillo. El plástico ha de reblandecerse al salir de la boquilla, estando presto a solidificarse, pero lo bastante fluido en la misma, para que no se formen defectos superficiales o haya excesiva fricción.

- f) Dimensiones desiguales de las piezas:- El primer ajuste que debe examinarse, es la velocidad de la cinta.- En general, se pueden aumentar o disminuir las dimensiones exteriores, de acuerdo con la velocidad de la cinta transportadora. Con esta modificación se altera simultáneamente toda la sección moldeada. No es posible, incrementar algunas dimensiones y disminuir otras a menos de rectificarse el troquel.
- g) Contaminación:- Si el material es retenido en el cilindro o en el tornillo, o alojado en una posición en que no pueda ser empujado por el material que sigue,-

pueden aparecer marcas indicadoras de descomposición de parte del mismo. Esta es una condición particularmente grave, cuando se trata de material transparente en que a veces pueden observarse el paso del fluido en espiral debido a la acción del tornillo.

La eliminación del material contaminado requiere de una cuidadosa limpieza del tornillo y del cilindro y una comprobación general de que los elementos de la máquina no han sido dañados de forma que den lugar a la acumulación de plástico.

Debe mencionarse, que aparte del proceso de extrusión ya descrito, existen otros métodos, como es el llamado de extrusión cruzada, en el cuál el material fluye en dirección normal al tornillo, o bien en ángulos -- hasta de 45°C; esta técnica es muy usada en el revestimiento de productos con aislantes de caucho o plástico, que se efectúa a gran velocidad y con un enfriamiento antes de enrollar el revestimiento para evitar la tendencia a pegarse.

CAPITULO III

LAMINADO

Ya anteriormente quedó aclarado, que las resinas termoplásticas pueden ser suavizadas por el calor, pero recobran sus propiedades originales cuando se enfrían, las láminas son hojas de material termoplástico, que experimentan en su formación dichos cambios. En ocasiones las láminas pueden ser la combinación, de dos o más hojas de material termoplástico, unidas por un adhesivo o bien una superposición de capas de una resina sintética, impregnando una superficie de otro material al cual puede ser unido, -- por medio de calor y presión para formar una sola pieza, que generalmente es conocida como plástico laminado, el cual puede reblandecerse debido a la naturaleza térmica de su endurecimiento, por despolimerizaciones en su estructura.

El laminado de plásticos se ha dividido en dos grupos, de acuerdo a la presión usada en su manufactura.

El laminado a baja presión que fué un término originalmente aplicado en general a todos los materiales laminados, plásticos y no plásticos, incluyendo al triplay, algunos de éstos fueron hechos por moldeo de impresión, o métodos similares de presión, a presiones menores de 24.6 a 28.1 kg/cm². Con la aparición de las combinaciones relleno-resina, las cuales fueron moldeadas a presiones menores de 28.1 kg/cm², el concepto de laminación a baja presión fué ampliado al incluir estos materiales, ori

ginalmente producidos a presiones más altas.

El laminado a alta presión es aquel que se realiza generalmente con una presión que excede de los 70.4 kg/cm^2 , hasta 84.5 kg/cm^2 ; en casos especiales las presiones son mayores, y pueden llegar a ser hasta de 140 kg/cm^2 .

Las láminas de alta presión difieren en calidad unas con otras, dependiendo de factores tales como los tipos y grados de material usado rellenos o cargas, el tipo de resina usado como impregnador y agente de unión, y las propiedades físicas, químicas, eléctricas y mecánicas del material.

Los productos del laminado son las películas, láminas y telas, y aunque la diferencia entre ellas estriba en el espesor, se considera como algo convencional.

Tipos de orientación en la Laminación:

Las cadenas de polímeros en las telas, se linean en dos tipos de orientación: uniaxial y biaxial. La orientación uniaxial ocurre cuando la formación de cadenas, es en una sola dirección, en la que presentan el máximo esfuerzo a la tensión.

La orientación biaxial u orientación plana por su parte -- ocurre cuando las cadenas presentan formaciones en varias direcciones, comunmente a lo largo de dos ejes en ángulo recto, esto -- provoca una mayor resistencia a la tensión en dirección longitudinal y transversal del plano de la película.

Estas orientaciones deben guardar una cierta proporción o-

balance entre el número de cadenas, en una u otra dirección, y este número debe de igualarse en ambas direcciones para que la resistencia a la tensión en las dos sea igual.

El balance de orientaciones no se observa cuando se pretende aprovechar la resistencia al esfuerzo en una dirección en especial, de algunos materiales, como podrían ser las cuerdas de nylon que se emplean para reemplazar tiras de cuero en las que se requiere únicamente un esfuerzo en la dirección longitudinal.

Acondicionamiento de los compuestos:

Después de entregar los materiales crudos a la planta de extrusión, es frecuente que no estén preparados para ser alimentados a la tolva, la preparación es una operación importante para muchos casos y es generalmente conocido como acondicionamiento.

El control de contenido de la humedad es lo más importante de este material; pero también se incluyen, precalentado, tamaño de partícula, densidad y lubricación.

El precalentado puede tener dos propósitos, uno es el secado y, el otro es incrementar la temperatura a la cuál, el material es alimentado en la tolva, razón por la cual se suministra calor a la máquina.

El contenido de la humedad puede ser controlado para tener una extrusión más suave, libre de algunas imperfecciones, como son: burbujas finas, las cuáles dan una apariencia rugosa. Otra dificultad es el control de las deformaciones en la superficie --

del material, las cuales surgen desde el dado, por lo que la figura o forma de lo extruído tiende a desorganizarse. Estas deformaciones se presentan también cuando hay una marcada fluctuación en la temperatura del material de alimentación en la tolva. El control de contenido de humedad es importante especialmente para --- aquellos plásticos que son higroscópicos, el clima los puede afectar mucho o poco dependiendo del contenido de humedad.

Algunos materiales pueden ser extruídos tal como son recibidos sin secado adicional, si no se exponen a la humedad de la atmósfera por mucho tiempo; antes de ser procesados. La siguiente tabla muestra la cantidad de humedad permisible para varios -- plásticos, y las óptimas condiciones de secado:

CONDICIONES PARA LA EXTRUSION DE CUATRO COMPUESTOS

COMPUESTO	ACETO-CELULOSA	NYLON	POLIETILENO	PVC.
FORMA Y - TAMAÑO.	ESFERAS DE 2.54 cm.	GRANULOS DE - 0.32cm x 0.32cm x 0.64cm.	GRANULOS CUBICOS - DE 0.32cm DE LADO.	CUBOS DE 0.64cm -- 0.79cm O DE ESPECI- FICACIONES REQUERI- DAS.
PLASTIFI- CANTES.	TIPO STANDARD	NO USA	NINGUNO	TIPO RIGIDO NO TI-- PO ELASTOMERICO-FTA LATO, OTROS.
% DE HUMEDAD RE- COMENDADA PARA - EXTRUSION.	MENOS DE 0.5	MENOS DE 0.25	NINGUNO	NINGUNO
EQUIPO DE SECADO.	AIRE CALIENTE A RECIRCULACION.	VACIO O AIRE	NINGUNO	NINGUNO
TEMPERATURA EN °C	82	120	-	-
TIEMPO EN HORAS	2	4	-	-
TEMPERATURA DE EXTRUSION	21 a 32 °C	23 °C	FRIO	FRIO
TEMP. CILINDRO.	162 a 204 °C	-	232-260 °C	164-165 °C DADO TI- PO RIGIDO.
TEMP. BOQUILLA	204 °C	-	232 °C	180-205 °C TIPO --- ELASTOMERICO.
VEL. DE EXTRUSION (PARA UN TORNILLO DE 5.03-6.30cm - DE DIAM).	-	-	-	DEPENDE DE LAS --- APLICACIONES.
ALIMENTACION EN LITROS/HORA.	50	40-80	80-90	20-60

Orientación inducida:

La orientación de tensión inducida, es aquella en donde, las cadenas de polímero desordenadas, son organizadas por un estrechamiento o delineado del material, pasando de un enmarañamiento al azar a un arreglo más ordenado, paralelo a la fuerza de tensión, y cuando el alineamiento de las cadenas se ha logrado, se incrementa entre las mismas una atracción mutua, por lo que dichas moléculas o cadenas estarán en condiciones de proporcionar una fuerza mayor de valencia, que puede ser particularmente grande si las cadenas son simétricas o fuertemente polares, y el desenvolvimiento de las cadenas del polímero da también como resultado un incremento en la tensión y el módulo de elasticidad.

La orientación molecular durante la tensión o esfuerzo se forma de la siguiente manera: por debajo de una cierta temperatura, las cadenas de polímeros son rígidas, sin embargo al llegar a un punto de la temperatura, las cadenas ganan un grado de libertad y resulta posible el desenvolvimiento, por lo que el esfuerzo es aplicable. Hay tres componentes en este proceso, E_1 , que es la deformación elástica instantánea, causada por el valor del ángulo de deformación o por el esfuerzo de unión, el cuál es completamente recobable cuando se retira la tensión; E_2 , que es la deformación molecular de alineamiento causada en la mayoría de las moléculas de arreglo lineal, paralelo a la superficie cuando el material es enfriado, la estructura que se obtiene es el -

mejor arreglo, y E_3 , que es el flujo viscoso que ya no se recobra, debido al desplazamiento de las moléculas.

E_2 , es por lo tanto el componente orientador y el que se desea que sea el mayor componente del proceso de tensión o esfuerzo.

En base a la teoría anterior, algunas reglas generales para la orientación de los polímeros, teniendo en cuenta la tensión, pueden ser establecidos de la siguiente manera:

- 1.- La tensión a la temperatura abajo de la cuál las cadenas adquieren un grado más de libertad, nos dá la máxima orientación, se tiene el mayor esfuerzo a dicha tensión, y el flujo viscoso o sea E_3 , es mínimo.
- 2.- La máxima velocidad de estrechamiento nos puede dar la mayor orientación a una temperatura dada, por lo cual E_3 , -- es más lenta que E_2 , y, ésta a su vez, puede predominar durante estrechamientos rápidos.
- 3.- El más alto porcentaje de esfuerzo nos puede dar la máxima orientación a una temperatura y velocidad de esfuerzo dado.
- 4.- La velocidad máxima de templado, puede preservar la orientación máxima, bajo cualquier condición de esfuerzo o estrechamiento.

Orientación de Películas:

La orientación de películas mencionada anteriormente, cons

tituye un medio de mejorarlas en cuanto a resistencia, dureza, claridad, permeabilidad, así, como de ampliar su alcance y aplicación, es un procedimiento comunmente usado en el tereftalato de polietileno, el cloruro de polivinilo, el cloruro de polipropileno, y algunos compuestos de polietileno.

La orientación puede resultar de cualquier operación en la cuál se causen gradientes en el interior de un material, como la molienda, el moldeo por inyección o la extrusión, en estos casos las moléculas de un plástico son desplazadas a una distribución casual dentro de los órdenes convencionales de arreglos, alineandolas en una dirección determinada.

En la extrusión, la técnica empleada es un estiramiento posterior, en una o dos direcciones, para lograr la dirección pre determinada, arreglo que en ocasiones amerita que el plástico seforce a condiciones violentas. Como ya se mencionó, cuando el estiramiento es en la dirección transversal, resulta una película conocida como uniaxialmente orientada, y cuando aparte del estiramiento en dirección transversal, existe otro en la dirección de las máquinas se obtienen películas biaxialmente orientadas. Una película orientada tiene una tensión al esfuerzo de al menos 105.63 kg/cm^2 como mínimo en la dirección principal de orientación.

En una película con orientación balanceada se presenta una tensión al esfuerzo en su interior de aproximadamente 56.5 kg/cm^2

en cada dirección. En la orientación de un termoplástico intervienen tres fuerzas:

- 1.- La fuerza directora covalente que es la que une las cadenas moleculares, carbón con carbón a la cadena principal o a cualquier otra cadena que esté presente.
- 2.- La fuerza de fricción, que es causada por el roce entre los niveles moleculares.
- 3.- La fuerza de atracción entre las moléculas.

El calor es usado para ayudar a vencer esas fuerzas internas. A temperatura ambiente las energías de traslación y vibración de las mismas moléculas son menores que la suma de las fuerzas de fricción restringidas y las fuerzas intermoleculares. Conforme la temperatura del material se eleva, la energía de vibración de las moléculas se incrementa, creciendo poco a poco la distancia entre los átomos de carbón en el interior de las moléculas, así como la distancia entre moléculas, ésto trae como consecuencia que como aumenta la distancia entre las cadenas, disminuyen también entre ellas las fuerzas de Van der Waals.

Con el aumento de temperatura se alcanza también un punto donde la energía de vibración es suficiente para romper las atracciones intermoleculares. Al alcanzarse este punto una substancia pura en forma sólida, puede ser derretida. Sin embargo en el interior de un material polimérico, hay muchas diferencias entre los pesos moleculares y consecuentemente los puntos de fusión de las

diferentes mezclas de moléculas también varían.

Se usa el término de punto de ablandamiento, para designar a aquella temperatura en la cual un número suficiente de cadenas-moleculares se han aflojado lo necesario para dar lugar a un ---- ablandamiento que es determinado por pruebas standard. Temperatura de transición es la temperatura a la cual son vencidas completamente las moléculas congeladas. Esta temperatura varía substancialmente a partir del punto de ablandamiento observado.

Un termoplástico sin orientar puede ser representado como una masa de arreglos casuales ya que la orientación es el ordenamiento de esos arreglos casuales en las moléculas.

Como ya se mencionó, el estiramiento es el método más comúnmente empleado para esa orientación y éste es aplicado después de haberse calentado el termoplástico a una temperatura en la ---- cuál esté suave. Esta temperatura esta abajo de la temperatura del ---- fluido, a la cual las moléculas pueden resbalar rápidamente cuando el material es sometido a una presión con pequeños estiramientos intramoleculares, generalmente ésto ocurre alrededor del punto de transición.

Cuando un material se estira a la temperatura de orientación, ocurren dos cambios:

- 1.- La dirección en el interior de las moléculas es inducida - para desenvolver el enmarañamiento molecular en el sentido en que el material es estirado.
- 2.- El resultado del estiramiento es una deformación en la ----

cual la fuerza aplicada permanece como energía potencial-recobable, y, al ser retirado el material tiende a adquirir nuevamente su extensión original, debido a su memoria elástica.

La orientación de películas termoplásticas en la dirección transversal puede efectuarse por tres técnicas.

- 1.- Por el estiramiento de una película tubular extruída sobre un rodillo interno.
- 2.- Inflando una película tubular extruída a un gran diámetro con un estrechamiento radial.
- 3.- Pasando una película plana a través de una clavija encuadrada.

La orientación en la dirección de las máquinas es usualmente acompañada por un estiramiento de la película extruída desde los labios del dado, tan rápido como se vaya extruyendo, o bien pasando la película a través de dos o más pares de rodillos, los cuáles están colocados de tal manera que los pares subsecuentes tienen una velocidad mayor que los pares que los preceden.

La orientación uniaxial de películas es particularmente usada para la elaboración de cintas, tiras y artículos similares que requieren únicamente estiramiento en una sola dirección.

El proceso usual para elaborar dichas películas de orientación uniaxial a partir de polímeros de compuestos orgánicos --cristalizables, es el de extruir el polímero fundido, como peli-

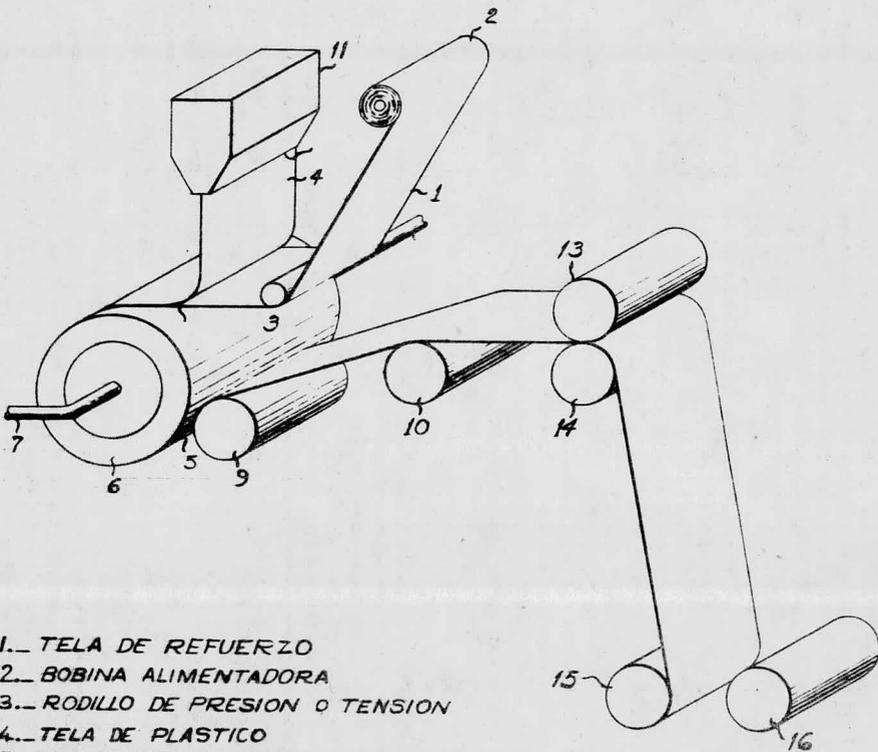
cula, luego se enfría esta película para retener al polímero en su estado amorfo, y se estira en una sola dirección para inducir en ella la orientación que se desee. No es fácil la orientación de películas orientadas en dirección uniaxial del polímero de -- que se trate, ya que debe de alcanzarse una temperatura de transición de segundo orden, arriba de la temperatura ambiente, porque muchos polímeros son rápidamente enfriados en su estado amorfo y permanecen así hasta ser estirados en una orientación uniaxial.

Una vez teniendo el polímero en forma de películas orientadas, se presentan dificultades para regresarlo nuevamente a su estado amorfo.

La orientación uniaxial puede ser de dos tipos: Longitudinal y Transversal.

El estiramiento longitudinal de la película que es también parte integral del proceso de orientación biaxial, es el mé todo más comúnmente empleado, y consiste en el uso de dos pares de rodillos, de los cuáles el segundo par opera a una velocidad periférica mayor que el primero. La película pasa a través de los rodillos que son calentados a una temperatura a la cual el estiramiento puede ocurrir satisfactoriamente, esta película está sujeta a la tensión longitudinal que desee proporcionarse, según el grado de estiramiento, la orientación en una dirección de la máquina puede lograrse también, con una serie de rodillos ope

FIG. 6 - RODILLOS PARA ORIENTACION
BIAXIAL



- 1.- TELA DE REFUERZO
- 2.- BOBINA ALIMENTADORA
- 3.- RODILLO DE PRESION O TENSION
- 4.- TELA DE PLASTICO
- 5.- PLASTICO REFORZADO
- 6.- RODILLO DE VELOCIDAD VARIABLE
- 7.- SOPORTE DEL RODILLO
- 9.- RODILLOS SUPLEMENTARIOS
- 10.- " "
- 13.- " "
- 14.- " "
- 15.- " "
- 16.- " "

rados a diferentes velocidades. El estiramiento longitudinal de un material polimérico es logrado a temperaturas elevadas, y, es necesario que los rodillos utilizados en el estiramiento estén -- bien pulidos para lograr una superficie perfectamente lisa en la película, sin embargo, en este pulido de los rodillos, está impli- cta la tendencia de la película hacia una deformación transver- sal, fomentando roturas en la misma, que serán proporcionales a - las velocidades de estiramiento. Un medio de minimizarlas es el uso de rodillos muy lentos en medio de los rodillos que tienen di- ferentes velocidades de rotación, ésto provoca que los rodillos - se mantengan siempre en contacto con la superficie de la película, porque la probabilidad de rotura es mayor, cuando los rodillos es- tán más separados uno del otro.

La orientación transversal es el tipo de orientación uni- axial más común, es efectuada mediante el encuadrado por clavijas, el cuál es diseñado para ser ajustado en un amplio rango con res- pecto a la anchura de la tela; para permitir flexibilidad en la - velocidad y grado de estiramiento. Este fundamento de flexibili- dad es esencial para obtener condiciones óptimas de estiramiento- de varios termoplásticos.

La longitud del encuadramiento de la estructura es determi- nada, por la velocidad requerida de estiramiento y la velocidad - de producción deseada.

Algunos materiales requieren un estiramiento transversal -

gradual, el cuál puede ser logrado mediante un incremento del encuadramiento de la estructura. A altas velocidades de producción el encuadramiento también puede ser más corto para mantener un movimiento de estiramiento de la película sobre condiciones apropiadas de tensión, en todo esto es frecuente un complicado tratamiento térmico que por supuesto necesita grandes cantidades de calor.

Después de la extrusión, del enfriamiento y posible orientación longitudinal, la temperatura de la superficie de la lámina es llevada por abajo de la requerida para la orientación transversal (mientras tanto el interior de la lámina puede permanecer por encima de esa temperatura). La lámina en ese momento movida a través del horno del encuadrador es recalentada hasta la temperatura propia de la orientación transversal.

El enfriamiento y recalentamiento de la película en conjunto nos proporciona una temperatura uniforme en su sección transversal. La lámina está lista para su orientación en el aparato de estiramiento.

La orientación es acompañada por el uso de tenazas o agarraderas, montadas a unos transportadores situados en cada lado de la película.

Las tenazas son guiadas a lo largo de los canales de la cama donde corre la película, formando un ángulo divergente en el centro de la línea de la armadura. Este ángulo determina la rapidez del impulso transversal y el grado de ajuste. El ajuste de

ese ángulo es importante en los termoplásticos y puede requerir diferentes grados de estiramiento.

Frecuentemente es necesario enfriar las tenazas con el objeto de aumentar el estiramiento del material en la región con agarraderas, sin embargo la temperatura de la lámina podría ser mantenida dentro de un cierto intervalo, si es demasiado alta o baja la lámina podría fundirse, gotearse, o quebrarse.

La orientación biaxial fué un método aplicado originalmente al poliestireno y consistía en la extrusión de un tubo que luego se pasaba por un mandril parabólico en su acción. La película resultante es operada a una velocidad periférica más alta que la velocidad de extrusión que proporciona el estiramiento longitudinal, así como la orientación en la dirección de las máquinas. El tubo pasa posteriormente por un rodillo de estiramiento que le proporciona el estiramiento en la dirección transversal; en ocasiones este rodillo de estiramiento es reemplazado por aire comprimido, como más adelante se verá.

Las propiedades mecánicas de las películas con orientación uniaxial son insatisfactorias, las películas termoplásticas adecuadas son aquellas que cuentan con características uniformes en todas sus direcciones y ésto solo es logrado en la orientación biaxial.

El intervalo de temperatura dentro del cuál, la orientación biaxial puede ser conducida, es considerado como un paráme---

tro significativo, con el objeto de poder bajar la temperatura de fusión del polímero, cuando se habla de polímeros cristalinos, fusión del punto de cristalización se le llama a la temperatura a la cuál los cristales del polímero no son lo suficientemente grandes para ser detectados por un exámen de rayos X, cuando el polímero es calentado. En la mayoría de los polímeros cristalinos la orientación se lleva a cabo en el intervalo de temperatura que va, desde arriba de la temperatura donde los cristales -- funden, hasta abajo de la temperatura donde los cristales son de tectables, ésto es generalmente de 10 a 40 °C.

El intervalo de la temperatura de orientación específica, varía de polímero a polímero y es detectada por métodos experimentales.

Un proceso para el estiramiento biaxial es simultáneo de películas termoplásticas planas es el que se muestra en la fig.7 que consiste de una serie de rodillos que incluyen una bobina, - que lleva a las películas por encima de los rodillos a través de un camino sinuoso al rodillo principal bajo una tensión constante. El sistema cuenta con rodillos alimentadores, que son regulados mediante la presión por medio neumático de uno contra el - otro, también se tienen los rodillos de elongación, cuya función es jalar la película extruida y orientada, tienen una velocidad - mayor que los de alimentación, dependiendo de la proporción del estiramiento en la dirección longitudinal.

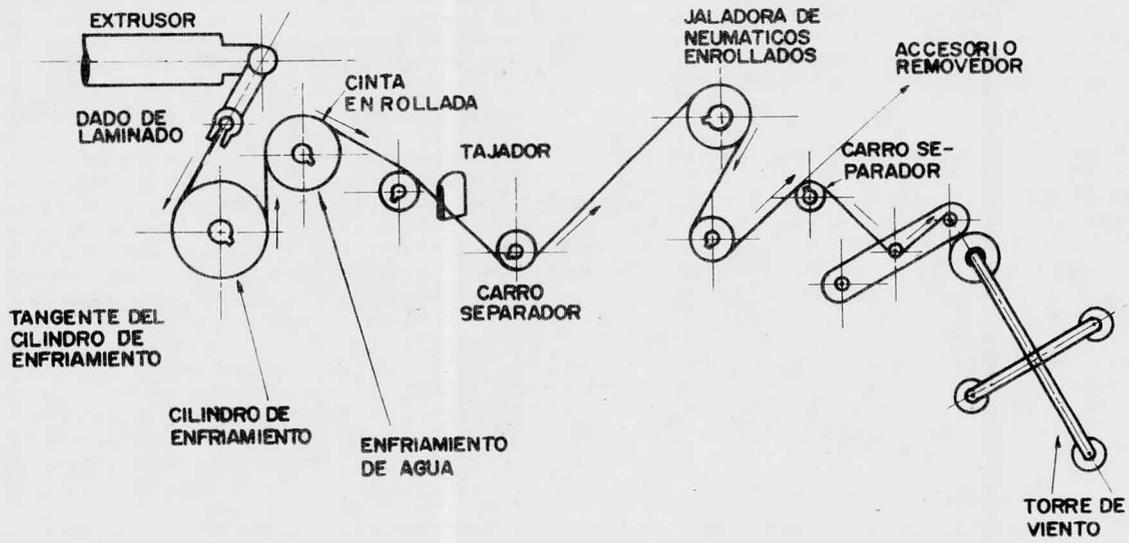


FIG. 3 - TÍPICO ROLLO DE INMERSION PARA PELICULAS SENCILLAS DE UNA CAPA

La variante del método de soplado o inflado del tubo plástico es con el fin de facilitar los estiramientos, una vez que se tiene el tubo plástico con burbujas de aire, es muy usado en los procesos tubulares y de ruedas planas.

Algunas películas de resinas termoplásticas pueden ser extruídas a temperaturas ordinarias, pero inclusive este tipo de películas, se prefiere que sean calentadas un poco cuando van a ser sometidas a la operación de estiramiento, de lo contrario es te debe debe hacerse más despacio y a extensiones grandes.

Control del perfil de calibración:

Las hojas como las películas obtenidas por extrusión, tie nen problemas para mantener uniforme el perfil del espesor a tra vés de toda su línea. Debido a ésto, los dados están provistos de tuercas ajustables en todo lo ancho. Usualmente el ajuste del dado se hace cuando la unidad está fría. El esfuerzo térmico y las pequeñas diferencias en la velocidad de flujo, en las diferentes partes del dado, requiere un ajuste adicional del mismo. El ajuste es hecho manualmente después de haber calibrado, como resultado, un tiempo considerable de carrera es necesario para obtener películas con un espesor satisfactorio.

El tiempo es demasiado corto para usar un medidor de espesor de rayos beta típico, este accesorio permitiría lecturas -- continuas y exactas del espesor, y ajustes manuales más rápidos del dado, para una tolerancia aceptable, puede ser completamente

automático. Se ha desarrollado un sistema que usa una cabeza -- sensible con un calibrador de perfil que alimenta una señal al control que cambia automáticamente la abertura del dado para compensar la variación de calibración.

La variación en el espesor se ve afectada por muchos factores, por éso se trata de que las películas tengan más o menos un 2 % de variación de la calibración, lo que se obtiene automáticamente con este equipo.

Con un ajuste manual continuo del dado que se abre raramente, se producen películas con un mejor intervalo de variación de la calibración de $\pm 5\%$ y, algunas veces $\pm 10\%$, cuando se requiere que la película o el espesor de la hoja permanezca parejo, el control de la calibración se torna crítico. Obviamente cualquier película extruída por una abertura de un dado es inicialmente parejo sin hacer caso del control del perfil.

Para evitar que la película se enredé a la salida, se coloca un rodillo que puede ser muy duro en unos puntos, pero suave en otros, ésto crea grandes esfuerzos, y el esfuerzo varía para cada material, el límite elástico puede alcanzarse y la película en el rollo puede tener una deformación permanente en ciertos puntos. Cuando se enrolla esta película plana puede exhibir propiedades de bolsa, ésto es debido a que unas fibras son más largas que otras, y alcanzan esa forma. Obviamente, la mayor o menor tolerancia de calibración, que procederá al desarrollo de

la bolsa, será diferente para cada material y también dependerá, de las tensiones que se usan para enredar.

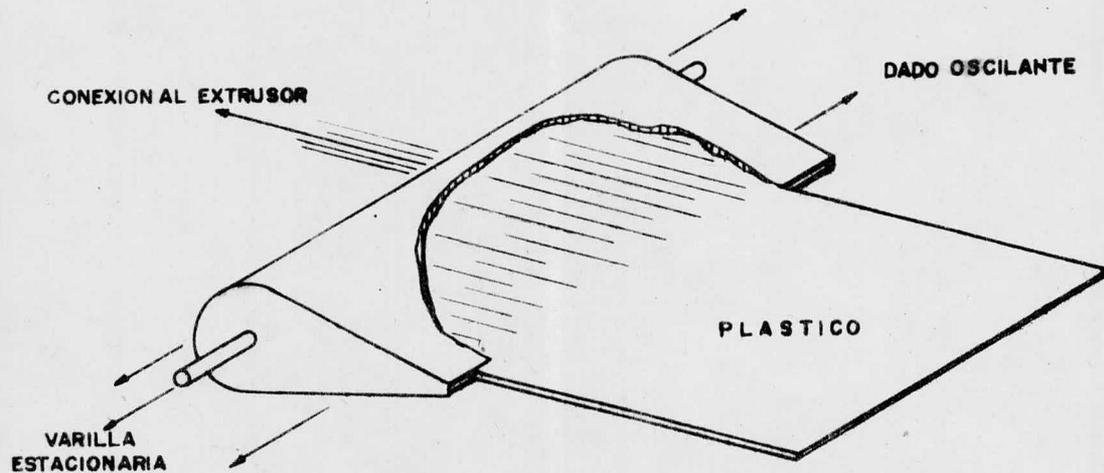
Donde no han sido establecidas condiciones de calibración, suficientemente cerradas, para prevenir el desarrollo de bolsas, se tienen que usar otros sistemas. Un método más complejo para controlar la calibración, consiste en usar un dado del ancho requerido.

La película con la anchura deseada es obtenida por medio de un bloqueo en cada una de las terminales de la abertura, presionando las varillas cobertoras. El dado oscila hacia el frente y hacia atrás sobre esta barra estacionaria. Esta técnica es algo complicada, ya que el extrusor tiene que estar oscilando.

La geometría del dado puede ser crítica para una película o para hojas obtenidas por una operación de extrusión, cualquier polímero sensible al calor como el PVC puede no ser fácilmente extruído a través de un simple dado, a menos que el dado sea altamente alineado, ya que el PVC trata de cambiar de coloración en cualquier punto donde la velocidad de flujo es lenta, o donde el polímero caliente puede formar bolsas estancadas.

Cuando se quieren mejorar las propiedades de superficie en películas plásticas y hojas, es necesario hacerlo por moldeado, con la ayuda de un solvente. En este proceso se utiliza el plástico granulado o en polvo, más cualquier otro componente, como un plástificante o un colorante, los cuáles son disueltos en un sol-

FIG. 18 — DE UN DADO OSCILADOR



vente adecuado. La solución es cuidadosamente filtrada para remover cualquier suciedad y partícula extraña. El solvente a su vez, se elimina por algún calentamiento controlado, la película clara y brillante libre del solvente es retirada de la sección de mol--deo en la cadena.

Proceso de laminación:

Debido a que el PVC tiene una viscosidad relativamente alta (1.41 g/seg.cm), para extruirlo es necesaria una presión de --211.2 a 422.4 kg/cm² a 180 °C, con un orificio del dado de 90 mm. comparando ésto con la presión que necesita el polietileno para --el mismo espesor de película, la diferencia de sus presiones es --de 70.4 kg/cm².

Como consecuencia de las presiones altas que se requieren para la extrusión del PVC rígido, se desarrollan grandes fuerzas--en el interior del dado, especialmente en los de flujo laminar,--cuya área interna es mayor que los de flujo no laminar. La aparición de grandes fuerzas internas producen problemas en los dados--de extrusión, llegando en ocasiones a abrirlos. Como regla gene--ral estos dados de estrusión son construídos con juntas metálicas, las cuáles están unidas por una serie de remaches. Los dados de--extrusión comunes disponibles no tienen fuerzas de tensión lo su--ficientemente grandes para asegurar la resistencia de las fuerzas desarrolladas internamente en la extrusión de PVC rígido, ocasio--nadas por estancamientos de material que se le dificultan elimi--

nar al dado.

Para el laminado de PVC rígido se usa un dado que cuenta con una placa al final del mismo, cuando tiene la alimentación en el centro, las placas están en cada una de las terminales de extrusión. Estas placas se unen al estrusor cuyo producto fundido se introduce en la cámara del dado, desde el centro localizado en la parte superior de la cámara, hasta una parte de la cabeza, Fig. 9, por medio de pernos se ajusta el dado a la cabeza del estrusor. La mezcla viscosa es cortada en el interior del dado que es donde se encuentran las navajas.

Existen dados con orificios ajustables dentro de la boquilla de extrusión, en la Fig. 10 la boquilla de extrusión incluye la cubierta principal en donde se tiene una cámara cerrada al final, por medio de placas.

El polímero fundido bajo presión dentro de la cavidad de la boquilla fluye a través de una serie de orificios de extrusión, colocados en lugares estrechos; estos orificios se abren en forma de una ranura alargada la cuál es definida como labio, cada una tiene una superficie de paredes lisas, ajustadas por medio de pernos a lo largo del orificio de extrusión para un mejor control individual del flujo del polímero fundido.

Como se ilustra por medio de la figura, los pernos que se utilizan para los orificios adyacentes facilitan el ajuste de la cubierta lateral de la boquilla y el acceso a la misma.

BOQUILLA DE EXTRUSION

- 11.- CUERPO PRINCIPAL
- 13.- CAMARA Ó CAVIDAD DE BOQUILLA
- 15.- PLACA DE CIERRE
- 17.- SOPORTES
- 19.- BALEROS
- 21.- ALIMENTACION DE MATERIAL

- 23.- ORIFICIOS DE EXTRUSION
- 25.- RANURA ACANALADA
- 27.- BORDE (TOBERA)
- 28.- SUPERFICIE PLANA
- 29.- APERTURAS ROSCADAS
- 31.- TORNILLOS

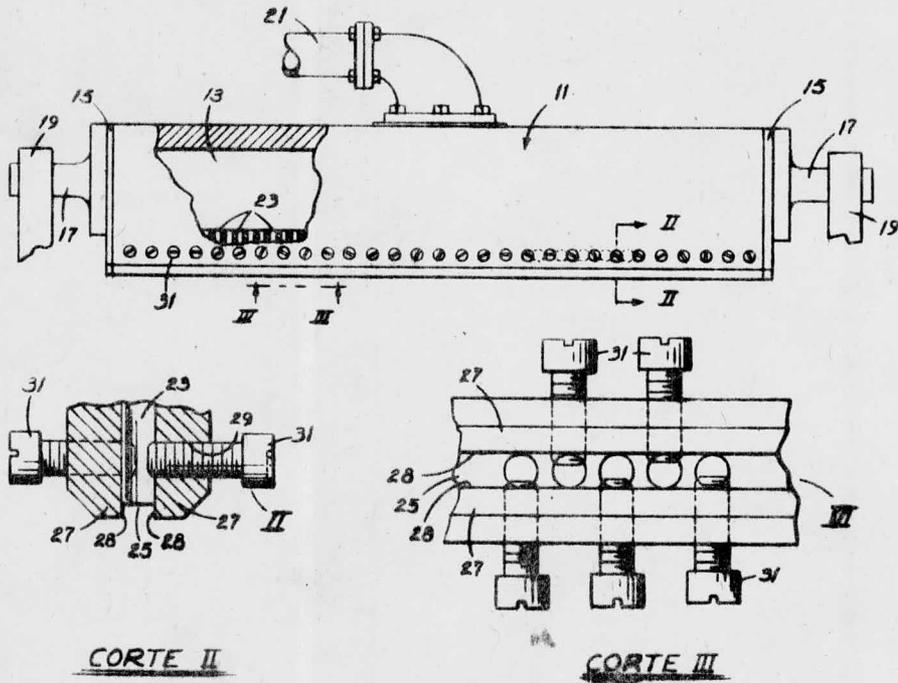


FIG. 9

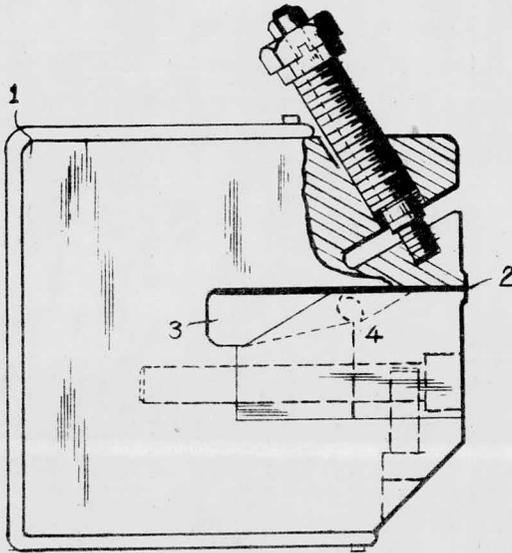
La operación de la boquilla anteriormente descrita, es como sigue: el polímero fundido es entregado en el interior de la cavidad y es extruído a través de una serie de orificios, como -- una distribución de corrientes individuales, cada uno fluyendo a la misma velocidad de acuerdo a las corrientes del polímero que entra por la abertura principal, esas corrientes son liberadas de la presión de extrusión y llegan así a un estado de equilibrio. -- Por medio de la ilustración de la estructura de la boquilla se -- puede entender mejor su funcionamiento, la corriente extruída queda libre de expandirse diametralmente de un lado a otro, causando corrientes adyacentes que se combinan y unen una con la otra. La expansión de la corriente individual del polímero a lo largo de la extrusión, es generalmente en forma transversal de acuerdo a la ranura, sin embargo, es restringido por los labios de la misma.

Debido a la influencia expansiva, son combinadas en los labios de la ranura, las corrientes adyacentes del polímero extruídas; y a todo ésto la superficie opuesta de la boquilla es condición para obtener un flujo suave. En la parte interior de la boquilla que es donde se le da forma a la película, ésta es estirada hacia abajo por un levantamiento rápido y después es sometida a enfriamiento, como en un proceso común de extrusión de telas -- plásticas.

Si se desea variar la velocidad de flujo del polímero fundido en ciertos puntos a lo largo de la boquilla, como una forma-

CORTE SECCIONAL DE UN DADO DE EXTRUSION PARA
LAMINAS PLANAS

- 1.- CUERPO DEL DADO
- 2.- ORIFICIO DEL DADO (SALIDA DEL MATERIAL EXTRUIDO).
- 3.- CANAL DISTRIBUIDOR DE LA ALIMENTACION
- 4.- PLACA DE CIERRE



FIS. 10

de compensar diferenciales de temperaturas a lo largo de la longitud total de la boquilla, es necesario ajustar la válvula o perno adecuado.

Algunos ajustes pueden afectar la operación de extrusión, por lo que el orificio para ésta debe ser holgado, obteniéndose así la posibilidad de eliminar con exactitud cualquier efecto nocivo para el proceso, debido a los ajustes realizados únicamente en esa zona donde el material polimérico se extruye en un área escogida de la boquilla.

Para una mejor operación en la obtención de las películas por diferentes métodos de manipulación, es una costumbre iniciar la formación de las mismas controlando el espesor por medio del filo de las molduras.

En la elaboración de películas de polímeros, debido a la orientación de las moléculas y a los esfuerzos laterales o biaxiales de la película, el avance continuo de la misma es controlado a lo largo de las orillas opuestas de la moldura.

Después de la extrusión, las películas plásticas o el polímero resultante es moldeado sobre un sistema de enfriamiento en movimiento, que puede ser un tambor frío o una banda, en ella la película es enfriada lo suficiente como para solidificar.

Se pueden producir reducciones en el espesor de la película y en el ancho de la misma, pero sólo ocurre cuando el polímero o película es estirada debido a la rotación del tambor de enfria-

miento o al movimiento de la banda transportadora, a cualquier velocidad lineal de extrusión. Este problema es conocido y se le ha tratado de dar solución mediante el aumento de las aberturas de los orificios del dado de extrusión y de espaciamentos muchos más grandes para aumentar el espesor, que es lo que se desea controlar en las películas aparte de la amplitud que se desea dar,-- sin embargo, se presentan otras dificultades en el proceso donde se tienen las películas calientes que salen del orificio de extrusión y son colocadas en una superficie fría. En ellas se tiene que las fuerzas que actúan sobre los plásticos durante el proceso de laminado y en su enfriamiento, tienden a formar películas imperfectas.

En cuanto a su espesor y amplitud irregular, deben considerarse todas las características que puedan intervenir en la elaboración de telas plásticas.

La película de la mezcla plástica extruída, es depositada sobre un sistema de enfriamiento móvil cargado eléctricamente, la carga eléctrica es depositada sobre la parte superior de la película, preferentemente que cruce completamente la anchura de la película con lo cuál se forma una adherencia firme a la superficie de enfriamiento, que además permite que el enfriamiento sobre el tambor, sin ninguna reducción substancial en la amplitud de la película. El proceso proporciona otras sorprendentes ventajas en procesos anteriores no se tenían, y que se presentan con una



mente, como es el caso del enfriamiento de las películas, donde - hay una tendencia de la misma (cuando hace contacto con la superficie de enfriamiento), a solidificarse en algunas partes antes - que en otras, debido al contacto íntimo que hay entre la película y el sistema de enfriamiento, pero con el sistema que se está proponiendo en este proceso, no se presenta este fenómeno, ya que se cuenta con una mejor transferencia de calor de la película en todo su espesor o amplitud sobre el sistema de enfriamiento, mejorando substancialmente el acabado de las películas. El resultado es la solidificación simultánea a través de toda la película y su espesor. La eficiencia en la transferencia del calor obtenido -- por este proceso, también permite el uso de temperaturas lo más - bajas que sea posible. Esto permite también incrementar la efi--ciencia en los sistemas de enfriamiento y en la producción.

Teniendo una mejor eficiencia en la transferencia de calor el proceso sirve también para eliminar "neblinas ciegas" en la película obtenida, este tipo de neblina se caracteriza, porque alterna líneas claras y líneas brumosas a lo largo de toda la tela-plástica, se tiene la seguridad que estas líneas alternadas es el resultado del aprisionamiento de aire entre la película y el sistema de enfriamiento, pero que es eliminado utilizando este proceso de la carga eléctrica, obteniéndose películas mucho más claras y sin ese tipo de problemas.

El resultado de éste, es que el aire es liberado y no se -

presenta el fenómeno de la "niebla", y si por alguna razón, llegara a atraparlo, sería eliminando antes de que el proceso de enfriamiento se lleve a cabo.

El material polimérico de la película termoplástica es extruído, colocando el polímero en la tolva con cualquier tipo de dado, pasando a través del orificio que luego es depositado sobre el tambor de enfriamiento después de ser extruído cuenta con el sistema de enfriamiento ya descrito, en la entrada y salida del tambor, entre el orificio y el punto donde el polímero en forma de película toca el tambor de enfriamiento, dispone de un electrodo, el cual puede tener un diámetro de 0.0025 a 0.317 cm. fabricado en acero templado o cualquier otro material conductor que tenga una adecuada estabilidad y fuerza, dentro de estos materiales se tienen tungsteno, inconel (níquel-hierro), cobre, latón, bronce, etc. El electrodo es sostenido por un soporte aislado. Se suministra energía por medio de corriente directa, y el tambor de enfriamiento hace la función de tierra, el voltaje necesario oscila entre 15 y 30 kv, que son suministrados por la fuente de poder, a través del cable de alto voltaje, proporcionando el alambre del electrodo cuando mucho $7.09 \text{ microcoulombios/cm}^2$, en la parte superior de la película y ésto obliga a la película a un contacto más íntimo con el tambor de enfriamiento.

Hay otro proceso para enfriamiento de las películas plásticas que aquí se mencionará solo como referencia; es el que tiene-

un sistema de rodillos de superficies lisas y utiliza una película preformada de orientación biaxial de polietileno, como instrumento de acarreo de la película de PVC, hacia los rodillos de enfriamiento, de ahí continúa la película termoplástica únicamente.

Otra variante del laminado de películas plásticas, por medio de rodillos de templado superficial, es el que utiliza una carga eléctrica y rodillos de superficies pulidas, siguiendo el mismo procedimiento que los procesos anteriores, donde el polímero es extruído por la ranura del dado, y la película es enviada por medio de rodillos, ahí la velocidad producida es baja y no se presenta el fenómeno de oclusión de aire, entre el alma de la película plástica y los rodillos, puesto que este tipo de oclusión es indeseable en la producción de telas plásticas, ya que presentan desventajas en el terminado de las películas, debido a las burbujas y hoyuelos que aparecen por éste fenómeno, lo que disminuye la claridad de las películas y su uniformidad, y el contacto con los rodillos no es perfecto.

El sistema de trabajo de este proceso se basa fundamentalmente en un conjunto de rodillos, que son el rodillo de presión y el rodillo de carga eléctrica, los cuáles presentan una rotación contraria de uno con respecto al otro, manteniendo el rodillo de presión húmedo, por medio de un líquido apropiado que es colocado entre la superficie caliente del plástico y el rodillo de presión.

El líquido que se utiliza deberá contar con las siguientes

características: no debe atacar en forma desventajosa al polímero, y tener un alto punto de ebullición para evitar que hierba - bajo las condiciones de operación que son usadas para el proceso; estas sustancias pueden ser etilen-glicol, dietilen-glicol y -- glicerina en combinación con agua, deberán mantenerse abajo del punto de ebullición del plástico para ayudar a solidificar a la película y evitar posibles distorsiones que serían de graves consecuencias.

Otro de los sistemas utilizados en la producción de películas plásticas, es el método de soplado que se basa fundamentalmente en suministrar aire o gas a presión a la película extruída a través de una abertura anular y soplar por el interior del tubo extrusor para mantener las paredes del plástico separadas y - después impartir un estiramiento a la película inflada,

C O N C L U S I O N E S

Las películas obtenidas por el método de extrusión pueden tener la apariencia del celofán y, ser mucho más resistentes que éste, además de que se pueden obtener de un espesor o calibre de hasta 0.00317 cm., dependiendo del material-tratado; por el método de extrusión laminado, se tiene mayor flexibilidad en la formulación, calibre y mayor claridad que por otros métodos, y las propiedades físicas pueden ser mantenidas inclusive si es cambiado el espesor.

El problema de la extrusión de las telas plásticas extendidas se hace más difícil cuando se incrementan las presiones y temperaturas, que son condiciones y características especiales, para ciertos tipos de materiales plásticos. Algunas presiones de extrusión oscilan alrededor de 352.1 kg/cm², medidos en la entrada del dado, y las temperaturas oscilan alrededor de 425°C, ó como es común actualmente, temperaturas de 330°C y 140 kg/cm² de presión; en estas condiciones es muy difícil obtener dados extendidos que operen con tales presiones y temperaturas sin que se presenten goteos y escurrimientos del plástico líquido en las juntas y uniones del dado, y en la boquilla de extrusión.

Algunos dados extendidos para telas son diseñados para soportar este tipo de condiciones de operación y para que se encuentren libres de fugas, aunque son difíciles de limpiar,

y, se les debe proporcionar un mantenimiento periódico en el caso de estar sometidas a una función constante.

El dado observado, que ayudó, a la formulación de lo que hasta aquí se ha presentado, sirvió para eliminar muchas de las dificultades que se presentaban con el diseño y manejo de la maquinaria, sus características y construcción simplificaron operaciones tales como su alimentación, y, habilitaron un manejo más fácil a altas temperaturas y presiones, eliminando así la posibilidad de una extrusión con fugas, todo ésto aunado a la facilidad de su desamblado y mantenimiento de los propósitos de limpieza.

El problema más grande que se ha presentado en el tratamiento del PVC, es la dificultad que se tiene de extruir el PVC rígido, el cual no permite ningún tipo de degradación térmica en el dado de extrusión. Este problema es debido en parte a la limitada estabilidad térmica y a la rigidez del PVC. Para solucionar este problema de la degradación térmica se propuso que el flujo interno sea laminar, y, pase a través del dado de extrusión, decreciendo el tiempo de residencia, para eliminar áreas internas de estancamiento de material termoplástico.

El flujo laminar implica, que se tiene un dado de extrusión con un canal de distribución comunicado con la alimentación, el orificio de dicho dado decrece en su área sec-

cional-cruzada desde la alimentación hasta sus extremidades.

El material presentado a lo largo del presente trabajo, trata de puntualizar los aspectos dignos de atención, del proceso de extrusión-laminado, las soluciones que a los problemas inherentes al proceso se plantean, están incluidas en la descripción de cada caso en particular.

Es de notarse que como no se pretende crear un diseño del proceso, o del equipo que este implica, no se enumeran detalladamente datos específicos que pudieran hacerse una realidad, sino por el contrario, se exponen opciones que hacen más viable y pudieran optimizar el rendimiento de las operaciones que al proceso atañen.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- BARRON HARRY
Plásticos Modernos
Ed. G. Gili, Barcelona
1952
- 2.- BENEDICT SEYMOUR RAYMOND
Modern Plastics Technology
Ed. Prentice Hall
1975
- 3.- BILLMEYER W. FRED Jr.
Texbook of Polymer Science
Jhon Wiley & Sons Inc.
1971
- 4.- BRAGE GOLDING
Polymers and Resins, Their Chemistry and Chemical Engi--
neering.
Van Nostrand, New Jersey
1959
- 5.- CALVERT WINDING CHARLES
Polimeric Materials
McGraw Hill, New York
1961
- 6.- CONNORS F. L.
Australians Plastics
Ed. Wiley, New York
1972
- 7.- DELMONTE J.
Moldeo de Plásticos por compresión, inyección y por ex-
trusión.
Ed. José Monteso, Barcelona
1967
- 8.- DUCK EDEARD W.
Plastics and Rubber
The Butterworth Group London
1971
- 9.- FISHER E. G.
Extrusion of Plastics
New York, Intersciencie Publisher Inc.
1958

- 10.- HESSE H. G. RUSHTON J. H.
Process Equipment Design
Van Nostrand Co. Inc. Princeton, New Jersey
1962
- 11.- HOFFENBERG B. HAROLD
Permeability of Plastics Films and coating to gases, va-
pors and liquids.
Ed. Plenum
1974
- 12.- KAUFMAN MORRIS
Giant Molecules, the techlogy of Plastics Fibers and --
Rubbers
Ed. Doubleday
1968
- 13.- KAUFMAN S. HERMAN
An Introduction to Plymer Sciencie
Modern Plastics Encyclopedia
1970
- 14.- MARK FRANCIS H.
Encyclopedia of Polymer Sciencie and Technology Plastics
Resins, Rubbers, Fibers
Intersciencie Publisher Inc. New York
1964
- 15.- MILBY V. ROBERT
Plastics Technology
Ed. McGraw Hill
1973
- 16.- MORRISON AND BOYD
Organic Chemistry
Allyn and Becon, Boston
1972
- 17.- PAIST
Cellulosics Ed. Reinhold, N.Y.
1958
- 18.- PARK W.
Plastics Film Technology
Ed. Reinhold, New York
1969

- 19.- SIMONDS HERBERT RUMSY
Extrusion of Plastics, Rubber and Metal
Van Nostrand, New Jersey
1955
- 20.- SCHILDKNECHT E. CALVIN
Vinyl and Related Polymers
Jhon Wiley & Sons Inc.
1952
- 21.- SCHILDKNECHT E. CALVIN
Polymer Processes
Intersciencie Publisher Inc. New York
1956
- 22.- TERAN ZAVALA JULIO, Quím.
Apuntes de la Materia de Plásticos II
1973. UNAM
- 23.- THOMPSON D. C.
Artículos Moldeados Industriales
E. I. Dupont de Nemour Co.
1965
- 24.- WHITFIELD R. C.
A guide to understand basic Organic Reactions
Longmans, London
1966
- 25.- WHOL MARTIN H.
Designing for non Newtonian Fluids
Chemical Engineering
January, 1968.