



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLÁN



V N A M

PROCESO DE MANUFACTURA DEL COMPUESTO
DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) Y SUS APLICACIONES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
SANTOS CARLOS LOPEZ ESCOBAR

ASESOR DE TESIS: ING. JOSE JUAN CONTRERAS ESPINOSA



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 está 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.

INDICE

	PAG.
CAPITULO I	
Polimerización del Cloruro de Vinilo	01
Polimerización por Emulsión	02
Polimerización por Suspensión	03
Polimerización en Masa	04
Cloruro de Polivinilo Modificado	06
Factores a Considerar en la Preparación de Mezclas Secas de PVC	08
Compuestos de PVC	08
Ingredientes en los Compuestos de PVC	09
PRIMER GRUPO	
Deficiencias de las Resinas	09
SEGUNDO GRUPO	
Plastificantes	10
Lubricantes	11
Modificadores de Flujo	12

INDICE	PAG.
Modificadores de Impacto	13
Cargas	13
TERCER GRUPO	
Pigmentos	14
Biocidas	15
Agentes Esponjantes	15
Retardadores de Flama/Abatidores de Humo	15
CAPITULO II	
Equipos para Fabricar Mezclas Secas	19
Secuencias en la Preparación de Mezclas Secas	25
CAPITULO III	
Consideraciones en la Elección de una Máquina Extrusora	29
Aspectos Técnicos de una Máquina Extrusora	32
Principios Básicos de la Extrusión	35
Geometría del Husillo	36

INDICE**PAG.**

Accionamiento y Calefacción

49

Aspectos Generales y Servicios

76

Costos del Equipo

79

Conclusiones

80

OBJETIVO

Dar a conocer al lector , los procesos de transformación que rigen la manufactura de los compuestos del Policloruro de Vinilo (PVC) así como las aplicaciones que se les puede dar en la Industria, en el hogar y personalmente para el bienestar de la Sociedad.

INTRODUCCION

El proceso de manufactura del compuesto de Policloruro de Vinilo, mejor conocido como PVC, es un proceso continuo que se obtiene a partir de la polimerización del monómero de Cloruro de Vinilo, el cual al ser mezclado con plastificantes, aditivos, colorantes y demás se obtienen las mezclas secas, mismas que a su vez requieren de un proceso de extrusión para obtener un producto de configuración definida que posteriormente es procesable por medios de inyección para la obtención del producto final que es el que llega directamente al consumidor.

CAPITULO I

1.0 POLIMERIZACION DEL CLORURO DE VINILO.

La polimerización del cloruro de vinilo se lleva a cabo mediante una reacción vía radicales libres, la cual puede iniciarse por medio de la energía proveniente de una fuente natural (v.qr. luz), de una fuente artificial (v.qr. bombardeo de electrones) ó por un catalizador promotor de radicales.

Cuando el radical inicial ha sido formado, va atacando a monómeros similares, los cuales se adicionan en serie al romperse la doble ligadura del cloruro de vinilo. La función radical subsiste mientras la cadena del polímero va creciendo hasta el momento en el cual aparece la reacción de terminación que puede ser el resultado de la combinación entre dos macrorradicales en un arreglo simétrico, o bien, la unión asimétrica de dos macrorradicales, quedando un grupo olefínico al final de la cadena.

Se pueden encontrar otras reacciones diferentes a las citadas, siendo éstas el resultado de un proceso de transferencia radical, en donde el electrón libre es donado a una cadena polimérica ya existente, formandose de esta manera, polímeros en cadenas ramificadas.

En el proceso industrial de polimerización del cloruro de vinilo, se utilizan catalizadores, los cuales están seleccionados dependiendo del tipo de procedimiento de fabricación empleado. Siendo los más usados los compuestos azo-alfáticos, los peróxidos orgánicos y compuestos de peróxidos inorgánicos, incluyendo los sistemas redox.

Los procesos industriales más desarrollados para producir el PVC son por Emulsión, por Suspensión y en Masa.

POLIMERIZACION POR EMULSION.

El proceso de polimerización del PVC por emulsión es el más antiguo, siendo desarrollado originalmente para obtener el Butadieno. Este procedimiento consiste en emulsificar en agua el monómero por medio de agentes surfactantes y emulsificantes tales como alquil sulfonatos, sulfatos de alcoholes grasos y sales alcalinas o de amonio de ácidos grasos.

La polimerización se inicia por medio de un grupo donador de electrones, tales como el peróxido de hidrógeno, persulfato de potasio, o cualquier otro compuesto "PER" obtenido como una dispersión fina donde los tamaños de partícula oscilan entre 0.1 y 0.5 micras, es separado del agua y secado, ya sea por aspersión o en tambor. El polímero seco aumenta su tamaño promedio de partícula durante la operación de secado.

La fabricación de PVC por emulsión tiene el inconveniente de retener los aditivos usados durante la polimerización y consecuentemente, influirán en las propiedades de éste. El polímero así obtenido presenta mejores propiedades de procesabilidad, pero sin embargo, se ve afectado en su color inicial y en la

absorción de humedad, que se incrementa mientras que la resistencia eléctrica disminuya, al grado de hacer que el PVC producido por éste método, no sea apto en la fabricación de aislantes eléctricos.

Con el objeto de minimizar dichos inconvenientes, se puede mejorar la calidad del PVC producido por emulsión si se le hacen lavados progresivos, incrementándose así su transparencia y estabilidad.

POLIMERIZACION POR SUSPENSION.

Este proceso de polimerización, se basa en hacer una dispersión del monómero de cloruro de vinilo en agua, formándose pequeñísimas gotas por medio de una agitación enérgica. Ya hecha la suspensión, se le adicionan aditivos del tipo de gelatinas, derivados de la celulosa, alcohol polivinílico, sales del ácido poliacrílico y copolímeros hidrofílicos del ácido maléico con estireno, acetato de vinilo o metil viniliter con el objeto de estabilizar la dispersión y evitar que las pequeñas gotas formadas se aglomeren y rompan.

En este proceso, la polimerización se lleva a cabo dentro de las gotas de monómero de cloruro de vinilo en suspensión, utilizando como iniciador de reacción, un catalizador organofílico promotor de radicales, siendo los más empleados el Peróxido de Benzoylo, el Peróxido de Laurilo y azo-Isobutironitrilo.

El PVC es obtenido en forma de gránulos con tamaños que van de 10 a 100 micras, lo que facilita la separación por centrifugación. Durante este proceso, la resina se sujeta a varios lavados, obteniéndose un producto mucho más puro que el obtenido por emulsión, ya que contiene únicamente trazas de los aditivos

de polimerización, dando un producto final con alta transparencia y no tiende a absorber humedad. Este producto por lo tanto, puede ser usado, casi, en cualquier aplicación (excepto en la tecnología de pastas). Siendo especialmente adecuado para artículos que requieran buena resistencia a la luz e intemperismo, con baja conductividad eléctrica.

La resina de PVC por suspensión, tiene buenas propiedades de flujo y la partícula puede presentar varios grados de porosidad, misma que es requerida para la fabricación de dry-blend por su mayor área de superficie interior, lo cual hace posible fabricar mezclas secas con buenas propiedades de flujo, aun cuando sean absorbidas grandes cantidades de plastificante.

POLIMERIZACION EN MASA.

El cloruro de vinilo, también es posible polimerizarlo en masa. El polímero no es soluble en el monómero y por lo tanto se precipita en el transcurso de la reacción. Cuando la reacción ha alcanzado un cierto grado, el polímero se separa del monómero obteniéndose en forma de polvo sin ningún proceso adicional. Únicamente se encuentran trazas de catalizador (generalmente un peróxido) y por lo tanto, el PVC polimerizado por este proceso es particularmente adecuado para artículos transparentes. Su comportamiento térmico es similar al PVC por suspensión.

La longitud de las cadenas polímeras obtenidas por cualquiera de los tres métodos antes descritos, son desiguales, lo que significa un grado moderado de la polimerización. El grado de polimerización está indicado por el valor K de la resina, siendo éste el más alto en cuanto más grande sea el peso molecular promedio en el PVC.

INDICE DE VISCOSIDAD ISO R / 174	VALOR K		PESO MOLECULAR PROMEDIO (M)
	DIN 53426	(C)	
60	50	47	40.000
73	55	51	48.000
89	60	55	62.000
105	65	60	74.000
122	70	64	89.000
138	75	69	107.000
156	80	73	129.000

Entre más alto sea el valor de K, más alto será el punto de reblandecimiento, la dureza mecánica y la estabilidad al calor, mientras que la elasticidad se verá disminuida.

El PVC comercial tiene comunmente los siguientes valores de K:

50 - 60

Para láminas calandreadas rígidas
moldeo por inyección y soplado.

60 - 68

Para extrusión sin plastificantes.

70 - 80

Para PVC flexible.

1.1 CLORURO DE POLIVINILO MODIFICADO.

El cloruro de vinilo, también puede ser copolimerizado con otros componentes insaturados, obteniéndose así una variedad muy grande de productos dependiendo del tipo y cantidad del monómero usado. Los copolímeros producidos con cloruro de vinilideno, ésteres vinílicos y fumáricos, ésteres de los ácidos acrílicos o maleicos, son conocidos como PVC "plastificado internamente".

Los copolímeros tienen una mejor procesabilidad que el PVC, aunque en algunos casos se presenta el inconveniente de que el punto de reblandecimiento es menor.

El desarrollo más reciente, es la polimerización por inserción (polimerización Graft), en donde a la cadena del polímero previamente formada, se le insertan monómeros o polímeros, obteniéndose así productos heterogéneos con una infinidad de propiedades, dependiendo del polímero original y de los monómeros o polímeros insertados. Se obtienen polímeros con alta resistencia al impacto, cuando se inserta el cloruro de vinilo en polímeros como hule natural, poliacrilonitrilo o polibutadieno.

"Poliblend", es un término utilizado indistintamente para las mezclas de polímeros combinados por medio de uniones secundarias, como por ejemplo: Poliblend de PVC-Polietileno Clorado, PVC-Copolímero de Etileno. Estos tipos de PVC modificados de alto impacto, pueden ser producidos en una amplia gama de propiedades mecánicas.

Los modificadores de impacto que se adicionan al PVC en pequeñas cantidades, son polímeros de alto peso molecular, basados principalmente en:

Acrilonitrilo	- Butadieno	- Estireno
Metacrilato	- Butadieno	- Estireno
Resinas Acrílicas		

Polímeros insertados con cloruro de vinilo y copolímeros de etileno - acetato de vinilo (EVA).

Estos aditivos, no solamente actúan aumentando la resistencia al impacto, sino también mejoran las propiedades de flujo del compuesto, por lo que muy a menudo, son utilizados para lograr este propósito.

El cloruro de polivinilo también puede ser modificado por medio de tratamientos químicos después de la polimerización, siendo el más importante el de cloración. El PVC postclorado, incrementa su punto de reblandecimiento en relación al aumento del contenido de cloro, pero sin embargo, la procesabilidad se ve afectada.

El número de solventes en los cuales el PVC es soluble se incrementa.

1.2 FACTORES A CONSIDERAR EN LA PREPARACION DE MEZCLAS SECAS DE PVC.

Los factores que intervienen en la preparación de las mezclas secas de PVC son:

Los compuestos de PVC y

Los ingredientes de los compuestos de PVC.

1.2.1 Compuestos de PVC.

Las resinas de PVC, van desde las 100 hasta las 300 micras más o menos y es a partir de estas resinas que se fabrican las llamadas "MEZCLAS SECAS".

Las resinas de PVC no pueden procesarse solas por su intrínseca inestabilidad térmica; para poderlas usar, se emplean varios aditivos para formar lo que se llama "COMPUESTO DE PVC".

Estos compuestos de PVC, en su primera (y en algunas ocasiones única) fase, se preparan, según fórmula, en forma pulverulenta, lo más fluida ó floja (no aglutinada) posible, ya sea para fabricar piezas flexibles o plastificadas ó artículos rígidos o no plastificados.

1.2.2 Ingredientes de los Compuestos de PVC.

Los aditivos a emplear, se pueden clasificar en tres grandes grupos, no por ello aislados, sino primordialmente interaccionantes e interdependientes en su dosificación, condiciones de procesaje y usos finales de los artículos en ellos fabricados.

a) Primer Grupo:

Aditivos que colaboran a cubrir deficiencias de las resinas de PVC.

b) Segundo Grupo:

Aditivos que modifican una ó varias de las propiedades de los compuestos.

c) Tercer Grupo:

Aditivos que se usan para cumplir con las necesidades especiales del mercado ó con los reglamentos o normas oficiales.

a) Aditivos para cubrir deficiencias de las resinas de PVC.

Los aditivos usados para cubrir deficiencias en las resinas son los estabilizadores térmicos, los cuales son sustancias que por varios mecanismos frenan

rápido el desprendimiento del cloro o del ácido clorhídrico del polímero bajo proceso. Estas sustancias son, por orden de frecuencia en el consumo: sales de plomo, ya sean inorgánicas u orgánicas (ésteres), ésteres o jabones de bario-cadmio y zinc, tioésteres y ésteres o jabones de calcio y zinc.

Otros aditivos dentro de este grupo, son los llamados protectores "UV" ó ultravioleta y los antioxidantes. Los primeros absorben dentro de sí una gran parte de esta radiación, actuando como escudo o barrera protectora contra su acción deshidroclorante sobre el PVC. Los más comunes son los benzotriazoles y las bisfenonas. De entre los antioxidantes, los más usuales son los bisfenoles, especialmente el bisfenol A y los fosfitos orgánicos.

b) Aditivos que modifican una o varias propiedades de las resinas de PVC.

Dentro de este grupo tenemos a:

b.1) Plastificantes.

Los cuales son sustancias líquidas de base orgánica principalmente, cuya acción sobre las resinas de PVC, se reflejan en reducirles las fuerzas de cohesión entre las cadenas macromoleculares, permitiéndoles que se muevan o deslizen con mayor facilidad unas con otras, lo que induce a su vez, en una disminución de la rigidez y aumento en su destensibilidad, además de mejorar gradualmente la facilidad de su procesaje.

Los plastificantes también reducen la viscosidad del fundido y bajan la temperatura de transición cristalina de segundo orden, reducen también el crecimiento volumétrico de los perfiles extrudados, mejoran la flexibilidad a bajas temperaturas, aumentan la elongación y disminuyen a su vez la resistencia a la tensión.

De acuerdo a su habilidad para permanecer unidos entre las cadenas macromoleculares de PVC, los plastificantes pueden ser: altamente compatibles ó primarios y de compatibilidad limitada ó secundarios.

Los primarios de acuerdo a su estructura química, pueden ser monoméricos ó poliméricos, según sea el tamaño o tipo de su molécula: de baja o alta volatilidad, lo que condiciona su empleo en aplicaciones para baja, media o alta temperatura, según sus constituyentes químicos, como son los ftalatos, aceites epoxidados, adipatos, fosfatos, sebacatos, etc..

Ejemplos de los plastificantes secundarios, son las parafinas cloradas y los albin bencen sulfonatos.

b.2) Lubricantes

Son sustancias de punto de fusión inferior al del rango de temperaturas en las que se efectúa la fusión total del compuesto y que no son del todo miscibles en el sustrato fundido, por lo cual ayudan a mantener en movimiento la masa fundida durante su procesaje, lubricandola tanto en sus componentes internos como protegiendolas de desarrollar fricciones excesivas contra las paredes metálicas de los equipos de transformación. Ejemplos de ellos, son los ácidos grasos, siendo el más común de todos el esteárico ó sus ésteres de clacio, bario, plomo o litio. También se usan como lubricantes las ceras parafínicas, los aceites

minerales de baja viscosidad, algunos polietilenos de muy bajo peso molecular, ciertas siliconas y algunas sintéticas.

Debido a su acción lubricante, éstas sustancias generalmente tienden a aumentar el tiempo en el que se funden los compuestos de PVC, lo cual es lógico, puesto que al reducir la fricción, evitan un tanto la generación de calor proveniente del trabajo mecánico, calor que contribuye a la fusión del compuesto.

b.3) Modificador de Flujo.

Los modificadores de flujo son sustancias que al bajar la viscosidad del fundido, bajan la temperatura de procesaje y disminuyen el tiempo de fusión. Generalmente poseen temperaturas de transición cristalina mayores que el PVC, pues, a menor temperatura, desarrollan un estado de pegajosidad (estado que se define como aquel al que las viscosidades son de 10 poises), que impartiendo esta propiedad al fundido, mejora el "cuerpo" de la masa fundida y al ser impulsada contra o sobre las superficies interiores de los equipos de proceso por donde fluye, aumenta la tenacidad del fundido y le da oportunidad de mejorar su continuidad y acabado. Algunos ésteres organometálicos, algunas ceras naturales ó sintéticas, poliamidas, alcoholes polivinílicos, polisiloxanos, polietilenos especiales y fluropásticos además de algunos silicatos o sílices especiales se usan como modificadores de flujo.

b.4) Modificadores de Impacto.

Son aditivos que incorporados a los compuestos no plastificados de PVC, les mejoran la resistencia a fracturas cuando se les somete a tensiones aplicadas a altas velocidades o impactos.

Estos aditivos tienen la característica de conservar su estructura molecular un tanto independiente del sustrato donde actúan impartiendo al PVC sus características de fase "hulosa", que se refleja en el aumento de viscosidad del fundido (especialmente en velocidades bajas de cizallaje) y también la temperatura de fusión. Por el calentamiento producido por la fricción, disminuye el tiempo de fusión y también reduce el cambio dimensional y la ruptura del fundido en los extrudados.

b.5) Cargas.

En los compuestos de PVC, el concepto de carga no se maneja solo como un elemento abarataador de la fórmula, sino que sin excluir lo anterior, se busca, según sea el tipo y dosificación de la carga impartir en menor o mayor grado, propiedades extras al compuesto como pueden ser la resistencia a la deformación bajo carga, resistencia a la abrasión, opacidad, etc..

En cuanto al procesaje, éste se hace un poco más difícil al aumentar con las cargas la viscosidad del fundido y disminuir el tiempo de fusión.

En el artículo final se aumenta su peso, su resistencia a la tensión y disminuye la elongación, recibiendo también la tendencia a encogimientos post-moldeo.

Como cargas comunes en los compuestos de PVC se usan los carbonatos de calcio, ya sean micronizados o presipitados; y los caolines calcinados. Ambos solos o tratados con agentes modificadores de superficie que les confieren especiales propiedades de incorporación y permanencia mecánica y/o eléctrica.

c) Aditivos que se usan para cumplir con necesidades especiales del mercado ó con reglamentos ó normas oficiales.

c.1) Pigmentos.

El mundo de los plásticos es el del color y el del PVC no es la excepción. Los pigmentos para el PVC deben ser tales que resistan sin mayores variaciones las condiciones de proceso/sustrato/uso.

Uno de los principales pigmentos para impartir no solo la blancura sino también la opacidad y la alta reflectancia (que incide positivamente en protección contra el intemperismo) es el dióxido de titanio (de preferencia el rutilo por su mayor índice de refracción en comparación con la variedad anatásica).

En general los pigmentos para PVC y en especial si su uso es para codificar forros coloridos de alambres conductores de electricidad, deben ser libres de contaminantes, que les den conductancia y que también resistan sin variación temperaturas de 160-200 °C por más de 10 minutos.

c.2) Biocidas.

Los biocidas son sustancias que incorporadas a las fórmulas de los compuestos de PVC, actúan como agentes tóxicos a la proliferación de microorganismos, principalmente Hongos, algas, líquenes y algunas bacterias de cuya acción se derivan manchajes o degradación de los artículos de PVC expuestos a ellos.

Su empleo está condicionado a las aplicaciones industriales o recreativas, lejos de cualquier posibilidad de entrar en contacto directo con alimentos o seres vivos.

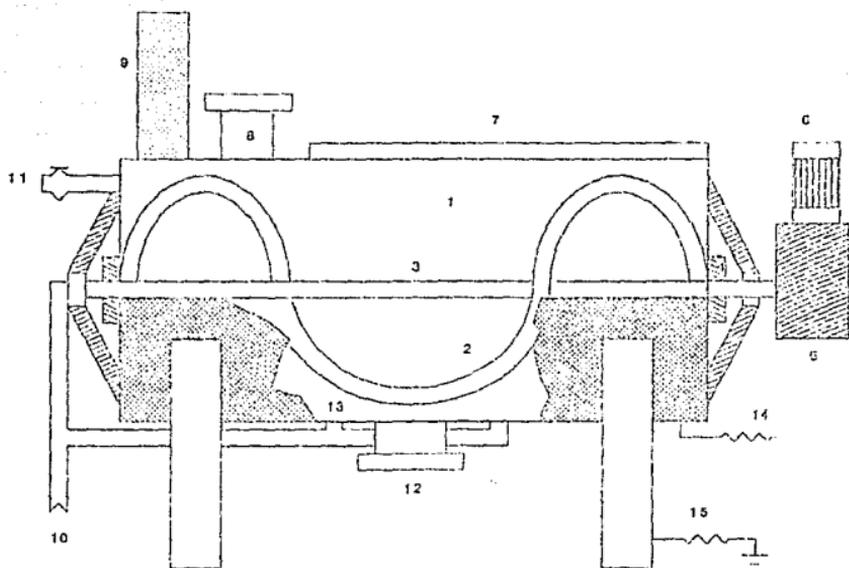
c.3) Agentes Esponjantes.

Son sustancias que proveen de una estructura esponjosa al producto final. Esto se logra al liberarse un gas (generalmente nitrógeno) en el fundido, proveniente de la descomposición que se cataliza en presencia del zinc.

c.4) Retardadores de Flama / Abatidores de Humo.

Son sustancias que aumentan la demanda de oxígeno para que se inicie y/o se mantenga la combustión, con lo cual se aumenta la resistencia a propagar y mantener la flama. Normalmente el policloruro de vinilo es en sí un material poco combustible y nada comburente, puesto que su alto contenido de cloro lo condiciona a este comportamiento, pero cuando a la resina se le plastifica, la fase plastificante orgánica tiende a mantener y propagar la combustión.

Como se ha visto, la sola enumeración de los ingredientes de un compuesto de PVC, nos indica la gran variedad de propiedades que ellos pueden conferir a las resinas de PVC. También debemos de citar que entre algunos existe un refuerzo común a sus propiedades individuales o sinergismo, mientras que con otros existen tendencias contrarias. Es aquí donde se deben de establecer compromisos para el mejor comportamiento técnico/económico/práctico de las fórmulas de PVC, cuya primera fase son las "mezclas secas" provenientes de su preparación, bien sea en mezcladora lenta del tipo de agitadores de listón helicoidal "RIBBON BLENDERS" o de agitadores de mezclas rápidas tipo "HENSCHEL" , que veremos en el siguiente capítulo.



ENFRIADOR DE LISTON TIPO RIBBON BLENDER

ENFRIADOR DE LISTON TIPO RIBBON BLENDER

LISTA DE PARTES

01 CUERPO DEL ENFRIADOR	09 DESCARGA DE GASES
02 HELICE	10 ENTRADA AGUA DE ENFRIAMIENTO
03 FLECHA	11 SALIDA DE AGUA
04 ESTOPEOS	12 DESCARGA DE COMPUESTO
05 REDUCTOR DE VELOCIDAD	13 CHAQUETA
06 MOTOR	14 TERMOPAR A PIROMETRO
07 TAPA DE ENFRIADOR	15 CONEXION A TIERRA
08 ENTRADA DE COMPUESTO	

CAPITULO II

2.0 EQUIPOS PARA FABRICAR MEZCLAS SECAS.

A continuación citaremos algunas características de los equipos para la fabricación de las mezcla secas en forma rápida o lenta a manera de tabla comparativa.

	Mezcladores rápidos	Mezcladores lentos
Costo por unidad en peso	>	<
Consumo de energía para impulsarlos	>	<
Tamaño (volumen)	-	tienden a ser grandes
Rapidez	>>	<
Homogenización	>	<

Facilidad de limpieza

>

<

Versatilidad

>

<

Calentamiento por fricción

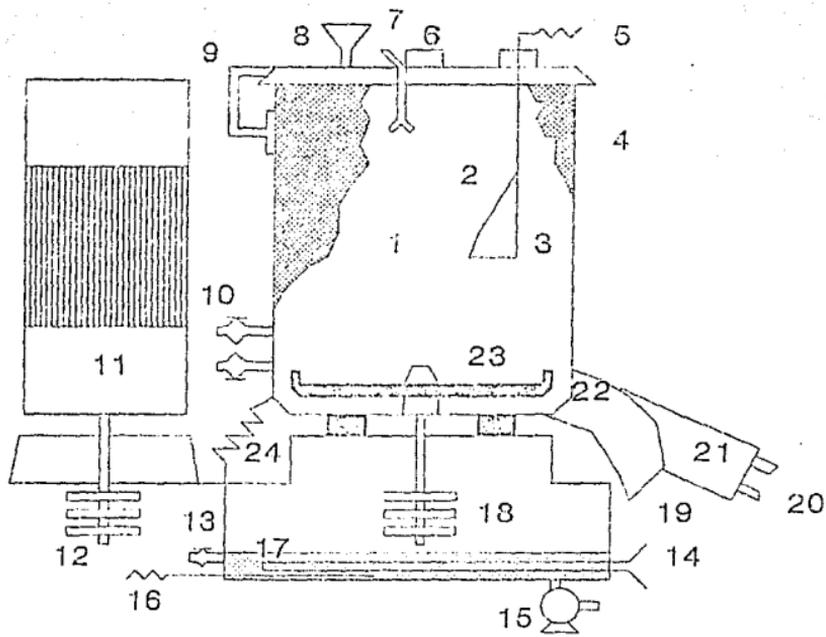
>

0

Refrigeración

=

=



MEZCLADORA RAPIDA TIPO HENSCHEL

MEZCLADORA RAPIDA TIPO HENSCHTEL

LISTA DE PARTES

01 OLLA	13 ENTRADA PLASTIFICANTE
02 DEFLECTOR	14 CALEFACTOR PARA PLASTIFICANTE
03 TERMOPAR	15 BOMBA DOSIFICADORA
04 CHAQUETA	16 TERMOPAR PARA INSTRUMENTOS
05 CABLE CONTROL A PIHOMETRO	17 TANQUE PARA PLASTIFICANTE
06 MIMILLA	18 POLEA IMPULSORA ASPAS
07 EN TUBO ALIMENTACION MEDIDA	19 DESCARDA
08 EMBUDO MICROINGREDIENTES	20 AIRE COMPRIMIDO
09 BISACRA TAPA	21 CAMISA PISTON
10 AGUA CALIENTE O VAPOR	22 COMPUERTA
11 MOTOR	23 AGUAS
12 TRANSMISION A BANDAS V.	24 CONEXION A TIERRA

Existe ya en desarrollo, el montar equipos pequeños de mezcla rápida y alimentación/descarga continua, que, colocados en lo alto de la tolva (o descargando en ella) de un equipo procesador (las extrusoras y/o inyectoras son las más comunes), los alimenten sin interrupción. Esta innovación trae como consecuencia varias ventajas como son:

- Racionalización del uso de la energía térmica que se incorpora durante el proceso del mezclado a la mezcla seca, ahorrándose con ello, el empleo de energía para enfriarla y poderla conducir a su almacenaje; así mismo el consecuente ahorro de energéticos para el recalentamiento previo a su procesaje.

- Disminución de la historia térmica del compuesto. Al ahorrarse el ciclo de recalentamiento se conduce a la posibilidad de disminuir la dosis del estabilizador(es).

- Constancia en la historia mecánica del amasaje, lo que se refleja en mejoras de procesaje y acabado.

- Eliminación de la inversión requerida para equipos de enfriamiento, manejo y almacenamiento.

Hasta ahora ha sido tradición que la mezcla seca después de su preparación se enfríe lo más rápidamente posible, sobre todo si:

- La fase plastificante es de muy alto contenido, lo que la hace especialmente sensible al apelmazamiento.

- La carga de la mezcla seca es muy grande, se tiende a dificultar la disipación del calor y con ello se consume parte del estabilizador calculado para actuar durante los procesos ulteriores de fabricación.

Una vez hecha la mezcla seca, se deberá decidir, de acuerdo a su destino, como será su recepción, su conducción y su almacenamiento, ya que de ello dependen las medidas preventivas que se deberán tomar para obtener un producto final de buena calidad.

Durante la descarga, el enfriamiento, la conducción y el almacenamiento, las mezclas secas se deben proteger de entrar en contacto con atmósferas húmedas, ya que la humedad entrampada entre los gránulos de los ingredientes que forman la mezcla seca, poseen una gran superficie de posible condensación, y pudieran ocasionar muy serios problemas durante el procesaje de este hacia el producto final.

Sí para el traslado de la mezcla seca se utiliza (generalmente) un dispositivo neumático, el aire deberá ser seco, y como prevención, sus líneas deberán tener trampas que frecuentemente sean revisadas y purgadas para desalojar la posible humedad retenida. Otra prevención será el tener y mantener el equipo de enfriamiento, de conducción y de almacenamiento, lo más hermético posible para evitar accidentes y contaminaciones de medio ambiente. Como medida de seguridad coadyuvante a este fin y también para asegurar las óptimas condiciones de higiene del área de trabajo, la mezcladora en sí, deberá estar provista de una línea de venteo para los gases que pudieran llegar a desprenderse durante la preparación de las cargas.

Hay veces, que por condiciones de fórmula ó por no contar con un equipo posterior de gran capacidad de "amasaje" como un mezclador continuo o un bambury y también consideraciones de economía, se recurre a usar un mezclador de cinta o "ribbon blender" lento, en cuyo caso, hay veces que se logra hacer una predispersión de los ingredientes de la mezcla seca a relativa baja temperatura y sin ningún efecto de calentamiento por fricción, lo cual elimina la necesidad de un post-enfriamiento, pero, limita la absorción total de los ingredientes de fórmula. Estos equipos son usualmente de mayor capacidad de carga que la mezcladora y en ciertas circunstancias pueden resultar útiles.

2.1 SECUENCIAS EN LA PREPARACION DE MEZCLAS SECAS.

Es muy importante para un adecuado desarrollo de las propiedades y constancia de comportamiento de un compuesto de PVC, el que todos sus ingredientes esten homogéneamente dispersados y que esa dispersión sea adecuada y repetitiva carga tras carga.

Para lograr estas condiciones, es recomendable que se fije un ciclo de mezclado, ciclo de mezclado que no solo tomará en cuenta el orden de agregado de las materias primas, sino también las condiciones de temperaturas y en algunas ocasiones el tiempo para lograrla.

En el ciclo de mezclado se parte normalmente de la adición de la resina dentro de la mezcladora, resina que deberá prepararse físicamente lo mejor posible para aceptar por absorción/adsorción, todos los demas ingredientes de la fórmula.

El calentamiento de las resinas de PVC por masa o suspensión si no es excesivo (temperatura no superior de entre los 70 y 90 °C con tiempo de 2 a 3 minutos) se traduce en una dilatación de las partículas, sobre todo, cuando esa temperatura se logra mediante la agitación/fricción derivadas del impulso de las aspas del mezclador de alta velocidad ó en una proporción mucho menor por convección por contacto de las partículas contra las paredes calientes de la mezcladora; de alta o baja velocidad (por calefacción con vapor ó agua caliente). Las partículas de PVC, normalmente poseen "poros" ó "canículos" que también se dilatan (más si son producidos por el sistema de suspensión que por el de masa) aumentando con ello, considerablemente la superficie apta para entrar en contacto con los ingredientes que forman el compuesto. Este calentamiento puede iniciar una deshidratoración, por lo cual es recomendable adicionar lo más pronto posible los estabilizadores de plomo ó bario/cadmio solos o con zinc y otros sólidos.

Es a partir de este paso cuando dan inicio las secuencias recomendables para compuestos suaves o plastificados, rígidos o no plastificados con las siguientes secuencias entre las más recomendables para mezcladoras de alta velocidad.

OPERACION	TEMPERATURA	OBSERVACIONES
1.0 Alimentación de resina	Ambiente	Previa limpieza total del equipo
2.0 Calentamiento de resina sola o estabilizadores sólidos: Pb, Ba/Cd, Zn	Hasta los 70 - 90 °C	Mantener la mezcladora en 2da. velocidad (para acortar tiempo)

**3.0 Aditivos de otros
ingredientes de la fórmula**

Mantener la mezcladora en 2da. velocidad, adicionar los ingredientes por aspersión ó lentamente, pero a velocidad constante.

**3.1 Plastificantes:
Primarios y
Secundarios**

Entre los
70 - 90 °C

De ser posible, plastificantes precalentados igual a la resina.

**3.2 Estabilizadores
térmicos**

Entre los
70 - 90 °C

Predispersados en la fase plastificante ó solos cuando se trate de compuestos rígidos.

**3.3 Lubricantes
internos**

Entre los
80 - 90 °C

**3.4 Cargas y/o
pigmentos**

Entre los
90 - 95 °C

Usualmente es el penúltimo ingrediente de la fórmula.

**3.5 Modificadores de
Impacto**

Entre los
70 - 80 °C

Para los compuestos rígidos.

**3.6 Modificadores de
Flujo**

Entre los
90 - 95 °C

Para los compuestos rígidos.

3.7 Lubricantes externos	Entre los 95 - 110 °C	Para asegurar la dispersión preferente al exterior del compuesto.
3.8 Miscelaneos: protectores, antioxidantes, biocidas, antiflama	Entre los 70 - 80 °C 70 - 80 °C 70 - 80 °C 70 - 80 °C	Si es posible dispersos ó suspendidos en la fase líquida.
4.0 Descarga	Entre los 110 - 130 °C	Depende mucho de las condiciones de "sequedad" y del grado de humedad del medio ambiente.
5.0 Enfriamiento	Hasta la temperatura ambiente	Mantener las mezclas secas fuera de contacto del ambiente húmedo.
6.0 Alimentación		Por gravedad o por dosifi- cación y preferentemente con paro constante.

CAPITULO III

3.0 CONSIDERACIONES EN LA ELECCION DE UNA MAQUINA

EXTRUSORA.

Antes de considerar cualquier aspecto técnico, es necesario definir claramente el producto o los productos que se desean alabrar por medio del proceso de extrusión. Aun cuando lo anterior suena demasiado abvio, no debe olvidarse la importancia de este punto ya que por medio de la extrusión se pueden elaborar entre otros, los productos que se enumeran a continuación:

- Tuberías de PVC (Policloruro de Vinilo), PE (Polietileno), ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno), PP, (Polipropileno), etc..
- Mangueras de PVC, EVA (Etil-Vinil-Acetato).
- Lámina de ABS y PS (Poliestireno).

- Recubrimientos de conductores eléctricos con PVC y PE.
- Empaques de PVC para ventanería.
- Empaques de PS y ABS para refrigeradores.
- Perfiles de PVC para marcos de ventana, cancelería y aplicaciones industriales.
- Filamentos de nylon, polipropileno, etc..

Como se puede observar, la lista de productos manufacturados por extrusión puede ser muy amplia, de ahí la necesidad de definir los productos que deseamos producir por este proceso.

Cuando se planea la adquisición de una línea de extrusión, no podemos dejar de pensar en la posibilidad de utilizar ese equipo para la producción de diversos productos; sin embargo, es recomendable ceñirse a un criterio realista basado en las necesidades de producción, limitaciones técnicas y un amplio conocimiento de las características y propiedades de los polímeros, al mismo tiempo que debemos relacionarlos con los productos elegidos de acuerdo al párrafo anterior. Citemos un ejemplo: se desea instalar una línea de extrusión para producir película plana de PS, misma que servirá para elaborar empaques formados al vacío. En este caso, ¿por qué no pensar también en utilizar el mismo equipo para producir película de ABS, PVC rígido y Acetato de Celulosa? Sabemos que con este equipo lo podemos hacer, no obstante, se hace necesario definir cuáles son nuestras necesidades y nuestros objetivos respecto a las materias primas que utilizaremos en nuestro proceso.

Los termoplásticos para extrusión son suministrados en forma de pequeños granos cuya configuración puede ser esférica, cilíndrica, rectangular, cúbica, etc..



Figura 3.01

El PVC, aparte de las formas mencionadas, también es presentado en forma de polvo. Es importante determinar previamente la presentación del termoplástico que deseamos extruir, para considerarlo desde el punto de vista de selección de husillo; así mismo para planear un mejor manejo de materiales. Es decir, cuando se manejan materiales en forma de grano, se pueden planear instalaciones adecuadas para su manejo, que puede efectuarse además con bastante limpieza dentro del área de trabajo. Cuando se maneja PVC como polvo seco, se dificulta un tanto su manejo en sistemas automáticos.

Al técnico en extrusión se le pide que calcule el equipo adecuado para que satisfaga las necesidades del departamento de ventas, tanto actuales como futuras y es aquí donde debe establecer la producción requerida para satisfacer la demanda de su producto, ya sea en kilogramos por hora, con lo cual se pueden realizar los cálculos necesarios para fijar capacidad y tamaño de equipo considerando también los días laborables, mantenimiento, fallas de corriente eléctrica, etc..

3.1 ASPECTOS TECNICOS DE UNA MAQUINA EXTRUSORA.

La explicación o interpretación que se da acerca de los diferentes aspectos técnicos relacionados con las máquinas de extrusión, debe ayudar a establecer una relación entre los mismos para buscar la mejor elección del equipo desde el punto de vista estrictamente técnico.

3.1.1 Descripción de una Extrusora.

En la figura 3.1.1 se muestra un esquema de una máquina extrusora.

Como se puede apreciar, consta de una tolva por donde se introduce el polímero que se va a extruir; construida con lámina de acero y con un cierto ángulo de inclinación para facilitar el movimiento del material que contiene. Su volumen de almacenamiento varía de acuerdo al tamaño de la extrusora y se puede remover fácilmente para efectos de limpieza, ya que solo está fijada por tornillos comunes.

La bancada es la base metálica que sustenta a todas las partes de la maquinaria y su construcción debe poseer la suficiente robustez para ello.

El motor de accionamiento está acoplado al sistema de transmisión o al reductor de velocidad, siendo esta parte la que proporciona la potencia necesaria para hacer girar el husillo.

(Sterling Extruder Corp.)

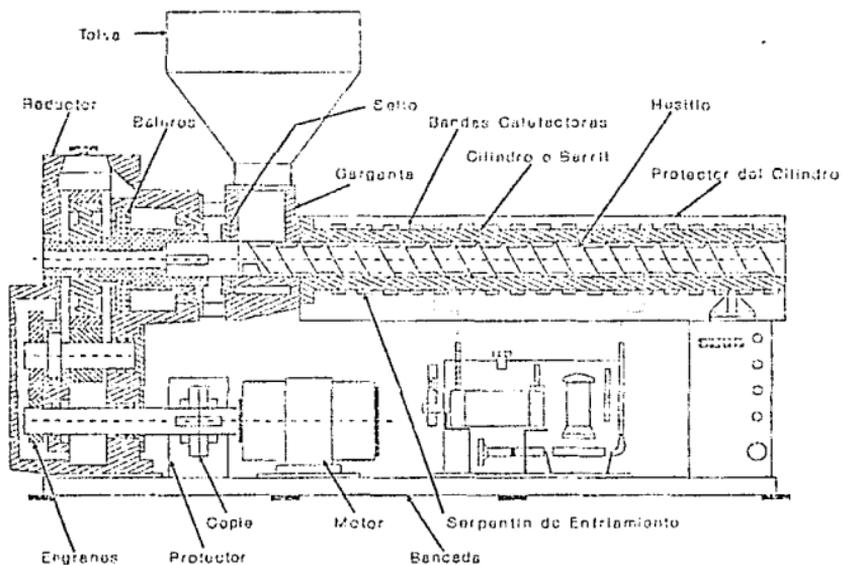


FIGURA 3.11

La garganta de la zona de alimentación, generalmente es una pieza independiente localizada entre el reductor de velocidad y el cilindro o cañón. Está provista de canales o perforaciones de enfriamiento para evitar la aglomeración del material justamente a la entrada de la máquina y eliminar así la formación de un puente que entorpezca la entrada del material o que forme aglomerados difíciles de tomar por el husillo.

El tablero de control contiene los aparatos de control y dispositivos para controlar el funcionamiento de la máquina, esto es, pirómetros, amperímetros e interruptores de encendido o apagado. Dicho tablero se instala a un costado de la máquina.

La unidad de extrusión propiamente dicha, consta de un cilindro o cañón construido en acero centrifugado, que lleva en su interior la parte complementaria que es el husillo. Alrededor del cilindro se localizan las resistencias o bandas calefactoras, que se encargan de proporcionar el calor necesario para fundir al material que es conducido por el husillo. En el cilindro también se encuentran colocados los sistemas de enfriamiento utilizados para efectos de control.

El husillo, conocido también con los nombres de tornillo o gusano, es de hecho, el corazón de la máquina de extrusión y en donde se han realizado la mayor cantidad de desarrollos teóricos y prácticos para mejorar la tecnología del proceso de moldeo por extrusión.

3.2 PRINCIPIOS BASICOS DE LA EXTRUSION.

Como ya se mencionó, la conversión de un material plástico en un producto de determinada configuración, se hace forzando ese material ya fundido a través de un orificio o dado bajo condiciones controladas. Para ello, es necesario cumplir con ciertos requisitos tanto de equipo como de materia prima. El equipo debe ser capaz de proporcionar suficiente presión sobre el material en forma continua y uniforme y poseer los medios necesarios para reblandecerlo y hacerlo procesable. Asimismo, el material debe comportarse de tal manera que cuando llegue a un cierto estado de fluidez, pueda fluir bajo presión y solidificar cuando cambien las condiciones del procesamiento.

Las máquinas de extrusión constan de un husillo de forma especial que gira dentro de un cilindro o barril calentado, en el cual se tiene una abertura tangencial o radial en un extremo y una abertura axial en el otro. Entre el extremo final del husillo y el dado, se localiza una restricción en forma de placa, provista de un gran número de perforaciones que se conoce como placa porta mallas, que reduce un gradiente de presión a lo largo del husillo. Al girar el husillo, éste toma el material en la abertura de alimentación, lo transporta a lo largo del cilindro calentándolo y lo compacta contra la placa porta mallas efectuándose así un incremento de presión. Durante este período, es forzado y puesto en contacto con las paredes calientes del cilindro y sometido a la vez a esfuerzos cortantes, de tal manera que se logra un calentamiento por fricción. Los efectos combinados del barril caliente y del calor debido a la fricción interna, provoca que el termoplástico se suavice y se funda para que sea forzado a través de la restricción del dado de extrusión para llegar a tener la forma deseada del producto.

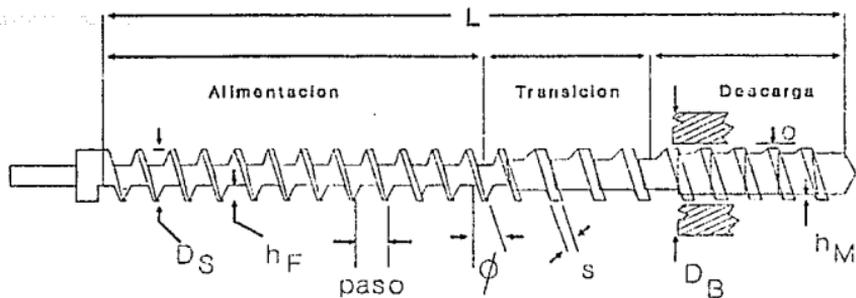
3.3 GEOMETRIA DEL HUSILLO.

Los materiales termoplásticos difieren grandemente uno de otro respecto a sus propiedades mecánicas y térmicas. La dureza, la temperatura de fusión, la viscosidad de masa fundida, los calores específicos y las conductividades térmicas, cubren un amplio rango de valores y a la vez, son factores que influyen en cierto grado sobre el diseño de los husillos.

De hecho, un husillo se diseña normalmente de acuerdo a características de un material en particular y es difícil que un husillo pueda procesar adecuadamente diversos materiales termoplásticos. La tendencia es diseñar un husillo para una combinación de material-dado en forma particular y en ocasiones se llega a recomendar más de un husillo para un mismo material si se altera radicalmente la configuración del dado.

En la figura 3.3.1 se muestran las partes del husillo típico.

Un husillo se divide en tres zonas; alimentación, transición o compresión y descarga o bombeo. La zona de alimentación como su nombre lo indica, toma al material que se encuentra en forma de grano, cubo, esfera, cilindro o polvo, lo transporta, lo comprime, lo precalienta y lo alimenta a la zona de compresión.



D_B = Diametro del cilindro

D_S = Diametro del husillo (nominal)

ϕ = Angulo de helico

s = Ancho de Filete

h_F = Profundidad primera estria (zona de alimentacion)

h_M = Profundidad ultima estria (zona de descarga)

L = Longitud del husillo

o = Claro cilindro-husillo

HUSILLO TIPICO

FIGURA 3.3.1

La zona de transición o compresión es así llamada debido a que aquí se efectúa la transición del termoplástico sólido a su estado viscoelástico. En esta zona no solamente se tienen que plastificar o fundir al material, sino que lo debe transportar a la zona de descarga como una masa fundida compacta libre de burbujas de aire o de algún otro componente volátil. Además, el material durante su paso a través de esta zona, debe estar suficientemente viscoso y deformable para que sea calentado y mezclado homogénea y uniformemente y llegue a la siguiente zona como un fluido viscoso libre de puntos no fundidos.

La zona de descarga es la parte final del husillo que acepta al material plastificado o fundido proveniente de la zona de compresión, para homogeneizarlo, calentarlo eventualmente y enviarlo al dado a una presión y volumen constante.

El diámetro y la longitud de un husillo están relacionados entre sí por una relación conocida como relación L/D. El valor del diámetro se refiere generalmente al diámetro real del cilindro y al diámetro nominal del husillo cuyo valor es ligeramente inferior al valor del diámetro del cilindro. Para las primeras máquinas de extrusión, la relación L/D era de 10:1 ó 16:1, aumentando posteriormente a 20:1 y 24:1 que son las más usuales en la actualidad. Los fabricantes de extrusoras también ofrecen relaciones L/D de 28:1, 30:1 y 36:1.

En los países donde se utilizan el sistema inglés de medición, los diámetros más comerciales de extrusoras son: 1", 1 1/4", 1 1/2", 1 3/4", 2", 2 1/2", 3 1/2" y 4 1/2"; en casos excepcionales construyen extrusoras cuyos diámetros son 6", 8", 10" y 12". En los países que utilizan el sistema métrico decimal, los diámetros más comerciales son: 30 mm, 50 mm, 60 mm, 75 mm, 90 mm, 120 mm y 150 mm.

Los fabricantes de maquinaria consideran la longitud del husillo desde la primera estría hasta el extremo del husillo.

Al aumentar la longitud efectiva del husillo, se obtiene una mejoría respecto a producción, eficiencia y economía.



La principal ventaja de una relación L/D mayor es que se logra una mejor capacidad de calefacción en la zona de alimentación y un mejor mezclado en la zona de descarga, además de que se llega a un control adecuado de temperatura a lo largo del cilindro, con lo cual se obtiene una mejor calidad del extruido.

El paso del Husillo es la distancia horizontal tomada de centro a centro entre dos filetes o estrías del husillo. Para husillos tradicionales, el paso corresponde al valor de su diámetro.

El ángulo del filete es el ángulo de hélice que se tiene entre el filete y el plano transversal del husillo. La experiencia ha demostrado que una hélice que avanza una vuelta por diámetro nominal del husillo, proporciona excelentes resultados. Este ángulo tiene un valor de 17.8 grados.

El paso y el ángulo de hélice del filete, junto con la velocidad periférica del husillo, son factores importantes que influyen en la capacidad de producción de una máquina. También ejercen influencia sobre la cantidad de esfuerzo cortante aplicado al material y a la generación de calor por fricción.

El ancho del filete tiene un valor de 0.1D o bien, puede estar comprendido entre el rango de 0.08D a 0.12D.

Cuando se tienen filetes angostos se puede llegar a provocar un incremento en la pérdida de flujo disminuyendo la productividad de la máquina, particularmente con materiales de baja viscosidad. Por otro lado, si los filetes son muy anchos, se incrementa la demanda de potencia y se corre el riesgo de que se produzcan sobrecalentamientos que pueden ser dañinos para materiales como el PVC.

La profundidad del canal es la distancia perpendicular desde el tope del filete hasta la superficie del núcleo central del husillo.

El dato de la relación de compresión, es uno de los más importantes factores que debemos conocer para elegir una extrusora en función del tipo de polímero que necesitamos procesar. En el proceso de moldeo por extrusión, cada polímero requiere de un valor específico de relación de compresión, existiendo la posibilidad de que para un mismo material se requieran diferentes relaciones de compresión. La relación de compresión es el factor que se obtiene de dividir el volumen desarrollado por el primer canal del husillo localizado en la garganta de alimentación, entre el volumen desarrollado por el último canal del husillo,

localizado justamente antes de la descarga. Los valores típicos están comprendidos entre el rango de 2 a 4, que se expresan como 2 : 1 ó 4 : 1.

Para efectos prácticos, la relación de compresión se determina midiendo físicamente la profundidad del primer canal, la cual se divide entre la profundidad del último canal del husillo. Sin embargo, si nos apegamos a la definición, la relación de compresión se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{H_a (D - H_a)}{H_d (D - H_d)}$$

Donde:

R_c , relación de compresión

H_a , profundidad del primer canal del husillo

H_d , profundidad del último canal del husillo

D , diámetro del husillo

La importancia del claro libre que existe entre los filetes del husillo y la pared interna del cilindro se manifiestan claramente en la siguiente figura:



Aquí se puede apreciar que a medida que aumenta el espacio libre entre el cilindro y el husillo, disminuye la producción de la máquina. En pruebas efectuadas con una extrusora de 63 mm. (2 1/2"), girando a 72 rpm se obtuvieron los siguientes datos:

Claro	Kg/hr.
0.0025 *	59.1
0.0055 *	57.3
0.0105 *	53.6

En general se recomienda que el claro óptimo sea de: $2D \times 10^{-3}$. Por los datos anteriores, después de un cierto tiempo, conviene revisar periódicamente el desgaste experimentado por el husillo, de acuerdo a las horas de trabajo y al tipo de material procesado; en caso de que ya se tengan manifestaciones de desgaste, el husillo se puede cromar depositando un recubrimiento determinado para reducir el espacio libre mencionado. Con ello, se vuelve a mejorar la productividad de la máquina.

Los husillos se pueden construir con acero 4140 o con aleaciones especiales y someterse posteriormente a un tratamiento de nitruración o cromado, Los husillos nitrurados resisten altas temperaturas aunque son susceptibles al desgaste por corrosión. Los husillos cromados se recomiendan para PVC por su resistencia a la corrosión. Para mejorar la resistencia a la corrosión y a la abrasión de un husillo, se efectúa un tratamiento especial a los filetes del mismo, ya sea endureciéndolos a la flama, o por medio de soldadura de aleaciones especiales.

El cilindro o cañón, está construido en acero y puede ser sometido a un tratamiento de nitruración para endurecerlo. También se le puede colocar un forro interior de una aleación dura y resistente a la abrasión. Este forro se coloca por centrifugación; siendo la aleación más utilizada la que se conoce como aleación X (X-Alloy).

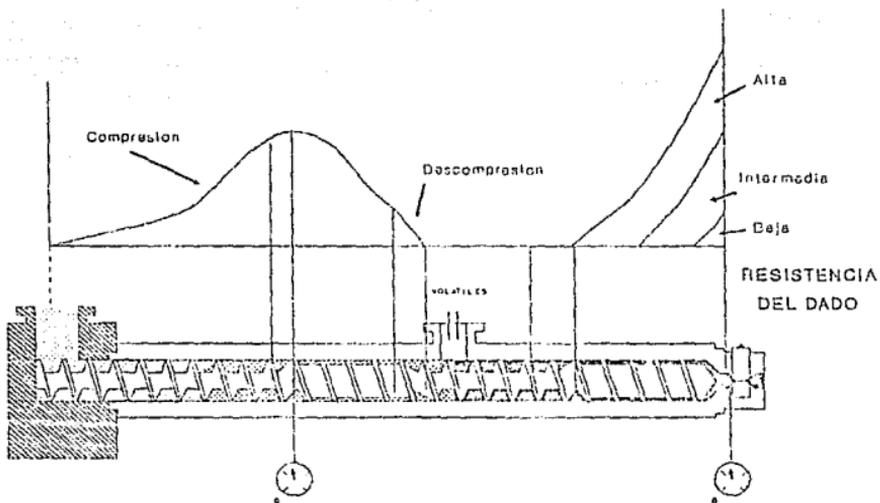
En general, el acero que se empleó para construir un husillo, debe poseer una alta resistencia a la torsión y no debe ser difícil de maquinar. Asimismo, su tratamiento térmico debe ser el adecuado para procesar al termoplástico que se indica por el comprador.

Cuando se procesan materiales higroscópicos o materiales con un alto contenido de humedad, la cual se presenta como agua de cristalización absorbida sobre la superficie o atrapada entre los granos del termoplástico, es aconsejable utilizar extrusoras provistas de desgaseificación, para evitar imperfecciones sobre la superficie del producto extruido que se reflejan como burbujas. Estas burbujas no solo se presentan por efecto de humedad, sino que también son provocadas por el aire atrapado o por aditivos de bajo punto de ebullición. Las imperfecciones citadas se evitan removiendo la humedad, aire o gases, antes de que el material llegue a la zona de descarga.

El sistema más común de desgasificación es una extrusión en dos etapas, es decir, que de hecho se tienen dos husillos en serie sobre una misma flecha. El material se funde, se genera una presión, la cual se libera al llegar a la segunda etapa que es donde se realiza la extracción de los gases a través del cilindro obteniéndose a continuación una nueva generación de presión para llegar propiamente a la extrusión del material fundido.

En la figura 3.3.2 se puede apreciar que en la primera etapa, el husillo tiene delimitadas las zonas de alimentación, compresión y primera zona de descarga. En la segunda etapa se tiene la zona de venteo y la segunda zona de descarga. La desgasificación se efectúa a la altura del tercer filete de la zona de extracción. Los canales del husillo en esta parte, deben ser llenados solo parcialmente con el material fundido para dejar un espacio lo suficientemente libre que permita el escape de los gases. La relación L/D para un husillo desgasificador debe tener un mínimo de 24 a 1. Se recomienda que la perforación del cilindro para desgasificar, se conecte a una bomba de vacío para facilitar aún más la extracción de los gases.

Cuando se procesa PVC flexible sobre todo para producir productos transparentes, la calidad del producto puede mejorarse sin disminuir el rendimiento, si se proporciona enfriamiento al husillo y se incrementa su velocidad de giro. Con un husillo provisto de enfriamiento interior, la plastificación del polímero es más intensa que la que se logra con un husillo sin enfriamiento, debido que el material se somete a mayores esfuerzos cortantes causados por el enfriamiento del husillo, ya que con el enfriamiento se llega a una disminución efectiva de la profundidad de los canales de la zona de descarga del husillo incrementando así la relación de compresión.



ZONAS DEL HUSILLO

FIGURA 3.3.2

El aceite puede utilizarse como medio de enfriamiento para evitar los problemas de corrosión o de incrustaciones, asociados con los sistemas de enfriamiento de agua. El usar aceite también tiene la ventaja adicional de un mejor control de temperatura de enfriamiento.

Veamos ahora lo referente a las extrusoras de doble husillo. Entre las características más importantes tenemos que la relación L/D es menor con respecto a las extrusoras monohusillo, ya que las longitudes del husillo se encuentran entre 12 y 16 D . Por el diseño de los husillos, la relación de compresión no se puede calcular para las extrusoras de doble husillo. Este valor puede conocerse para una sección de los doble husillos, sin embargo, no es un valor determinante ya que aquí es más importante conocer la disposición y dirección de giro de los husillos.

El sentido de giro de los husillos, puede ser en direcciones opuestas, o sea, ser contra-rotantes o bien, pueden girar en la misma dirección, es decir, ser co-rotantes. La disposición de los husillos, puede ser en tres formas: abiertos o separados entre sí, semi-enlazados y enlazados.

Técnicamente, las extrusoras de doble husillo son más complicadas que las mono husillo. Sin embargo, por su funcionamiento y capacidad de producción se ha incrementado su demanda.

La fusión y plastificación del material en máquinas de doble tornillo se efectúan de diferente manera con respecto a las máquinas monohusillo. En éstas, el material se funde, se plastifica y se mezcla por la fricción interna, por esfuerzos cortantes y por el calor transmitido a través del cilindro.

En el caso del doble husillo, se tienen menores esfuerzos cortantes y menor fricción, ya que posee estrías o canales de mayor profundidad y gira con un número de revoluciones considerablemente menor. A causa del transporte forzoso, se alcanzan presiones de expulsión más elevadas y un factor de expulsión mayor. Con el mismo diámetro y el mismo número de revoluciones, un doble husillo expulsa aproximadamente una cantidad tres veces mayor con respecto a un monohusillo del mismo diámetro nominal.

En estas máquinas se requiere controlar la dosificación del material para que los canales de los husillos se llenen parcialmente y evitar un incremento de presión dentro del cilindro.

En las máquinas de doble husillo, también se tienen modelos con desgaseificación para expulsar aire atrapado o material volátil; o bien, para poder procesar materiales higroscópicos sin necesidad de secado previo.

Debido a sus características de procesamiento, las máquinas de doble husillo pueden procesar PVC en polvo, con formulaciones que contienen menor cantidad de estabilizadores al calor y con la ventaja adicional de obtener una alta productividad.

El rango de velocidad de giro de un husillo en RPM (revoluciones por minuto) varía de acuerdo a su diámetro y a la capacidad de los rodamientos para resistir la carga al estar procesando el termoplástico. En máquinas monohusillo hasta 60 mm de diámetro, se tienen velocidades comprendidas de 10 a 120 RPM. En este rango, algunos fabricantes pueden ofrecer máquinas con velocidades hasta 180 ó 200 RPM. En extrusoras de 90 a 120 mm, el rango de velocidad se encuentra entre 10 y 60 u 80 RPM.

Para máquinas de doble husillo, la velocidad de giro es de 5 a 50 ó 60 RPM. Es conveniente que la extrusora esté provista de un tacómetro para establecer y controlar la velocidad óptima del husillo al transformar un material termoplástico.

Es muy importante señalar que en muy contados casos se llega a utilizar la velocidad máxima del husillo, ya que se tiene que encontrar la velocidad óptima en función del material a extruir, dimensiones y características del dado y del producto, capacidad de enfriamiento disponible y capacidad del sistema de arrastre.

Si un equipo de extrusión se va a utilizar para procesar diferentes polímeros, es necesario definir su número y características para que el fabricante pueda recomendar los husillos que se requieren para su procesamiento.

Puede presentarse el caso de que para un mismo polímero se requiera más de un husillo. Por el comportamiento o características diferentes de los polímeros no se ha logrado diseñar un husillo universal que pueda procesar un gran número de termoplástico. En el momento dado, un buen operador o técnico en extrusión puede lograr procesar más de un polímero con un mismo husillo, aunque aquí existe el riesgo de que lo haga sacrificando productividad, que a la postre resulta más costoso que el precio de un husillo diseñado para un uso específico.

3.4 ACCIONAMIENTO Y CALEFACCION.

En esta sección, se tratarán los aspectos relacionados con los sistemas de accionamiento del husillo así como de los sistemas de calefacción del cilindro.

MOTOR DE ACCIONAMIENTO.

La mayoría de las extrusoras están equipadas con un motor eléctrico y un sistema de transmisión que accionan continuamente al husillo a velocidades variables.

Los motores eléctricos utilizados en máquinas de extrusión pueden ser de corriente alterna o de corriente directa. Ambos tipos van acoplados a un sistema de reducción y variación de velocidad que se verá más adelante.

Los motores de corriente directa generalmente son de mayor costo, pero se consideran más precisos y permiten una gran facilidad en cuanto a variación de la velocidad del husillo en cualquier momento.

Una vez que conocemos el tipo de motor que se usa para accionar al husillo, se debe obtener el dato de su potencia en HP o KW, con el fin de calcular en parte las necesidades de energía y relacionar esa potencia con el concepto de eficiencia de la máquina. En efecto, la eficiencia de la extrusión es una medida de

la potencia necesaria para extruir un material termoplástico y se expresa en kilogramos por hora por HP.

	Kg / Hr / Hp
PVC RIGIDO	3.0 - 4.5
PVC PLASTIFICADO	4.5 - 6.0
POLIESTIRENO IMPACTO	3.5 - 5.5
ABS	2.2 - 4.0
POLIETILENO BD	3.0 - 4.5
POLIETILENO AD	2.0 - 3.5
POLIPROPILENO	2.2 - 4.5
NYLON	3.5 - 5.5

Eficiencia de extrusión

Tabla 3.4.1

El motor eléctrico instalado en una extrusora puede tener una potencia de 1 a 200 ó más HP.

Generalmente, los fabricantes europeos proveen a sus equipos con capacidades de motores justamente suficientes para accionar la máquina, a diferencia de los fabricantes estadounidenses, que proveen las extrusoras con motores ligeramente excedidos en capacidad como un factor de seguridad. Los fabricantes nacionales siguen un criterio que se ajusta a lo indicado por la firma que les proporciona tecnología o bien, a instalar la potencia suficientemente adecuada.

Para algunas máquinas de extrusión-soplado, se emplean motores hidráulicos para proporcionar el accionamiento del husillo, con lo que se puede lograr un amplio rango de variación de velocidad y un fácil mantenimiento, pero el inconveniente de que a bajas velocidades de extrusión proporciona insuficiente potencia por ser un sistema constante de par de torsión.

VARIADOR DE VELOCIDAD.

La velocidad de extrusión se puede variar por medio de diferentes sistemas, entre los más usuales se cuentan los siguientes:

Sistemas Mecánicos que usan poleas de diferentes diámetros. Son sistemas económicos y útiles hasta cierto punto. El inconveniente es que solo se puede tener una velocidad, la cual se puede variar intercambiando poleas de diferentes diámetros.

Sistemas de Embrague Magnético que son virtualmente tan económicos como los sistemas mecánicos, no proporcionan suficiente potencia a bajas velocidades o con materiales rígidos, ya que es un sistema de par de torsión constante.

Sistema Mecánico de Variación que utiliza una banda que une dos poleas de diámetro útil variable. Esto significa que al abrir o cerrar dichas poleas se puede variar la velocidad del husillo.

Sistema Mecánico de Engranajes el cual utiliza engranes de diferentes diámetros para obtener un número fijo de velocidades. Aún cuando es un sistema económico, y que puede dar resultados satisfactorios, tiene el inconveniente de que es necesario detener la extrusión para poder cambiar la velocidad.

Sistemas con Motores de Corriente Directa los cuales van acoplados a un sistema de transmisión. Su uso se ha incrementado debido a que proporciona facilidad para cambiar de velocidad, son más precisas y operan con mayor eficiencia, con lo cual contrarrestan su alto costo.

RODAMIENTOS O BALEROS.

Los baleros son componentes muy importantes en una máquina de extrusión, ya que tienen un importante efecto sobre su condición y capacidad de producción. Algunos autores de tratados de extrusión coinciden en que los baleros de bolas no son los más apropiados debido a que no tienen una capacidad de carga axial suficientemente alta, por lo que es común que se utilicen baleros cilíndricos o de rodillos.

Los baleros están diseñados para operar bajo condiciones específicas de carga y su vida efectiva puede estimarse de acuerdo a estas condiciones, por lo que, una sobre carga puede reducir su vida de servicio. Es importante pues, que los baleros instalados posean un exceso en su capacidad de carga, ya que en algunas ocasiones puede presentarse el caso de que una máquina se ponga en marcha con material en el husillo insuficientemente calentado, lo cual provoca una sobre carga en los cojinetes.

SISTEMAS Y ZONAS DE CALEFACCION.

Uno de los principales requisitos de una máquina de extrusión para termoplásticos, es que debe ser capaz de elevar la temperatura del material que pasa a través de ella, con un gasto controlable a determinada velocidad de trabajo y de acuerdo a sus características térmicas. Por lo tanto, una máquina de extrusión debe estar provista de un sistema de calentamiento capaz de controlar con exactitud las condiciones de operación en un amplio rango de temperatura.

Existen tres métodos de calefacción para una extrusora:

- a) Calefacción eléctrica.
- b) Calefacción por flúidos.
- c) Calefacción por vapor.

Independientemente del sistema de calefacción utilizado, se tienen zonas de calefacción en el cilindro de acuerdo al tamaño de la extrusora. El hecho de tener varias zonas de calefacción se debe a que de esta manera podemos variar y controlar las condiciones de operación en el proceso de extrusión. Recuérdese que para procesar un material termoplástico debemos fundirlo a medida que recorre la distancia comprendida desde la toiva de alimentación, hasta que sale del dado completamente fundido y homogeneizado. Por ello, se necesita ajustar las temperaturas de operación de cada zona del husillo para controlar la viscosidad de la masa fundida.

- a) Calefacción Eléctrica.

Este sistema ofrece una variedad de ventajas como son:

Limpieza, amplio rango de temperatura de operación, facilidad de mantenimiento, economía y eficiencia. La calefacción se logra por medio de resistencias eléctricas en forma de bandas que se instalan alrededor del cilindro. La eficiencia de estas resistencias depende de un contacto uniforme y efectivo sobre la superficie del cilindro.

- b) Calefacción por medio de Flúidos.

El fluido más comunmente usado para calentar una extrusora es el aceite, aunque este sistema no ha tenido una difusión amplia entre los fabricantes de extrusoras.

c) Calefacción por Vapor.

Este sistema de calefacción es el más antiguo en aplicación para el calentamiento de extrusoras, y el menos utilizado para tal fin, por lo que su utilización se menciona únicamente como un hecho histórico.

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.

En las extrusoras modernas, diseñadas para trabajar a altas velocidades y con cilindros de gran longitud, un buen sistema de enfriamiento es de gran importancia para abatir rápidamente cualquier incremento en las temperaturas de operación que perjudique la calidad del producto extruído. Uno de los sistemas más utilizados consiste en la instalación de ventiladores que son accionados automáticamente al producirse un incremento en la temperatura. Otro sistema utiliza agua fría que se hace circular a través de un serpentín colocado alrededor del cilindro. De hecho, los dos sistemas son eficientes por lo que, en este punto lo más importante es que la máquina esté provista de un sistema de enfriamiento.

APARATOS DE CONTROL.

Una máquina de extrusión debe estar provista de los aparatos de control necesarios para fijar sus condiciones de operación. Aparte del tacómetro se requiere de termopares que están conectados a los pirómetros, cuya función es medir las temperaturas de procesamiento.

Es necesario comprender que al iniciar el calentamiento de una extrusora, la temperatura que registra el pirómetro se refiere únicamente a la temperatura real en el cilindro mas no a la temperatura del husillo. Después de un determinado tiempo de calefacción y despues de iniciar el procesamiento de un termoplástico, se llega a un equilibrio entre la temperatura del husillo y la temperatura del cilindro, que de hecho es la misma que registra el pirómetro.

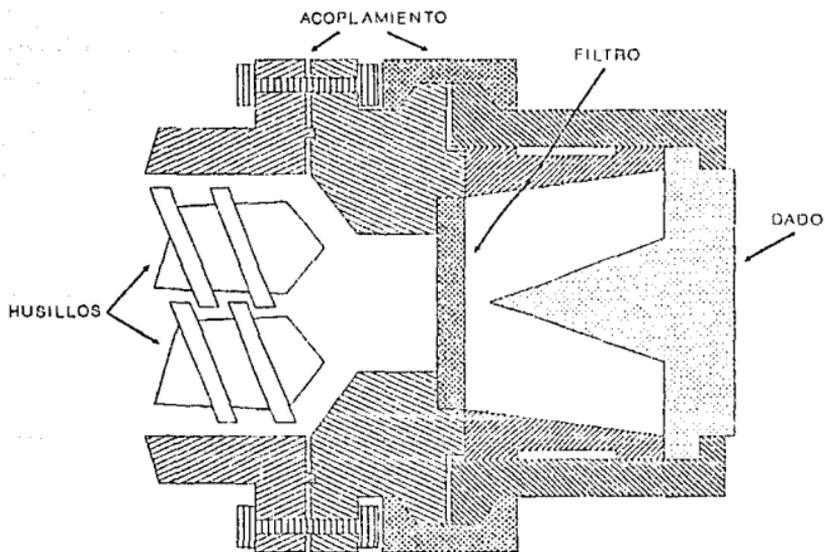
Es importante hacer notar que un pirómetro requiere de un buen mantenimiento para poder confiar en la lectura registrada, ya que así podremos regular nuestras condiciones de operación.

Entre otros instrumentos instalados en una extrusora se tienen amperímetros, voltímetros, controles de contrapresión, manómetros, etc..

CRIBA, FILTRO DE MALLAS Y BRIDA DE ACOPLÉ.

Generalmente en el espacio entre cilindro y cabezal, a la manera de acople y superficie de sello entre ambas conducciones va montada una pieza de acero en forma de disco, provista de múltiples perforaciones por las que pasa el plástico derretido desde la extrusora al cabezal. Esta pieza recibe el nombre de criba y cumple múltiples funciones, algunas de ellas no bien comprendidas y otras innecesarias usando materiales de desarrollo más reciente.

Una de las funciones fundamentales de la criba es la de "enderezar" y uniformizar el flujo de plástico que abandona al tornillo en forma de cinta.



ESQUEMA DE UN FILTRO DE MALLAS Y BRIDA DE ACOPLE

Otra de las funciones, muy importantes en viejas extrusoras es la de transmitir calor a las venas de fluido más alejadas de las paredes del cilindro.

Finalmente una función muy importante es la de soporte del paquete o filtro de mallas.

Este filtro consiste en varios discos de malla de alambre (generalmente de acero inoxidable o metal monel) yuxtapuestos, que se apoyan contra la criba y a través de los cuales debe recurrir el plástico derretido antes de pasar por los orificios de la criba.

Las funciones de este paquete de mallas son:

- Retener porciones de material no suficientemente derretido hasta que se caliente y ablande.
- Retener cuerpos sólidos extraños.
- Retener porciones de polímero inhomogéneas por ser de mayor peso molecular que el promedio.
- Crear la resistencia o contrapresión necesaria para el adecuado régimen de plastificación de la extrusora.

Por supuesto que el grosor de estas mallas cuando constituyen una pila ó "paquete" debe crecer en el sentido del flujo para que cada una sirva de soporte mecánico de la anterior.

La criba debe presentar al filtro una superficie plana con las perforaciones correspondientes generalmente distribuidas en tres bolillas.

Finalmente el cabezal se unirá al cilindro por medio de un par de bridas de acople generalmente vinculadas por un peron o articulación y unidas por una cantidad de bulones de anclaje.

Existen diferentes modelos de bridas de acople, como por ejemplo: a bayonetas, a doble cono opuesto, por mencionar algunas. Pero independientemente del modelo, la misión de todos ellos es el oprimir al cabezal contra la criba y a esta contra el cilindro de la máquina para mantener rígido, alineado y libre de fugas de material a todo el conjunto.

CABEZAL O DADO.

El cabezal es la parte de la máquina de extrusión que recibe el material derretido y dotado de presión en forma de un flujo laminar circular (proveniente de la criba) y bajo ciertas y determinadas condiciones lo conduce transformando gradualmente la sección de pasaje hasta llegar a la sección del producto final extruido.

Sintetizando entonces, podemos decir que el cabezal es un tipo muy especial de conducción de fluidos.

En los párrafos siguientes se descubrirán los tipos más difundidos de cabezales dejando en claro que la relativa sencillez de construcción de estos elementos, más asimilables a matrices que a la máquina de extrusión en si; ha dado como resultado la proliferación de "diseños y constructores" de cabezales y por lo tanto también la proliferación de variantes más o menos aceptables en los diseños básicos.

La intención de exponer nada más lo esencial de estos diseños básicos, es que en la industria pueden existir diseños que se aparten totalmente de los aquí expuestos y que tengan inclusive mejores funcionamientos.

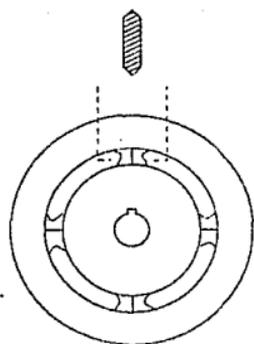
En cuanto a los materiales de construcción, mucho tiene que ver con la forma de las piezas impuestas por el diseño fluodinámico de la conducción.

CABEZAL ESTANDAR PARA CAÑOS.

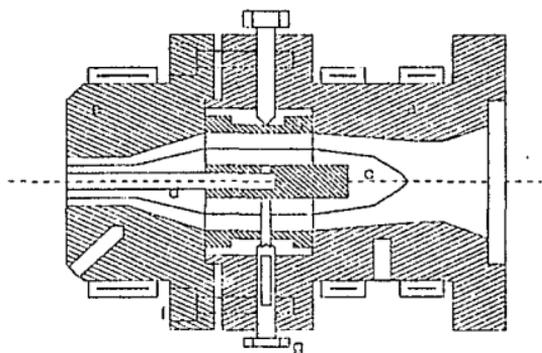
En la figura 3.4.2 puede verse la sección de una versión simple de este cabezal.

Sus partes integrantes principalmente son:

- a) Cuerpo
- b) Araña
- c) Torpedo
- d) Boquilla Macho
- e) Boquilla Hembra
- f) Tornillos de Unión
- g) Tornillo de Centrado de la Boquilla Macho



DETALLE ARANA



CABEZAL ESTANDAR PARA CAÑOS

FIGURA 3.4.2

En este detalle puede verse la vista frontal de la araña con la sección (tipo pilar de puente o de diseño fluido dinámico) de los soportes que vincula el aro exterior al cubo central.

Observese además el flujo de aire exterior a través de la pata de araña y del centro de la boquilla macho.

CABEZAL PARA PERFILES DERIVADOS DEL ESTANDAR.

En algunos casos de perfiles huecos puede usarse un cabezal de diseño semejante al estandar con la diferencia en el formado de la boquilla macho y de la boquilla hembra.

Este sería el caso de perfiles tubulares cuadrados o rectangulares.

En algunos casos pueden presentar costillas o apéndices y dichas costillas se generan por medio de canales o cortes practicados en la boquilla macho.

CABEZAL PARA CABLES.

Este tipo de cabezal debe tener un eje en una dirección transversal a la del eje de la extrusora.

Ello se debe a que el alambre a recubrir debe pasar tenso por dentro del cabezal y por lo tanto coincidir con el eje del mismo sin interferir con la extrusora.

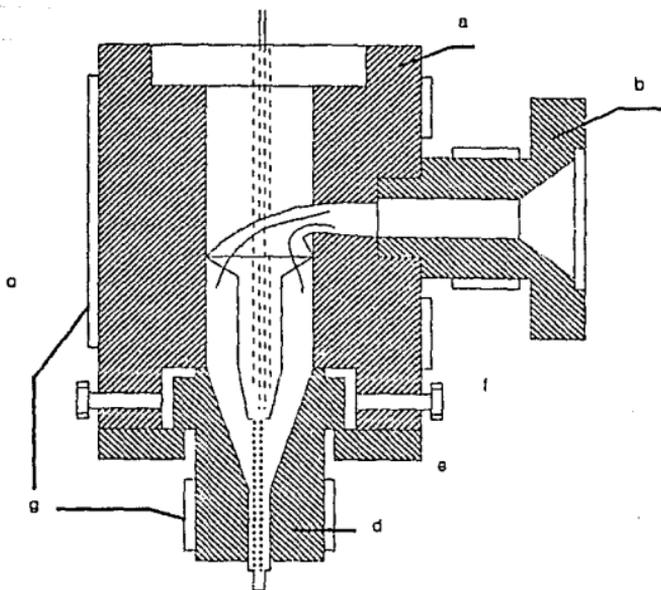
En el esquema de la figura 3.4.3 se muestra este cabezal compuesto de las siguientes partes:

- a) Cuerpo
- b) Cuello
- c) Boquilla de Guía del Alambre (interior) y del Flujo del Material (exterior)
- d) Boquilla Hembra (centrable)
- e) Anillo de Retención de la Boquilla Hembra
- f) Tornillo de Centrado de la Boquilla Hembra
- g) Bandas Calefactoras.

De todas ellas, la más delicada en lo que respecta a diseño es la boquilla de guía del alambre y del termoplástico, pues como puede verse, es la que se encarga de cambiar de dirección angular y de disposición (de un filete cilíndrico a una corona circular) al flujo de termoplástico logrando que la presión del mismo sea uniforme en la sección anular de salida.

CABEZAL PARA PELICULA TUBULAR SOPLADA.

Este cabezal es similar al anterior en tanto que también debe proporcionar al flujo termoplástico un camino transversal a 90° y también pasar de un flujo cilíndrico lleno a un flujo tubular o de sección corona circular.



CABEZAL PARA CABLES

FIGURA 3.4.3

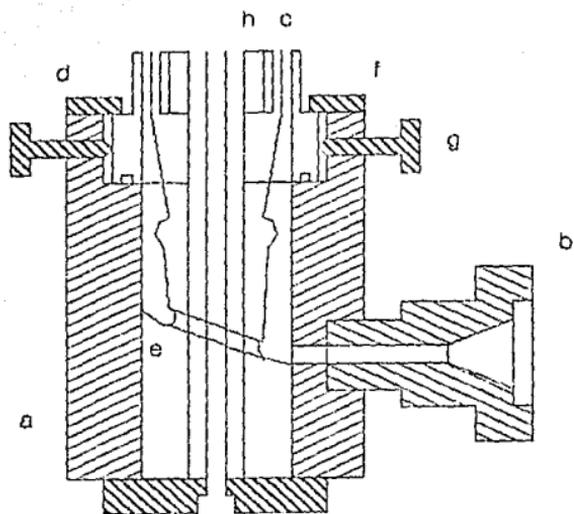
Como las ejecuciones corrientes de este cabezal son muy variadas, en las figuras 3.4.4, 3.4.5, 3.4.6 y 3.4.7 ejemplificamos las cuatro más difundidas:

- a) Normal de entrada lateral para pequeños anchos.
- b) Normal de entrada lateral para grandes anchos.
- c) Chato.
- d) Con codo y entrada central.

Esta última ejecución es la que más se adapta a materiales térmicamente sensibles.

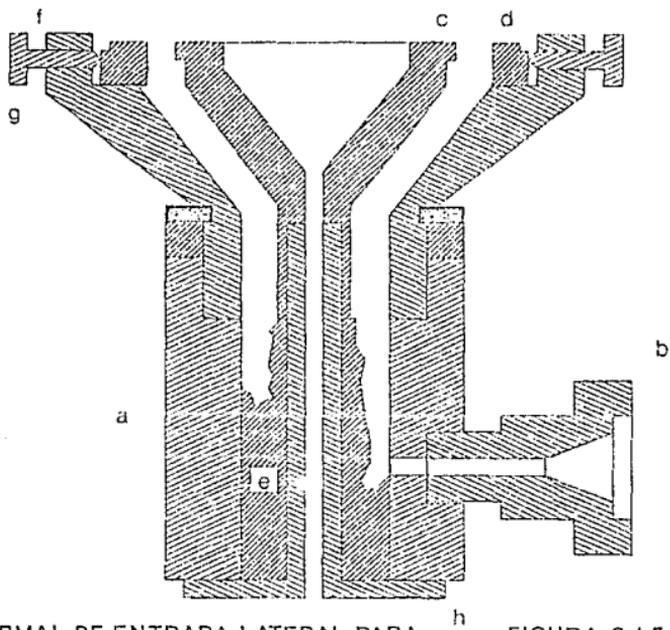
Las partes constitutivas son:

- a) Cuerpo
- b) Cuello
- c) Boquilla macho
- d) Boquilla hembra
- e) Guía de flujo
- f) Anillo de retención de boquilla hembra
- g) Tornillo de centrado
- h) Fijación de boquilla macho.



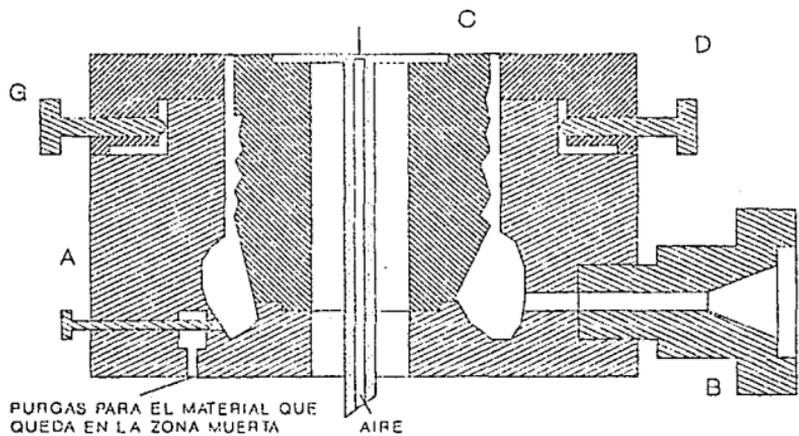
CABEZAL NORMAL DE ENTRADA LATERAL PARA
PEQUEÑOS ANCHOS

FIGURA 3.4.4



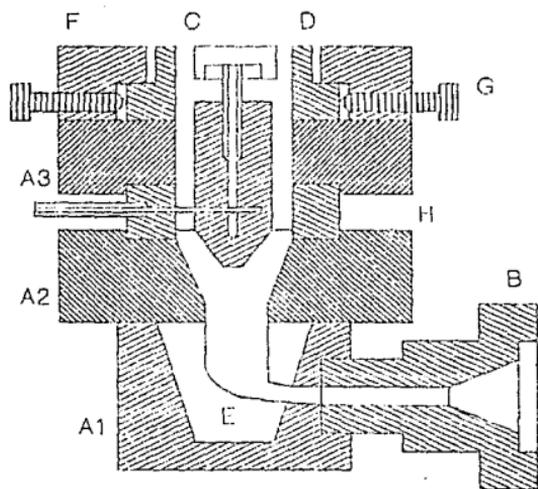
CABEZAL NORMAL DE ENTRADA LATERAL PARA GRANDES ANCHOS

FIGURA 3.4.5



CABEZAL CHATO

FIGURA 3.4.6



CABEZAL CON CODO Y ENTRADA CENTRAL

FIGURA 3.4.7

CABEZAL PARA HOJA O LAMINA.

Su función principal es la de distribuir ó "desparramar" el flujo de sección circular saliente de la extrusora hasta transformarlo en un flujo uniforme a través de la ranura de salida.

La figura 3.4.8 muestra los detalles constructivos de un moderno cabezal para planchas aplicables a la extrusión de la mayoría de los materiales convencionales aunque presenta dificultades con los materiales térmicamente sensibles a los que se destinan a cabezales especiales.

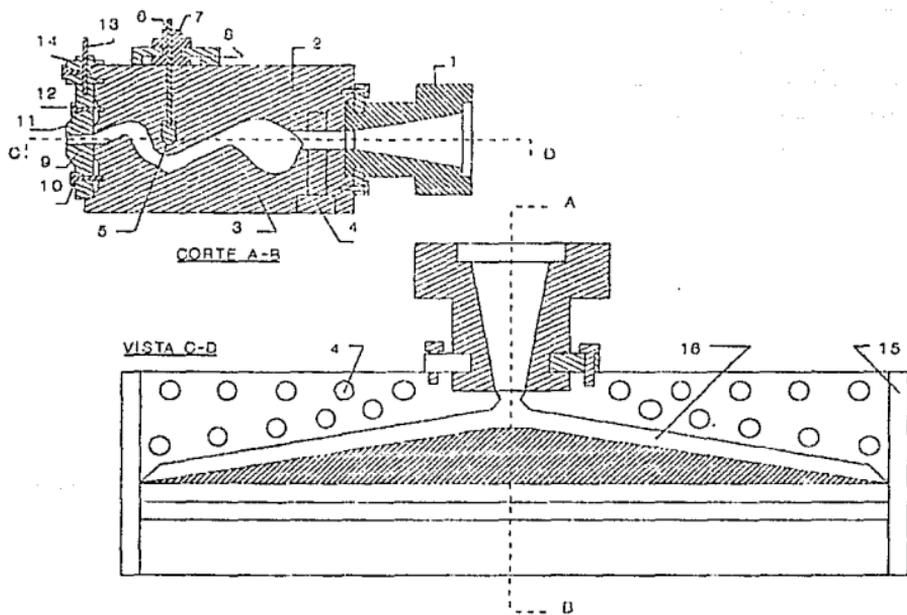
Las partes constitutivas de este cabezal son:

- 01) Cuello de acople a la extrusora
- 02) Cuerpo superior
- 03) Cuerpo inferior
- 04) Tornillos de vínculo entre los cuerpos superior e inferior
- 05) Barra restrictora
- 06) Varilla roscada de tiro o empuje de la barra restrictora
- 07) Pieza roscada interior ó "tuerca carretel" que produce el tiro o empuje de la pieza No. 6

- 08) "Cepo" soporte de la pieza No. 7
- 09) Boquilla de extrusión inferior (semi-fija)
- 10) Tornillo de fijación de la boquilla inferior
- 11) Boquilla superior regulable
- 12) Tornillo de fijación de la boquilla de extrusión superior
- 13) Varilla roscada de tiro o empuje para regulación de la boquilla superior.
- 14) "Tuerca carretel" que produce el tiro o empuje de la varilla (pieza No. 13)
- 15) Tapa lateral del cabezal
- 16) Distribuidor de flujo tipo "percha"

Las zonas de calefacción de este tipo de cabezal generalmente son seis: una en el cuello, una central, dos extremos y dos intermedios.

En general las superficies en contacto con el plástico, van cubiertas de cromo duro.



CABEZAL PARA HOJA O LAMINA

FIGURA 3.4.8

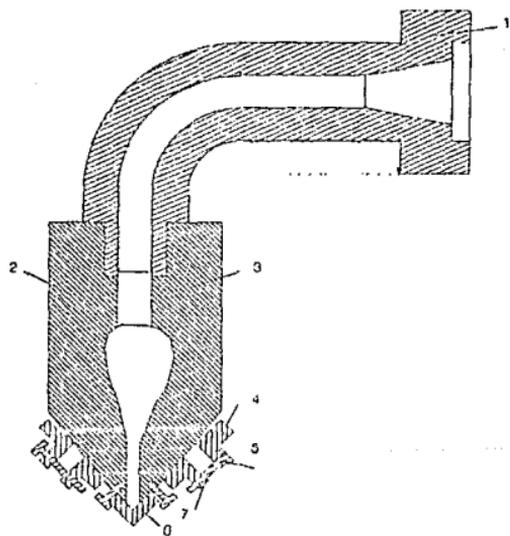
CABEZAL PARA PELICULA PLANA O RECUBRIMIENTO.

Este cabezal se basa en el de planchas, anteriormente descritas, pero dado que el material generalmente usado es más fluido y la salida mucho más restringida, puede resultar simplificado como se muestra en la figura 3.4.9 y sus partes constitutivas son:

- 1) Cuello acodado
- 2-3) Cuerpo lateral
- 4) Escuadra soporte de boquilla móvil
- 5) Tornillo de regulación de boquilla móvil
- 6) Boquilla móvil
- 7) Tornillo de fijación de boquilla móvil.

CABEZAL PARA MONOFILAMENTO.

Este cabezal resulta totalmente sencillo en cuanto a su organización constructiva. No puede decirse lo mismo de su precisión, pues de la uniformidad de medida de los conductores que convergen a cada orificio de la hilera, así como de la precisión de estos últimos, depende el caudal de plástico que sale por cada uno de ellos.

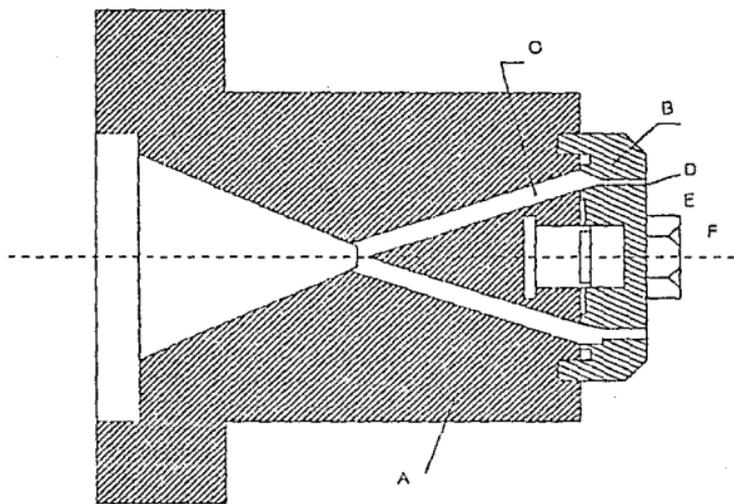


CABEZAL PARA PELICULA PLANA O RECUBRIMIENTO FIGURA 3.4.9

Como la regulación de tiro de los hilos es central y no individual ésta eventual variación de caudal debida a diferencia de medida de orificio, puede hacer variar considerablemente el título de hilado.

En la figura 3.4.10 vemos que las partes constitutivas de este cabezal son:

- A) Cuerpo
- B) Hilera
- C) Orificios de conducción distribuidos según las generatrices de un cono
- D) Orificio de la hilera
- E) Tornillo de fijación de la hilera
- F) Espina de centrada.



CABEZAL PARA MONOFILAMENTO

FIGURA 3.4.10

3.5 ASPECTOS GENERALES Y SERVICIOS.

En este punto, se ven los aspectos generales y de servicio como son:

La electricidad, el suministro de agua, el consumo de aire, el mantenimiento, las refacciones y el ruido.

ELECTRICIDAD.

Aquí se refiere expresamente a la necesidad de establecer el tipo de corriente eléctrica a utilizar, es decir, si es corriente monofásica o trifásica. Si se utilizan sistemas a 120 Volts, 220 Volts o 440 Volts. Así mismo los motores para operar a 60 ciclos.

SUMINISTRO DE AGUA.

Aquí se ve el aspecto de la cantidad de agua que se requiere para la línea de extrusión, ya que posiblemente se requiera agua de enfriamiento para el husillo, para el cilindro, para enfriamiento del producto extruido, para la bomba de vacío, etc., etc.. Se debe tener en mente también, la necesidad de utilizar agua fría, lo que implica instalar una torre de enfriamiento o de un sistema especial de refrigeración.

CONSUMO DE AIRE.

Aquí se ve la necesidad de analizar las partes del equipo que utilizan aire para efectuar una operación auxiliar o para accionar sistemas neumáticos especiales por lo cual deberá instalarse una compresora que tenga mayor capacidad de la requerida por el equipo.

MANTENIMIENTO.

Aquí se ve al personal requerido para asegurar un buen mantenimiento al equipo instalado. Esta personal deberá ser altamente capacitado en la marca del equipo para lograr dar un mayor tiempo de vida al equipo instalado. En este punto es recomendable preguntar al fabricante de la marca, ya que el cuenta con el personal técnico adecuado para cada una de las partes que constituyen el equipo ó en su defecto, si se cuenta con un departamento de mantenimiento, se deberá tener la suficiente información técnica y de construcción del equipo aunado a un personal capaz de entender dicha información.

REFACCIONES.

Es recomendable que al adquirir un equipo nuevo, se adquiera también un lote de refacciones para reemplazar a aquellas partes que están más sujetas a desgaste o que necesitan cambiarse con mayor frecuencia. Esta recomendación se hace en base a la experiencia del fabricante, sin embargo, es recomendable saber si se cuenta con un proveedor confiable para este tipo de refacciones, ya sean nacionales o de importación con sus respectivos tiempos de entrega, ya que esto evitará tener la maquinaria sin producir durante periodos de tiempo indefinidos con la consecuente pérdida económica.

RUIDO.

En la actualidad, muchos en muchos países se está reglamentando o legislando sobre los aspectos de higiene y seguridad que tiene relación con las condiciones de trabajo dentro de las plantas transformadoras. El control de ruido producido por las máquinas de transformación no escapa a esta reglamentación, ya que se ha visto que cuando el operador labora bajo condiciones de ruido intenso, experimenta daños en su sistema auditivo, provocando la alteración del sueño y consecuentemente con ello disminuye su eficiencia.

UNA TESIS NO DEBE
SER LA BIBLIOTECA

3.6 COSTO DEL EQUIPO

El precio de una línea de extrusión que aparece en una cotización, generalmente se desglosa para indicar el costo de la mezcladora y enfriador, el costo de una extrusora, el costo de cabezal y dados, y el costo del equipo auxiliar. En otras palabras puede decirse que fundamentalmente consta de un sistema de formado del producto, una sección de enfriamiento y finalmente el sistema de arrastre con el cual debe lograrse la tracción uniforme para mantener el producto extruido dentro de las dimensiones especificadas.

Debe tenerse en cuenta que los precios de la maquinaria nueva son elevados, por lo que un técnico en extrusión, tendrá que realizar un estudio profundo del equipo necesario para obtener su producto final dentro de sus especificaciones.

Este estudio debe realizarse tanto técnica como económicamente o financieramente. En la tabla 3.6.1 se da una guía general para elegir una máquina de extrusión.

Dentro de la parte técnica fundamentalmente se habla de la constitución de la mezcladora, enfriador y husillo.

Dentro de la parte económica se habla de los costos, créditos y tiempos de entrega del equipo.

Por ejemplo, veremos dos alternativas de diferentes marcas para procesar dry-blend con capacidad de 500 litros, con enfriador y un equipo de extrusión para producir 1,200 Kg/Hr. de Compuesto de PVC.

Primera opción:

Mezcladora en caliente y mezcladora de enfriamiento marca Papenmeier tipo NTS HK 400/KGU 1000S.

Datos Técnicos:

-Todas las partes del proceso de mezclado que se encuentran en contacto con el producto, están fabricadas de acero austenítico de la más alta calidad según nosotros de material 1.4571 y 1.4581

Mezcladora en caliente:

-Recipiente con ligera conicidad hacia la abertura con chaqueta soldada con capacidad total de 500 litros, capacidad útil de 350 litros.

-Tapa giratoria de despegue vertical operada neumáticamente.

-Descarga con pistón giratorio de 260 mm de diámetro, operada neumáticamente.

-Herramienta mezcladora (aspas de dos secciones) compuesta de un plato hélice de 3 palas y cuchilla succionadora.

-Motor de impulsión de 58/80 Kw. de potencia, 900/800 RPM.

Mezcladora de enfriamiento:

- Recipiente cilíndrico con chaqueta soldada y seis segmentos enfriadores. Capacidad del recipiente 1,000 litros. Superficie efectiva de enfriamiento 670 dm²
- Tapa giratoria de despegue vertical accionada mecánicamente.
- Descarga de 260 mm de diámetro operada neumáticamente.
- Herramienta mezcladora de dos áspas de gran superficie.
- Motor de impulsión de 18.5/23 Kw., 1,800/3,600 RPM, corriente eléctrica trifásica de 440 v. 60 ciclos.

Precio del equipo incluyendo mando eléctrico 119,432 USD

Equipo especial:

-Cable para corriente de carga de 8 mts. de largo para 440 v. para unir la sección de carga del tablero al equipo de mezclado 1,030.72 USD

-Consola de operación manual con pulsadores para la mezcladora en caliente y la mezcladora de enfriamiento así como de emergencia (montada en el barandal de la mezcladora en caliente) 389.72 USD

-Dos mirillas con limpiadores 1,076.72 USD

-Filtros para las mezcladoras en diseño encapsulado (para conectarse a un sistema de aspiración que no forma parte del suministro) 799.96 USD

-Un juego de empaques sujetos a desgaste, así como herramientas para la máquina 179.48 USD

-Contactos para llamar y bloquear por tiempo la resina y un componente secundario 1,405.07 USD

-Contactos para llamar por tiempo un componente líquido

707.66 USD

-Una tolva para componentes pequeños de acero inoxidable de 25 litros de capacidad

3,487.04 USD

-Equipo para la carga automática de la resina hacia el recipiente previo dispuesto arriba de la mezcladora en caliente modelo II, con estación para el vaciado de los costales, vibrador con acclonamiento, exclusiva con motorreductor, ventilador, tubería con dos codos, compuerta, así como recipiente con soporte dispuesto arriba de la mezcladora en caliente

31,639.78 USD

-Equipo para la dosificación de líquidos tipo WD25 con capacidad de 25 lts./min.

8,153.84 USD

-Triturador instalado en la pared del recipiente de la mezcladora de enfriamiento para desintegrar los aglomerados, incluye motor de 11 Kw. de potencia

3,594.87 USD

Extrusora de doble husillo marca Werner & Pfleiderer para producir compuesto flexible a razón de 1,200 Kg/Hr. Con diametro de husillos de 83 mm., enfriados internamente por agua, con sistema de vacío para desgaseificación del producto, control automático de calentamiento, con cañon enfriado internamente por agua, con tablero eléctrico de mando.

350,000 USD

Condiciones:

Precios: Los precios se entienden en marcos alemanes a la paridad actual, L.A.B. fábrica Alemana, sin empaque.

Embarque: Actualmente, dentro de aproximadamente 4-5 meses a partir de la fecha de haberse recibido el pedido en firme y aclarado todos los pormenores técnicos y comerciales.

Pago: 30 % de anticipo junto con el pedido, 70 % por medio de una carta de crédito irrevocable y confirmada a favor de Papeinmeier GMBH pagadera contra entrega de los documentos originales de embarque.

Segunda opción:

Un sistema mezclador tipo RO 500/1500/C marca Ariosteia.

Datos técnicos:

- Contenedor de mezclado en acero inoxidable con capacidad de 500 litros, encaquetado para circulación de agua.
- Herramienta mezcladora en acero inoxidable con carburo de tungsteno en partes sujetas a desgaste.
- Descarga controlada neumáticamente activada por una doble selenoide.
- Motor de 150 HP DC, clase F.
- Equipo de control montado en un gabinete equipado con contactores y relevadores termomagnéticos para el motor, relevadores auxiliares para el ciclo de trabajo, controlador de temperatura, volómetro y ampérmetro.
- Este equipo puede ser operado manual ó automáticamente, con 440 v, 60 Hz.

Mezcladora de enfriamiento tipo RFO-1500

- Contenedor en acero inoxidable con capacidad de 1500 litros.
- Chaqueta para circulación de agua fría.

- Herramienta mezcladora en acero inoxidable con recubrimiento de tungsteno en partes sujetas a desgaste.
- Motor de 15 HP.
- Descarga controlada neumáticamente por una válvula de mariposa.
- Equipo eléctrico de operación y protección en gabinete.
- Voltaje de operación 440 - 60 Hz.
- Fuerza total instalada: 220 Kw.

Precio del equipo incluyendo refacciones para mezclador caliente y de enfriamiento

132,500 USD

Extrusora de doble husillo marca AMUT, para producir compuesto flexible a razón de 1200 Kg/Hr. Diámetro de Husillo de 120 mm. enfriado internamente con aceite térmico, con intercambiador de calor con circulación de agua fría, detector e indicador de presión en el cabezal, bomba de vacío de sello líquido para desgacificación, control automático de calentamiento.

313,500 USD

Condiciones:

Precios: Los precios son en liras, al tipo de cambio del momento. L.A.B. en fábrica italiana.

Embarque: En 6 meses a partir de recibir su pedido con anticipo.

Pago: El 20 % de anticipo junto con el pedido, con una carta de crédito irrevocable y confirmada a un banco italiano, 40 % a la presentación de documentos de embarque, 20 % a 90 días después de la presentación de documentos de embarque y 20 % restante a 120 días de la presentación de documentos de embarque.

TABLA 3.6.1

GUIA GENERAL PARA ELEGIR UNA MAQUINA DE EXTRUSION

LISTA DE PRODUCTOS		POLIMERO A EXTRUIR	GRANULADO O POLVO	PRODUCCION KG/HRA.
		COMPUESTO PVC	POLVO	1.200
ASPECTOS TECNICOS				
DATOS IMPORTANTES		ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B	ALTERNATIVA C
		FABRICANTE-MARCA	FABRICANTE-MARCA	FABRICANTE-MARCA
		WERNER & P.	AMUT	
H U S I L L O	DIAMETRO MM.	93	120	
	RELACION L/D	15	24	
	RELACION DE COMPRESION	1:20	1:20	
	CLARO CILINDRO-HUBILLO	21.6 MM	20 MM	
	TRATAMIENTO DEL ACERO	NITRURADO	NITRURADO	
	DEGASIFICACION	SI	SI	
	ENFRIAMIENTO INTERIOR	ACEITE	ACEITE	
	DISEÑO ESPECIAL O STANDARD	NO	NO	
	MONO O DOBLE HUBILLO	DOBLE	DOBLE	
	RANGO DE VELOCIDAD	38 - 340	3.7 - 37	
	TACOMETRO	300	38	
	Nº. HUBILLOS RECOMENDADOS	MODIFICABLE	UNO	
PRODUCCION GARANTIZADA	800	800		
MOTOR DE ACCIONAMIENTO AC - DC		GD 300 HP	GD 120 HP	HP
TIPO VARIADOR DE VELOCIDAD		ELECTRONICO	ELECTRONICO	
ZONAS CALSFACCION CILINDRO		8	8	
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO		ACEITE/AGUA	ACEITE/AGUA	
APARATO DE CONTROL				
CABEZALES REQUERIDOS		UNO	UNO	
ENERGIA CALSFACCION, KW		24	91	
ASPECTOS GENERALES				
SERVICIOS - ELECTRICIDAD		220/110 V	220/110 V	
AGUA		1.200 L	1.200 L	
AIRES				
MANTENIMIENTO Y SERVICIO				
REACCIONES EN PLAZA		NO	NO	
TIEMPO DE ENTREGA		6 MESES	6 MESES	
RUIDO		110 DB	76 DB	
GARANTIA		3 MESES	3 MESES	
ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA		ASESORIA	ASESORIA	
COSTO EXTRUSORA				
COSTO DELERO CONTROL				
COSTO CABEZAL		-		
COSTO DADO		-		
COSTO EQUIPO AUXILIAR				
COSTO TOTAL		360.000 USD	312.000 USD	
VENTAJAS				
DESVENTAJAS				

Conclusión de Selección:

Opción 1	costo total:	521,897 USD
Opción 2	costo total:	446,000 USD

Económicamente se selecciona la opción 2 además de tener mejores condiciones de pago.

Técnicamente se selecciona la opción 2, por tener un L/D mayor de 20, se optiene un mejor producto plastificado.

Resultado de la selección:

Mezcladora marca Ariosteia con enfriador de dry-blend y Extrusor de doble husillo marca Amut.

4.0 CONCLUSIONES.

El objetivo principal de esta tesis, es dar a conocer al lector los pasos generales que se tienen que seguir durante un proceso de extrusión, partiendo desde la Polimerización del Cloruro de Vinilo hasta la obtención de un producto final determinado.

Este producto final determinado, generalmente debe ser especificado antes de ser iniciado el proceso de transformación, es decir, se deberá entender el uso específico para el cual va a ser diseñado y deberá ser expuesto a varias pruebas de laboratorio para poder ser aceptado por la sociedad.

En la sociedad actual, se deben cumplir normas ecológicas, normas legales, normas de diseño y en fin, una serie de disposiciones legales para poder obtener, transformar ó crear un producto para determinado uso.

En tiempos actuales, el PVC tiene y puede tener aún más aceptación en el medio en que nos desenvolvemos, ya que puede ser utilizado en material quirúrgico, en la industria farmacéutica y en sí al servicio médico como guantes, bolsas y mangueras para venoclisis, jeringas; en la industria del cable como es el forro de la fibra óptica, cable normal y de uso rudo; en utensilios para el hogar como son vasos, cucharas, platos, sillas; de uso personal como son zapatos, botas, tenis, correas; en la industria automotriz; en drenajes y en sí casi en cualquier parte se puede utilizar el PVC ya que algunas de las ventajas que presenta son: de rápida transformación, menor peso volumétrico en comparación con algún material ferroso, puede ser reciclable, de una dureza aceptable por diseño, bajo costo de fabricación por mencionar algunas.

Otro punto de vista por el cual se tomó la decisión de presentar esta tesis, es el de que por parte de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Electrónica, se presenta un campo bastante abierto para poder obtener alguna mejora substancial durante el proceso de extrusión, como puede ser la automatización de los equipos, mejoras en los sistemas de calentamiento y enfriamiento así como una menor contaminación del medio ambiente al hacer más eficiente este proceso.

A su vez, si se tiene un conocimiento más amplio de este tema, se podrán obtener productos para diferentes usos o aplicaciones de las actuales, ya que las características del PVC que se le otorgan desde la obtención de la mezcla seca se pueden adaptar a casi cualquier circunstancia para ser utilizada por nuestra sociedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 01.- **Plastics Extrusión Technology and Theory**
Dr. Ing. Gerhard Schenkel
Iliffe Books LTD
- 02.- **Inyección Molding Theory and Practice**
Irvin I. Rubin
Wiley Interscience
- 03.- **Plastics Extrusión Technology**
Allan L. Griff
Van Nostrand Reinhold Co.
- 04.- **Extrusión of Plastics**
E.G. Fisher
Newnes-Butler Worths
- 05.- **PVC Technology**
W.S. Penn
Maclaren & Son LTD
- 06.- **Extrusión of PVC**
BF Goodrich Co.
- 07.- **Brabender Technical Service**
Brabender OHG.
- 08.- **Developments in PVC Technology**
J.H.L. Henson and Whelan
Applied Science Publishers

09.- Enciclopedia of PVC vol. 3
Leonard I. Nass
Dekker

10.- Ingeniería de Materiales
W.J. Ellis
Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.