



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores
"ZARAGOZA"

EVALUACION TECNICO ECONOMICO PARA EL ESTUDIO
DE FACTIBILIDAD DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE
PERFILES DE POLI (CLORURO DE VINILO) ANTIESTA-
TICO PARA EMPAQUETADO DE CIRCUITOS
INTEGRADOS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
Juan Carlos Ramírez Serrano



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE UNGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES "SARAGOSA"

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OF/JU/06/94

C. JUAN CARLO RAMIREZ SERRANO
P R E S E N T E.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el -
Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo -
ha propuesto la siguiente designación:

PRESIDENTE: ING. RENE DE LA MORA MEDINA
VOCAL: ING. LUIS ALBARRAN FAVELA
SECRETARIO: ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS
SUPLENTE: ING. ISMAEL BAUTISTA LOPEZ
SUPLENTE: ING. JOSE ANTONIO ZAMORA PLATA

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

México, D.F., 25 de octubre de 1994



ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS
JEFE DE LA CARRERA DE
INGENIERIA QUIMICA

Irm

A MI FAMILIA :

QUIENES CON SU COMPRENSIÓN, CARINO Y APOYO ME ALENTARON A LO LARGO DE MI FORMACIÓN ACADÉMICA. ESPECIALMENTE A MIS PADRES Y ABUELOS QUIENES CON SU EJEMPLO DE TRABAJO Y DEDICACIÓN ME ENSEÑARON A ESFORZARME PARA LOGRAR MIS METAS.

Y COMO OLVIDARME DE MIS TÍOS:

ALFREDO REYES CORDOVA.
REBECA SERRANO DE CORDOVA.
ALICIA SERRANO CHAPARRO.

A LOS CUALES AGRADEZCO DE IGUAL MANERA SU APOORTE PARA HABER CONSEGUIDO LLEGAR HASTA DONDE ME ENCUENTRO.

CON CARINO

JUAN CARLOS

A MI ASESOR:

ING. LUIS ALBARRAN FAVELA

CON INFINITO AGRADECIMIENTO Y RESPETO POR SU TIEMPO,
CONOCIMIENTO Y APOYO BRINDADO PARA EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO.

GRACIAS.

INDICE

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN.

1.1 Marco de desarrollo.....	1
1.2 Definición del producto.....	2
1.3 Objetivos.....	2

CAPITULO II

ANTECEDENTES.

2.1 Breve historia de los plásticos.....	5
2.2 Semblanza histórica del PVC.....	8
2.3 Definiciones.....	12

CAPITULO III

FORMULACIÓN DE POLI(CLORURO DE VINILO) ANTIESTÁTICO.

3.1 Generalidades.....	14
3.2 Teoría de mezcla.....	15
3.3 Aditivos usados en la formulación de plásticos.....	20
3.4 Resina de PVC.....	40
3.5 Principales propiedades y características del PVC.....	66
3.6 Formulación de compuesto de PVC.....	71
3.7 Secuencia en la preparación de mezclas secas.....	80
3.8 Formulación del perfil de PVC antiestático.....	85

CAPITULO IV

MÉTODOS DE PROCESAMIENTO DE PVC ANTIESTÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DEL PERFIL REQUERIDO EN EL EMPAQUETADO DE CIRCUITOS INTEGRADOS.

4.1 Generalidades.....	91
4.2 Proceso de extrusión.....	94
4.3 Diseño de la boquilla o dado de extrusión.....	113
4.4 Simulación del proceso de extrusión.....	130

CAPITULO V

EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA.

5.1 Análisis de la demanda.....	140
5.2 Análisis de la oferta.....	141
5.3 Disponibilidad de la materia prima.....	142
5.4 Tamaño de la planta.....	148
5.5 Programación de la producción.....	148
5.6 Análisis del proceso de producción.....	148
5.7 Adquisición de equipo y maquinaria.....	149
5.8 Organización de la empresa.....	149
5.9 Estudio económico.....	150

CAPITULO VI

ANÁLISIS Y ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO.

6.1 Generalidades.....	156
6.2 Características del enfoque propuesto.....	157
6.3 Método de evaluación económica que elimina el factor inflacionario.....	158
6.4 Aplicación del enfoque propuesto.....	159

CAPITULO VII

CONCLUSIONES.....164

APÉNDICE A

**CARACTERÍSTICAS DEL MODELO PROGRAMADO
PARA LA SIMULACIÓN DE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.....166**

BIBLIOGRAFIA -

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 MARCO DE DESARROLLO.

La industria destinada a la fabricación de microcomponentes electrónicos en México tiene un carácter de armado (maquila) de distintos circuitos destinados a formar parte de computadoras, equipos de sonido, de comunicación, etc.

Debido a lo mencionado anteriormente los microcomponentes electrónicos fabricados son comercializados como unidades simples', en tales condiciones el manejo de estos debe llevarse a cabo en un ambiente libre de estática, para lo cual se ocupan materiales que puedan disipar esta carga estática presente en el medio ambiente en el que se desarrollan estos microcomponentes, abriéndose de este modo un mercado potencial para los materiales antiestáticos.

En la actualidad en México solo Grupo Primex S.A de C.V. es capaz de desarrollar un perfil antiestático utilizado para el empaquetado de microcomponentes, pero como es natural no tiene la capacidad de producción para cubrir la demanda de este material, por lo que la mayor parte del consumo de este tipo de perfil es cubierto por importaciones. Es por esto que, se pretende llevar a cabo la fabricación de este tipo de perfil antiestático.

1.2 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO.

En general el perfil de poli(cloruro de vinilo) antiestático es una combinación de resina de suspensión y aditivos plásticos (estabilizadores, lubricantes, antiestáticos, modificadores de flujo, modificadores de impacto) que en conjunto puedan disipar la carga estática.

Hablando acerca de sus características, estas son proporcionadas por los aditivos plásticos usados para su

CAPITULO I

fabricación, así el perfil debe de disipar una carga estática hasta 10^4 Ohms/cm², debe ser transparente, resistente y con un excelente acabado. Su composición toma como base porcentual a la resina y esta es: resina de suspensión de PVC, antiestático 1 phr, lubricante externo 0.6 a 1.2 phr², lubricante interno 0.6 a 1.2 phr, estabilizador 2 a 2.5 phr y absorbedor de UV 2 a 1.6 phr.

En cuanto a las dimensiones del perfil requerido, estas son mostradas en los diagramas 1.1 a 1.3.

Clasificación.- Por las condiciones de venta, es decir de contratación bajo pedido, este producto se clasifica por especialidad.

1.3 OBJETIVOS.

Para llevar acabo la empresa establecida se han planteado los siguientes objetivos:

- 1.-Realizar la formulación de un plástico de PVC antiestático que proporcione una disipación de carga estática de 10^4 Ohm/cm².
- 2.-llevar a cabo el diseño del tornillo y dado de extrusión requerido en el mecanismo de extrusión del perfil antiestático.
- 3.-Analizar la factibilidad de producción y comercialización del perfil antiestático.

² phr=PARTES POR CIENTO DE RESINA

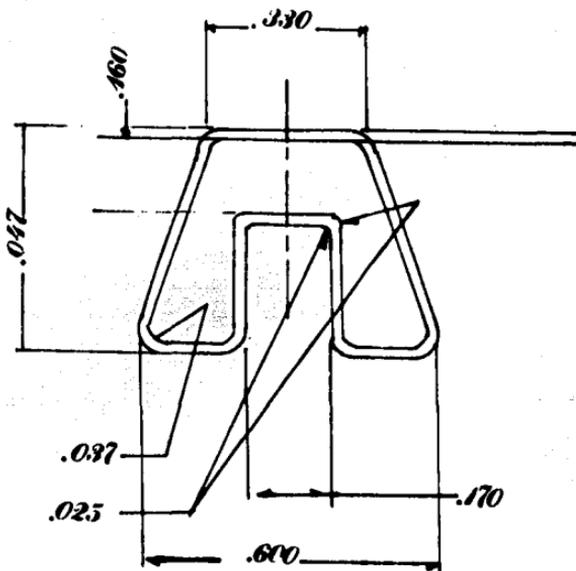
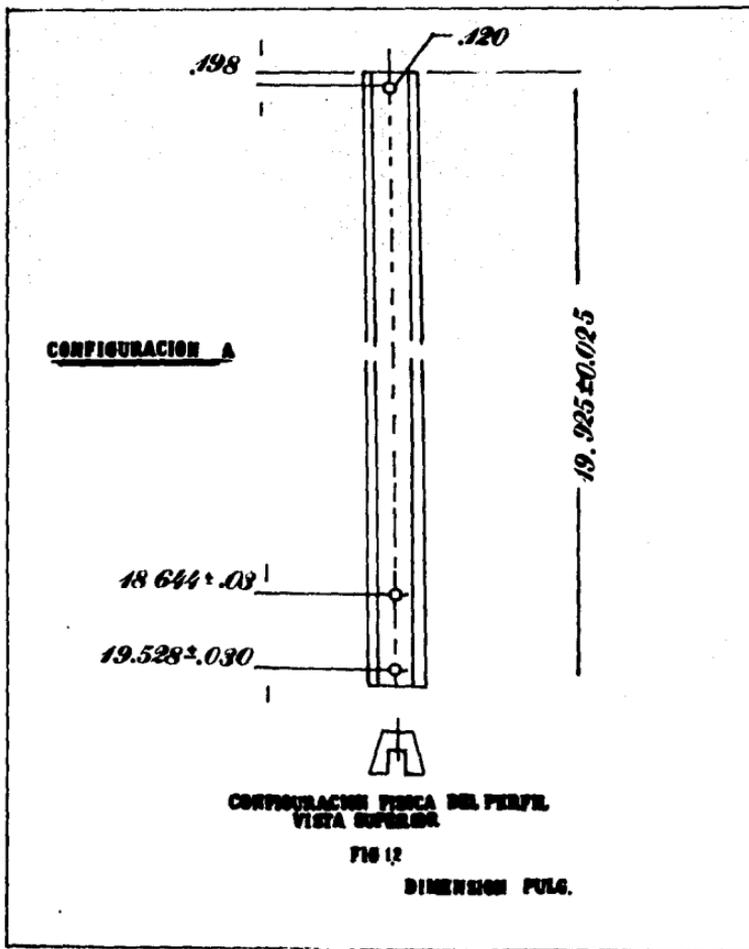


FIG 1.1
CONFIGURACION FISICA DEL PERFIL
VISTA FRONTAL

DIMENSIONES PULG.



CAPITULO II

ANTECEDENTES

2.1 BREVE HISTORIA DE LOS PLÁSTICOS.

El hombre comenzó a aprovechar racionalmente los elementos de la naturaleza en el Paleolítico, al usar piedras y otros materiales naturales, con formas determinadas, como utensilios de caza, de defensa y para otros menesteres. Desde entonces, y hasta la mitad del siglo pasado, el empleo y la manufactura de los materiales ha sufrido muchos cambios. Sin embargo, ni los hombres de la edad de piedra ni los del siglo pasado tuvieron en mente la creación de materiales artificiales.

Por muchos años las necesidades humanas fueron cubiertas con materiales de origen natural, como celulosa, almidones, resinas - extraídos de la madera-, ceras, semillas, fibras, etc. Más cercano a nuestra época en la segunda mitad del siglo XIX, nació la industria basada en la química orgánica. Esta no solo se limitó a transformar las sustancias por simple calentamiento o por reacciones químicas simples como oxidación o reducción, sino que desarrolló toda una serie de procesos químicos radicalmente nuevos para obtener materiales a partir del carbón mineral, el petróleo y los productos agrícolas.

Un accidente casual y una aguda observación hicieron que por alteraciones de la molécula gigante de la celulosa se pudiera producir una multitud de nuevos productos. Entre ellos: algodón-pólvora para explosivos; colodión para heridas; celofán para envolturas; celuloide que se emplea para fabricar desde mangos de cuchillo hasta cuellos de camisa y otros productos. El descubrimiento totalmente incidental, lo hizo en el año de 1846 Christian Schonbein, profesor de química de la Universidad de Basilea, Suiza. Al realizar unos experimentos rompió accidentalmente un frasco en el que destilaba ácido nítrico y sulfúrico. Limpió las sustancias derramadas con un paño de algodón y al poner a secar la prenda sobre la estufa ésta se

infiame y desapareció de manera misteriosa. Al analizar el fenómeno Schonbein descubrió el algodón-pólvora, la base de la pólvora sin humo. Schonbein intuyó muchas posibilidades para este hallazgo y se apresuró a publicarlo sin dar a conocer el modo en que se había producido, y posteriormente solicitó una patente. Pasaron años antes de que la ciencia revelara el proceso de transformación que sufre la celulosa para formar algodón-pólvora.

Por la ciencia actual se sabe que el cambio que propició Schonbein en la celulosa fue capitalizado por el ácido sulfúrico, que permitió que la celulosa y el ácido nítrico se combinarán rápidamente formando nitrato de celulosa, que es un material altamente explosivo.

Alrededor de 1875 Alfred Nobel produjo una gelatina explosiva mucho más poderosa que la dinamita, combinando el nitrato de celulosa con nitroglicerina. Esto fue la génesis de los nuevos materiales obtenidos, a partir de la transformación de macromoléculas complejas. Con esto se desarrolló una industria incipiente basada en la modificación de materiales naturales derivados del nitrato de celulosa o acetato de celulosa.

Estos compuestos orgánicos naturales que han proporcionado al hombre vestido y alimentación, poseen una característica en particular: todos ellos están formados por moléculas gigantes a las que actualmente se les denomina polímeros.

Su compleja y delicada estructura desafió hasta muy recientemente todo intento de analizarlos. Ninguna información podría ser extraída mediante métodos analíticos tradicionales, pues, estas sustancias se descomponen al aislarlas por destilación o al precipitarlas. Con nuevas técnicas y aparatos - como ultra centrifugas, microscopios electrónicos, viscosímetros, osmómetros, celdillas de difusión e instrumentos de medición de difracción de rayos X, se consiguió finalmente determinar su estructura. Por la información obtenida se sabe que los polímeros

están formados de cadenas de moléculas donde cada eslabón es un monómero que se repite las veces que sea necesario hasta alcanzar un alto peso molecular. Sus formas químicas se representan como un múltiplo entero del monómero y de ahí surgió su nombre "polímero".

La creación de materiales verdaderamente sintéticos empezó a principios del siglo XX, cuando Leo Baekeland produjo en 1907 el primer polímero sintético; la hoy famosa baquelita. De la comprensión profunda de lo que son los polímeros nació una industria gigantesca y nueva. Se encontró que estos materiales sintéticos, contruidos a partir de etileno y propileno, ofrecían una gama muy atractiva de propiedades, las cuales no poseen los materiales naturales.

Toda la información afanosamente recopilada, desde que se comenzó a usar estos polímeros sintéticos -generalmente conocidos como "plásticos"- ha demostrado que cuando se utilizan apropiadamente, poseen características superiores a las de otros materiales naturales que han desplazado; de modo que no son un sustituto de mala calidad. Actualmente los plásticos tienen una lista interminable de usos y existen áreas donde el uso del plástico es ideal y no se tiene ningún sustituto como en el caso de circuitos electrónicos impresos, o como elementos de prótesis médicas y dentales.

Se han fabricado miles de polímeros pero menos de cincuenta han alcanzado un éxito comercial. Entre los más conocidos se encuentran el polietileno, el cloruro de polivinilo y el poliestireno. La comercialización de estos requirió de un estudio detallado de sus posibilidades de aplicación en fibras, películas, moldes, revestimientos, etc. Este hecho desencadenó una competencia mundial para crear procesos que brinden polímeros de óptima calidad para algún uso particular al mínimo costo posible. Actualmente muchas de las investigaciones que por ahora

se realizan están orientadas a mejorar alguna de las propiedades físicas de los polímeros, por ejemplo, su resistencia y dureza a altas temperaturas o su resistencia al impacto o a las deformaciones mecánicas para su uso en la construcción.

2.2 SEMBLANZA HISTORICA DEL PVC.

Es una paradoja interesante que el PVC, uno de los polímeros con menor estabilidad térmica entre los existentes en el mercado, sea también en términos de consumo, uno de los materiales plásticos más importantes de los disponibles hoy en día debido a que es un polímero muy versátil. Su éxito comercial a repercutido en un extenso uso, después del descubrimiento de buenos estabilizadores térmicos y otros aditivos que lo han hecho extraordinariamente útil para elaborar compuestos termoplásticos.

La preparación del monómero se reporto por primera vez por Regnault en el año de 1835, aunque pudo haber sido por Liebig. El método utilizado fue tratar dicloruro de etileno con una solución alcohólica de hidróxido de potasio.

Baumann en el año de 1972, al encapsular cloruro de vinilo en un tubo de vidrio sellado y dejarlo expuesto a la luz solar, descubrió la formación (polimerización) de un polvo blanco: el PVC. Al principio no tuvo idea de la composición del nuevo producto, pero sus exámenes demostraron que no era afectado por una amplia gama de solventes.

El interés sobre el policloruro de vinilo nació con el informe de Regnault sobre la síntesis del VCM¹ y el informe de polimerización de Baumann. Después de cuarenta años de inacción se dio una sobrecapacidad en Europa de la producción de Carburo de Calcio. El potencial del acetileno, había sido sobreestimado y

¹MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO.

esto guió a la construcción de nuevas plantas de carburo, lo que propició una caída en el precio durante la primera parte del siglo XX. La posición fue particularmente aguda en Alemania y fue ahí donde se desarrolló un intenso programa para investigar los posibles usos químicos del acetileno.

En 1912, Katte de "Griesheim-Elektron" patentó la manufactura del monómero de cloruro de vinilo por la reacción entre el acetileno y el ácido clorhídrico, en presencia de cloruro mercurico como catalizador. La formación del polímero por la acción de las radiaciones ultravioletas, fue confirmada y en 1914 es reportado el uso de peróxidos orgánicos, como aceleradores para la polimerización.

Al mismo tiempo, en Rusia, Ostromislensky, en sus laboratorios de Moscú llevaba a cabo trabajos sobre haluros de vinilo. El PVB (polibromuro de vinilo) fue estudiado para producir hule sintético, por deshidrobrominación con potasa alcohólica acuosa. Cinco años después, Kiatte y Rollet publicaron que habían obtenido polímeros de cloruro de vinilo usando peróxidos como catalizadores en vez de la catálisis por la luz solar de Ostromislensky. Plausen descubrió que se formaba directamente un polímero cuando se calentaba a presión, acetileno seco y cloruro de hidrógeno de 120 a 150°C. Los primeros investigadores encontraron que con temperaturas de polimerización más bajas, se obtenían polímeros de peso molecular más alto y de mayor estabilidad térmica.

El uso de plastificantes ha contribuido al desarrollo del mercado. Muchos investigadores hicieron posible esto al trabajar con diferentes polímeros y plastificantes como es el caso de John Wesley Hyatt que patentó el celuloide el cual es el resultado de agregar alcanfor a la nitrocelulosa haciéndola más flexible. Con esta misma idea "The Celluloid" patenta el uso de fosfato de tricresilo y para la década de los veinte se descubren los

CAPITULO II

ésteres ftálicos de dimetilo, dietilo y dibutilo, para disolver goma laca y con esa solución impregnar telas ahuladas

El interés comercial del PVC se revelo en un número de patentes, independientemente suscritas en 1928 por las corporaciones Carbide y Carbon Chemical, DuPont E.I Nemours, Y.C.Farben. En cada caso los proyectos negociaron con copolímeros de cloruro de vinilo y acetato de vinilo. Esto ocurrió por que los homopolímeros no pueden ser procesados en estado fundido a temperaturas en las que ocurren altas tasas de descomposición, comparadas con los copolímeros, que pueden procesarse a más bajas temperaturas, y son menos afectados por las operaciones del proceso.

Para 1929, Kyoroles, patenta el uso de Di 2 etilhexil ftalato (DOP: dioctyl Phtalate) como plastificante para resinas de PVC.

En 1931-1933 Waldo Semon, al encontrar que el PVC también se disuelve en solventes tales como el ftalato de dibutilo, el fosfato tricresilo y éter orto dinitrilo fenílico, amplía sus patentes, para predecir muchos de los actuales usos del PVC plastificado.

El incipiente, pero interesante mercado así iniciado hace que tanto en Europa como en Estados Unidos, se despierte la necesidad de diseñar y montar plantas que polimericen VCM a escala industrial.

El desarrollo industrial corrió paralelo en Alemania y Estados Unidos durante los años treintas. En 1931, Imperial Chemical Industries (ICI) en Inglaterra, empezó sus investigaciones dentro de los procesos de manufactura de cloruro de vinilo y sus métodos de polimerización. En Estados Unidos, la producción empezó al final de 1930, B.F Goodrich con General Electric, desarrollo PVC plastificado como un aislante eléctrico para cables y alambres.

En el Reino Unido, ICI había continuado con sus desarrollos

con la construcción de una planta polimerizadora de 85 tons/año, la cual comenzó a operar a finales de 1940. En 1942, esta planta fue seguida por una planta de producción con capacidad de 450 tons/año.

En Europa las primeras plantas de PVC habían usado la técnica de emulsión para la polimerización del monómero, siguiendo la práctica general de hule sintético. La polimerización en suspensión fué incorporada por las primeras plantas americanas pero no fue adoptada en el Reino Unido hasta 1943 por la compañía Distillers.

La manufactura de copolímeros fue arrancada en los Estados Unidos por Union Carbide, usando el proceso de solución. Este material había sido producido para reducir la dificultad en procesar el homopolímero.

Justo en los albores de la Segunda Guerra Mundial y debido al bloqueo Japonés de las plantaciones de hule de Java /Sumatra y al peligro de los submarinos Alemanes en el Atlántico, que aislan a los Estados Unidos de "Heave Brasilensis", se impulsa enormemente la polimerización del PVC y, su compuesto plastificado y rígido para hacer artículos de guerra y domésticos, en sustitución a los del hule.

El PVC se empezó a comercializar en México desde el año de 1947 y en 1953 se instalaron las primeras plantas productoras de estas resina. Esta industrias productora de la resina de PVC ha sido capaz de satisfacer adecuadamente la demanda nacional a pesar de las amplias variaciones en el crecimiento del mercado. Las principales empresas productoras son las siguientes:

Altaresin S.A. de C.V.

Grupo Primex S.A. de C.V.

Policyd S.A. de C.V:

Polimeros de México S.A. de C.V.

2.3 DEFINICIONES

2.3.1 ESTÁTICA

Los materiales plásticos son aislantes inherentes y por tanto se encuentran sujetos a la acumulación de cargas estáticas. Esta carga estática concentrada es esencialmente un fenómeno de superficie, el cual puede crear problemas en la utilización de los materiales plásticos y sus múltiples aplicaciones. Por lo anterior, el control de la carga estática es esencial, particularmente en ambientes tales como: salas de operación en hospitales, minas minerales, plantas textiles, y fabricas de municiones entre otros. En medios intensamente eléctricos, la descarga electrostática para componentes electrónicos o de computadora (esto durante el empaquetado o uso), puede ser especialmente perjudicial.

2.3.2 CIRCUITO INTEGRADO "CHIP"

Una definición muy sencilla acerca del significado de lo que representa un "chip" es la siguiente:

Es una hoja rectangular delgada de un semiconductor de aproximadamente 1 cm. por lado y cerca de 0.5 mm. de espesor. Sobre el cual se realiza una integración de circuitos. También es conocido como "die" (en plural "dies").

Ahora bien el diseño de circuitos electrónicos sobre un "chip" se lleva a cabo mediante poco menos de mil o más componentes (dispositivos como: transistores, diodos, y resistencias). Debido a la compactación de los componentes, el diseño de los circuitos electrónicos es muy complicado y requiere un fuerte consumo de tiempo de ingeniería. Esta compactación de circuitos electrónicos tiene importantes ventajas como son:

CAPITULO II

reducción de costo, el mejoramiento en velocidad, la reducción del consumo de poder eléctrico, la reducción de espacio y peso, entre otras ventajas.

EL diseño de un "chip" en cualquier tamaño de integración (SSI, MSI, LSI o VLSI)* es una secuencia larga y compleja de diseño y fabricación. Primero, el arquitecto de una computadora (o parte de esta) debe definir el "chip" y diseñarlo en detalle, posteriormente se debe diseñar la red lógica de circuitos, y por último se realiza el dibujo a detalle de esta red de circuitos, el cual es el resultado de todos los pasos anteriores.

En cuanto a la fabricación de los circuitos electrónicos, se fabrican con diversos y diferentes materiales, estos materiales son típicamente, aluminio, n-tipo de silicon (i.e silicon puro mezclado con algún tipo de donador impuro el cual puede ser fósforo o arsénico)

En sí la fabricación de un "chip" es la realización de circuitos electrónicos sobre una caratula llamada "wafer". La fabricación consiste en tratamientos físicos y químicos del "wafer", y empaquetado para ensamblado y procesamiento del "chip".

El procesamiento consiste de litografía y otros mecanismos, como la implantación de un ion, la difusión, metalización, o grabado. El proceso se repite para cada carátula.

*SSI PRIMERA ESCALA DE INTEGRACIÓN, MSI MEDIANA ESCALA DE INTEGRACIÓN, LSI LARGA ESCALA DE INTEGRACIÓN, VLSI MUY LARGA ESCALA DE INTEGRACIÓN

CAPITULO III

**FORMULACION DEL POLI(CLORURO DE VINILO)
ANTIESTATICO**

3.1 GENERALIDADES.

El gran número de polímeros disponible en la actualidad sugiere que las propiedades deseadas para un producto específico son realmente obtenibles sin la necesidad de usar componentes químicos adicionales. Sin embargo, muchos polímeros tienen propiedades que pueden ser mejoradas grandemente por la adición de pequeñas cantidades de otros componentes químicos.

Es evidente que en la práctica actual, muchas resinas involucran la adición de varios componentes químicos así como aditivos para endurecer (fibras reforzantes), añadir flexibilidad (plastificantes), hacerlos más resistentes a la luz ultravioleta (estabilizadores), dar color (colorantes) y otras características más, además de: incrementar la lubricidad, disminuir la energía requerida para la manufactura y evitando al mismo tiempo la degradación mecánica ocurrida durante el procesamiento.

Los aditivos pueden presentarse en pequeñas cantidades o pueden ser una fracción considerable de el total del material. Por ejemplo, una formulación típica de PVC incoloro y retardante a al flama tiene 53.5% de suspensión PVC, 32.5% plastificante, 8.5% reforzante, 5.0% agente retardante de flama, 0.5% lubricante, y 0.5 estabilizador. Por otro lado una formulación para poliestireno (PS) de moldeo lleva 97% PS y 3% de agente retardante de flama.

Por lo descrito anteriormente, es de suponerse que en la industria actual las resinas son poco usadas en su forma natural y son mezcladas con otros materiales para mejorar sus características y así aumentar sus propiedades y por ello incrementar su uso en una gran cantidad de aplicaciones.

La tarea de mezcla comienza con el cambio de la distribución original de dos o más masas segregadas, para lograr una distribución aceptable de una masa a través de otra en ausencia

de difusión u otro movimiento molecular. El problema se hace más complicado cuando las partículas elementales no son independientes unas de otras, ejerciendo fuerzas intermoleculares conduciendo a la aglomeración de partículas.

En procesos de mezclado o dispersión donde se involucran termoplásticos derretidos, el material termoplástico es considerado esencialmente un fluido sujeto solo a flujo laminar, capaz de ser deformado.

3.2 TEORÍA DE MEZCLA

3.2.1 FUNDAMENTO DE LA TEORÍA DE MEZCLA.

En general la teoría de mezcla considera una masa segregada de dos componentes, y sus deformaciones por un proceso laminar o de cizallamiento. El objetivo del rompimiento es el de mezclar la masa en todos los sentidos de la muestra de modo que la masa presente una variación mínima y que esta tienda a cero. El proceso de rompimiento es general y no esta limitado al tipo de partícula o mecanismo de mezcla.

Tres son los principios básicos dados por la teoría de mezcla:

- 1.-El área del diedro entre diferentes componentes debe ser incrementada grandemente en el proceso de mezclado teniendo como resultado una disminución en el porcentaje de huecos.
- 2.-Los elementos en la interfase deben ser distribuidos uniformemente a través de la masa mezclada existente.
- 3.-Los componentes mezclados deben ser distribuidos también

por unidad de volumen.

La dinámica de fluidos o flujo de partículas dentro del proceso ideal obedece los tres requerimientos de la teoría de mezcla, esto es, el rompimiento es en ángulo recto a la dirección del flujo y es controlado por la variación de la brecha entre el elemento estacionario y el rotatorio, o por la variación de la velocidad del elemento rotatorio, o ambos.

3.2.2 LIMITACIONES DE LA TEORÍA DE MEZCLA.

La teoría de mezcla sufre de limitaciones las cuales son reconocidas cuando esta aplica a materiales plásticos actuales. Estas limitaciones se enuncian a continuación:

- 1.-Esta se limita a materiales viscosos puros (Newtonianos), actualmente los materiales plásticos son viscoelásticos o otro tipo de no-Newtonianos. Sin embargo, los conceptos cualitativos para cuerpos viscosos son de gran valor para favorecer la comprensión de el mezclado de materiales reales.
- 2.-Asume la no existencia de las fuerzas de Van der Waals u otras fuerzas entre partículas.
- 3.-La orientación inicial de componentes se supone a pesar que en la práctica jamás es conocida.
- 4.-El proceso de mezcla se considera isotérmico.

La mayor diferencia entre la teoría y la práctica es la incapacidad para describir totalmente el comportamiento reológico de los plásticos derretidos y la dispersión de las partículas de

CAPITULO III

los materiales polvosos, particularmente en aquellos flujos cuya mezcla es muy compleja.

Sin embargo, la aplicación de los conceptos cuantitativos y semicuantitativos ideales han arrojado una ayuda considerable en los procesos de mezclado reales.

3.2.3 METODOS DE ADICIÓN.

Los aditivos son usualmente combinados con los polímeros durante la combinación y el procesamiento, o adicionados durante la polimerización. Tres métodos pueden ser usados. El primero, puede usarse con monómeros después o durante la polimerización. Este método es satisfactorio para aditivos que son solubles o forman una mezcla uniforme en los reactantes, el aditivo debe ser también estable bajo las condiciones de polimerización y debe tener efectos mínimos en la cinética de la misma. Antioxidantes y aditivos para resistencia al impacto PS y PVC son frecuentemente incorporados en este estado.

Segundo, y más común, es cuando los aditivos son introducidos previamente en los materiales polimerizados en forma de polvos, gránulos o pastas. Cada tipo de polímero requiere un método especial de adición. Los polvos son mezclados con el polímero debajo del punto de ablandamiento de este para prevenir aglomeración después que el mezclado a sido completado. En el PVC, el plastificante es mezclado a baja temperatura para formar la pasta de producción. Las partículas de polímeros granuladas son agitadas con algunos aditivos para efectuar el mezclado.

Tercero, los aditivos pueden ser adicionados durante el procesamiento. Colorantes, agentes dispersantes, y reforzantes, son frecuentemente adicionados por este proceso.

3.2.4 PROBLEMAS EN COMBINACIÓN.

El uso de aditivos se emplea generalmente para aumentar una propiedad específica o un conjunto de propiedades en un plástico con la degradación significativa de otra propiedad. Debido a que los aditivos son generalmente complejos químicos, estos interactúan entre sí o con el seno del plástico de varias formas, produciendo efectos perjudiciales. Algunos problemas comunes asociados con la presencia de aditivos son:

Combinación impropia.— Se pueden observar en general tres problemas ocasionados por una combinación impropia: Primero, el mezclado incompleto durante la combinación produce pequeñas partículas duras aproximadamente 500 μm (20 mils) de diámetro dispersas a través de la parte plástica. Segundo, estabilizador insuficiente (aditivo para prevenir descomposición) en la combinación puede resultar en pequeñas decoloraciones de partículas en la parte de procesamiento en donde las temperaturas exceden el límite superior de estabilidad del plástico. Tercero, la descomposición de aditivos puede generar vapor de agua u otros productos gaseosos que producen pequeñas burbujas en la parte de moldeo. Las burbujas también pueden ser causadas por la oxidación de aditivos o deshidratación del mismo, esto a la temperatura de moldeo o por humedad introducida con los aditivos al no estar completamente secos antes de la combinación.

"Bleeding y Blooming"1.— Los aditivos deben ser estables con el polímero. Para dicha estabilidad los aditivos deben formar una segunda fase estable fase con pequeña tendencia a la migración o bien formar una solución estable con el polímero. La estabilidad de esta segunda fase es debida a la baja presión de vapor y bajo coeficiente de difusión. Una alternativa para la

¹RESISTENCIA A LA MIGRACION

formación de esta segunda fase estable es que el aditivo forme la solución estable con el polímero. Altos pesos moleculares son en general no misibles con otros, y dos fases tienden a formarse si el aditivo es de una larga cadena polimérica. Aditivos de bajo peso molecular pueden formar soluciones estables si la cadena química en el aditivo es similar a la del polímero. El aditivo debe ser lo suficientemente soluble para permanecer en solución durante todo el rango de temperaturas encontrado en el procesamiento.

La disminución en la solubilidad con la disminución de la temperatura o solubilidad insuficiente a temperatura ambiente resulta en la exudación del aditivo. Este fenómeno es conocido como "bleeding".

El fenómeno llamado "blooming" ocurre cuando los aditivos tienen bajos pesos moleculares y forman soluciones supersaturadas en el polímero a elevadas temperaturas. Si el porcentaje de difusión es lo suficientemente amplio, el aditivo puede migrar a la superficie.

PLATE-OUT.-Este fenómeno se refiere a la deposición de aditivos plásticos contenidos sobre la superficie de el molde o equipo de procesamiento durante la manufactura. Este fenómeno es causado cuando algunos aditivos (tales como lubricantes, o estabilizadores) no son compatibles con el plástico. Pigmentos y otros aditivos disueltos la fase del aditivo insoluble son arrastrados a lo largo del plato de salida. Una diferencia que distingue al efecto de "blooming" con el efecto "plate-out" es el tipo de material que causa tal efecto, así materiales como pigmentos orgánicos y reforzantes, no presentan efecto "blooming" debido a que son insolubles en el plástico a cualquier temperatura son arrastrados en el efecto "plate-out".

CHALKING.- Describe la desintegración de la superficie del plástico de modo tal que un excedente de pigmento o reforzante es expuesto y forma una capa de polvo sobre la superficie del producto. Este efecto se debe a la temperatura así como a oxidación acelerada de la superficie .

TOXICIDAD.- Los aditivos plásticos, los cuales incluyen una gran cantidad de componentes químicos, pueden ser lo suficientemente tóxicos para su uso aceptable, durante el procesamiento y acabado final del producto. Las limitaciones de toxicidad son extremadamente severas en el acabado del producto para ser usadas en empaque, textiles o en la industria del juguete, y sus aplicaciones involucran diversos límites para su uso.

3.3 ADITIVOS USADOS EN LA FORMULACIÓN DE PLÁSTICOS.

3.3.1 PLASTIFICANTES

3.3.1.1 DEFINICIÓN:

La palabra plastificante es una de las palabras y de los términos más usados en la industria del plástico.

Originalmente el termino plastificante fue definido como un aditivo el cual, se mezcla o combina con una resina polimérica proporcionándole suavidad y flexibilidad, esto debido a que disminuyen la temperatura de transición de vidrio del polímero e incrementa el volumen libre.

Sin la adición de un plastificante, no sería posible que el plástico formase tubos, películas, y otras formas flexibles. En teoría los plastificantes permiten el movimiento libre de la cadenas poliméricas con respecto a otra cadena, con un mínimo de

enredos y fricción interna. Un plastificante también actúa como un lubricante interno, venciendo las fuerzas atractivas entre cadenas y separándolas.

La adición de un plastificante a una resina polimérica tiene los siguientes efectos sobre la resina:

- 1.-Disminución en el módulo de tensión a 100% de elongación.
- 2.-Un incremento en la elongación.
- 3.-Un incremento en la fuerza de impacto y flexibilidad a baja temperatura.
- 4.-Una disminución en la temperatura de flujo (o mezcla) requerida para procesar la mezcla resina-plastificante.
- 5.-Incremento en la viscosidad.

Un plastificante puede ser adicionado o incorporado dentro del plástico, pero no puede ser químicamente enlazado a este. Algunos solventes pueden disolver el PVC, y puede ser llamado plastificante. Pero en realidad la palabra plastificante es algo más que un solvente.

3.3.1.2 METODOS DE MANUFACTURA.

Los plastificantes, químicamente son productos de reacciones de ácidos mono y dicarboxílicos y uno o dos alcoholes (incluyendo el glicol. La reacción es llamada esterificación e involucra el uso de un catalizador (por ejemplo ácido sulfúrico o ácido sulfónico) a una temperatura y presión dada. Una típica preparación es la del 1-2-etilhexil ftalato.

Los procesos para estéres no simétricos involucran la esterificación de mezclas de dos alcoholes con la finalidad de comprimir el estér a una mezcla del tipo di-simétrica y no simétrica.

Los fosfatos son una excepción ya que se producen de la reacción de POCl_3 y el correspondiente fenol, cresol o alcohol

3.3.1.3 TIPOS.

Muchos plastificantes son líquidos, sin embargo los hay sólidos los cuales se derriten a la temperatura de combinación.

Todos deben exhibir una buena compatibilidad con la resina, estos son usualmente incoloros e inodoros y tienen baja presión de vapor y buena estabilidad térmica. Desafortunadamente disminuyen las características de la resina en cuanto a: dureza, fuerza, resistencia al calor, estabilidad dimensional y resistencia a los solventes.

En cuanto a la clasificación de los plastificantes se encuentran divididos en plastificantes primarios y secundarios.

Los plastificantes primarios tiene un parámetro de solubilidad lo suficientemente cercano a el de material base, de tal manera que no pueda exudar en el seno del material. Este afecta las propiedades suficientemente para gelificar el polímero dentro del rango de temperaturas del procesamiento.

Los plastificantes secundarios tienen un parámetro de solubilidad no tan cercano como los primeros y tienen una baja habilidad de gelación. Sin embargo, estos forman una solución estable con el polímero.

Dentro de los plastificantes más comunes se encuentran:

FTALATOS.-De los 14 estéres ftalatos que aparecen en la publicación Norte Americana "Tariff Committee Reports", el dioctil (ó di-2-etilexil) ftalato es por mucho el plastificante sencillo

CAPITULO III

más producido. El dioctil ftalato a tenido también una posición envidiable en los últimos 10 años debido a su continuidad y excelente balance de precio y efectividad. Este es usado principalmente en la industria del PVC.

Otros ftalatos de consideración por su peculiar uso (peculiar para una resina o otras aplicaciones) son el dioctil (usado en la nitrocelulosa, recubrimiento de celofán y en adhesivos), butilbenzil (usado en recubrimientos de piso de asbesto), dietil y dimetil (usados en la fabricación de acetato de celulosa).

• FOSFATOS.-La importancia comercial de los fosfatos incluye tricresil difenil, tricresil, trifenil, 2-etilhexil difenil, tributoxi etil, tri2-etilhexil fosfato.

En un tiempo la mayoría de la producción del tricresil fosfato fue usado en resina polimérica, sin embargo, para 1959 el 50 % de la producción fue usada como aditivo para gasolina (por Shell y Conoco).

LOS FLEXIBILIZANTES.- Este es también un grupo importante dentro de los plastificantes y comprende los cebaceos, adiposos. típicamente los plastificantes dentro de este grupo son producidos por la reacción de isoctanol, 2-etilhexanol, e isodecanol con cadenas largas de ácidos dibásicos. La flexibilidad que otorgan son aproximadamente dos veces la de los ftalatos, estos aparecen en muchas formulaciones pero debido a su costo por arriba de los ftalatos son poco usados.

LOS POLIMERICOS.-Una categoría de plastificantes que aún no aparece en los reportes, son los poliméricos productos de reacciones con unidades de repetición de glicol y una cadena de ácido dibásico.

Pero con cerca de 500 diferentes plastificantes para escoger y una combinación con un número ilimitado de formulaciones el escoger un plastificante puede ser una tarea exacta, debido a los efectos en las propiedades físicas de los productos.

Un buen punto de inicio es el de decidir las propiedades del producto final, entonces el escoger un plastificante comienza bajo el criterio de satisfacción de propiedades del producto final así como su compatibilidad con la resina y su costo.

3.3.2 COLORANTES

3.3.2.1 GENERALIDADES.

El uso de colorantes ha hecho posible la producción de una gran variedad de materiales con colores desde pastel hasta tintas oscuras y profundas además de matizados y sombras. Hablando en general existen dos tipos de colorantes usados en plásticos; teñidores y pigmentos, ambos orgánicos e inorgánicos, la diferencia esencial entre un teñidor y un pigmento radica en su solubilidad ya que los primeros son solubles en el plástico mientras que los pigmentos son insolubles.

El escoger uno u otro depende de la compatibilidad con la resina o bien de las necesidades de solubilización, de igual importancia es la estabilidad del color, cual medio (tinte o pigmento) es estable a temperaturas de moldeo, exposición a la luz, humedad y aire en su uso final. Los colorantes también se eligen debido a su resistencia, propiedades eléctricas, gravedad específica, coloración, claridad y resistencia a la migración -efecto "bleeding"-.

3.3.2.2 APLICACIÓN.

Con algunas excepciones, los colorantes son suministrados como polvo seco de diferentes gravedades específicas y diferentes tánicos. Los teñidores solubles son de fácil uso. Los polvos son simplemente adicionados en un tambor con cantidades de resina previamente pesada y distribuida uniformemente a través de la

mezcla.

Como la resina es licuada en un extrusor o un inyector de moldeo, el teñidor se disuelve en la resina.

3.3.2.3 ESTABILIDAD DE COLORANTES.

Los colorantes son los aditivos más sensibles hablando térmicamente. Los pigmentos cambian de color como resultado del calentamiento durante el procesamiento y aún en el período de uso. Estos cambios de color son función del tiempo de exposición a altas temperaturas durante la manufactura del plástico. Los pigmentos inorgánicos son menos sensibles que los pigmentos orgánicos y teñidores.

La estabilidad térmica depende del medio ambiente en el que se encuentre el pigmento o teñidor ya que la estabilidad de un colorante varía con el polímero en el cual se ha de mezclar.

Efecto "blomming y bledding" en colorantes. Los pigmentos inorgánicos son esencialmente insolubles en los plásticos con los que son mezclados, y como un resultado de esto ocurre la no difusión de partículas del pigmento y por tanto el efecto "bledding" en el líquido o plástico no existe.

Por otra parte los componentes orgánicos pueden presentar difusión y el efecto "bledding" en solventes o otros plásticos en contacto puede ocurrir. Los pigmentos orgánicos disueltos en una concentración saturada a una temperatura elevada pueden presentar efecto "blomming" al enfriarse causando precipitación en la superficie del espécimen, produciendo una decoloración en esta.

3.3.2.4 TIPOS DE COLORANTES.

La clasificación de los colorantes incluye teñidores, pigmentos, pigmentos fluorescentes así como colorantes óxidos.

Teñidores.- Todos los teñidores son transparentes y de limitada estabilidad térmica, pero proporcionan brillo por lo que son muy usados cuando la transparencia es deseada.

Los teñidores frecuentemente tienen mucho color mejorando así el desvanecimiento de los pigmentos plásticos. La superficie puede decolorarse pero la parte interior del plástico permanecerá en buen estado.

Los teñidores tienen una estabilidad térmica mucho menor que la de los pigmentos, especialmente aquellos pigmentos de origen inorgánico, y debido a esta inestabilidad se decoloran con mayor facilidad a temperaturas de moldeo y condiciones de uso. Actualmente se requieren plásticos resistentes a el calor por lo que la estabilidad de los colorantes se transforma en un factor muy importante. A temperaturas de moldeo de 400 a 600°F no es recomendable el uso de un teñidor, favoreciendo la elección de un pigmento inorgánico mucho más estable a dichas temperaturas.

Pigmentos plásticos.- Los pigmentos plásticos son opacos y muy sensibles a la luz, desvaneciéndose en la superficie y oscureciéndose en el interior. Colorar con pigmentos es difícil, particularmente con pigmentos orgánicos y frecuentemente se requieren equipo y tecnología especial para lograr la incorporación del pigmento a la resina.

La dispersión de un pigmento es un proceso en el cual las partículas son remojadas en la resina en estado derretido, la dispersión de los pigmentos depende de la temperatura a la cual los dos materiales son mezclados, así como del tamaño de

partícula del pigmento y el peso molecular del polímero, así mismo el tiempo y equipo de mezcla son muy importantes.

Una dispersión impropia afectará el matizado del color, además de perjudicar las propiedades físicas del plástico. Una forma de compensar esta pérdida en la intensidad del color, es incrementar la cantidad del pigmento, pero esto afecta en el incremento significativo del costo.

Más aún, un gran número de pigmentos aglomerados no dispersos pueden bloquear la malla o filtro de extrusión y causar explosiones eventuales a bajas presiones. En estas circunstancias, la superficie del material extruido pierde flexibilidad y en películas plásticas estas partículas pueden también causar porosidad. Por lo enunciado anteriormente se puede afirmar entonces que una buena dispersión es la llave para una coloración exitosa.

Los pigmentos pueden ser clasificados en términos de dispersabilidad. Generalmente los pigmentos inorgánicos presenta un tamaño de partícula grande facilitando su dispersión, un ejemplo de estos materiales es el blanco de Titanio.

En contraste los pigmentos orgánicos son de difícil dispersión. Muchos pueden ser mezclados en seco con la resina y extruirse o inyectarse para moldeo en equipos convencionales preparados previamente para la mezcla seca.

Algunos pigmentos orgánicos son de difícil dispersión a tal grado que solo equipos especiales pueden utilizarse con éxito.

Los pigmentos orgánicos son vaporosos, muy luminosos, y llevan cargas electrostáticas, por lo que se hace muy difícil su combinación en seco.

Pigmentos con partículas pequeñas proporcionan gran fuerza de coloración, pero su gravedad específica crea problemas en el pesado. Además estos materiales requieren un manejo y procedimientos apropiados que aseguran la uniformidad de color y

que eviten la contaminación de equipo y material.

Carbón negro.- Debe tenerse cuidado en no confundir estos pigmentos con cargas reforzantes. Básicamente estos pigmentos contienen diferentes grupos orgánicos que afectan la profundidad del color y la humedad de la partícula por el polímero derretido. La dimensión de la partícula es relativamente pequeña comparada con la de los reforzantes. Este tipo de pigmento provee una alta absorción de luz ultravioleta (UV) por lo que puede ser considerado también un estabilizador de luz.

Pigmentos fluorescentes.- La fluorescencia ocurre cuando un átomo interactúa con luz de alta energía en el rango de luz ultravioleta, generando un estado de actividad electrónica. La molécula activada entonces radiará energía en forma de luz en un rango visible y la diferencia entre la energía de incidencia y la de radiación será disipada como calor. Muchos colores atractivos a la retina humana son producidos por esta radiación.

A pesar de que las moléculas fluorescentes son teñidores, estos son procesados y comercializados mezclados con plásticos en una forma insoluble por lo que son más usados los pigmentos, además los teñidores tienen una mayor tendencia al efecto "blooming" comparados con los pigmentos y son más sensibles a la degradación por luz.

Colorantes óxidos.- Los óxidos inorgánicos exhiben una variedad de colores y un alto estado de oxidación, así como una gran resistencia a el calor. Debido a que son componentes de metales pesados son generalmente tóxicos por lo que es deseable su reemplazo con otros editivos menos tóxicos en la Tabla 3.1 se listan algunos colorantes de este tipo.

TABLA 3.1
 COLORANTES ÓXIDOS INORGÁNICAS.

ÓXIDO	COLOR
ÓXIDO DE ACERO TITANIO-NÍQUEL-ANTIMONIO..	VARIACIÓN DE CAFÉ ROJIZO.
MEZCLAS OXIDAS.....	VARIACIÓN DE AMARILLOS
COBALTO-ALUMINIO-TITANIO- NÍQUEL-ZINC	VARIACIÓN DE VERDES
Óxido DE COBALTO-ALUMINIO	VARIACIÓN DE VERDES
DIÓXIDO DE TITANIO	BLANCO

3.3.3 ESTABILIZADORES

3.3.3.1 DEFINICIÓN.

A menudo se encuentran formulaciones con problemas de estabilidad, los cuales pueden ser disminuidos por la adición de compuestos (estabilizadores) apropiados para el tipo de polímero. Pequeñas cantidades de fenoles alquilados, benzofenoles, organofosfinas y organometales dispersos uniformemente en el material son utilizados para retardar el proceso de degradación, previniendo pérdidas en las propiedades mecánicas y minimizando cambios de color indeseables.

3.3.3.2 TIPOS.

Los estabilizadores pueden ser clasificados convenientemente en componentes efectivos contra la degradación por luz

ultravioleta, por oxidación, calor y por combinaciones de luz, calor y deshidrogenación.

Estabilizadores de calor.— Los estabilizadores de calor son usados para prevenir la degradación de las resinas durante el procesamiento, cuando son fundidos a altas temperaturas.

Todos los polímeros orgánicos son susceptibles a degradación por reacción con oxígeno presente en la atmósfera. La agudeza de la oxidación depende de las condiciones de uso y del tipo de polímero. Así aquellos polímeros con alta resistencia a la oxidación son seleccionados para el diseño de partes cuyo uso será en condiciones severas. Adicionalmente antioxidantes son usados rutinariamente para estabilizar evitando degradaciones.

Los síntomas principales de la oxidación son tres.

- 1.-La apariencia del plástico puede cambiar. Muchos polímeros tienden a tornarse amarillentos como resultado de la absorción de luz.
- 2.-Un eslabonamiento cruzado puede ocurrir en termoplásticos como resultado de la oxidación. La superficie puede endurecerse con el paso del tiempo además de la exposición a el aire y calor, perdiendo su lustre en la superficie, esto debido a la formación de cenizas en su superficie residuos de la oxidación del producto o de aditivos los cuales pueden mirar del polímero durante la reacción de oxidación.
- 3.-Las propiedades pueden deteriorarse (resistencia a el impacto, resistencia a la tensión y elongación) debido a la oxidación.

Proceso de oxidación térmica.— Los tres métodos de degradación de polímeros son:

- a) Degradación al azar.
- b) De cadena insaturada

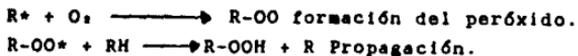
c) Ataque de defecto.

El primero ocurre al azar atacando y degradando las cadenas a través del polímero, dando como resultado la producción de un polímero de bajo peso molecular. El polietileno exhibe este tipo de degradación. En la degradación por cadena insaturada, el final de la cadena es atacada, y degrada la cadena al tamaño del monómero en muchas ocasiones. El polimetilmetacrilato (PMMA) se degrada por este mecanismo. Finalmente algunos polímeros manufacturados contienen defectos en la estructura de sus largas cadenas por enlaces débiles los cuales son atacados. El poliestireno preparado bajo ciertas condiciones muestra este defecto.

Muchos polímeros orgánicos son susceptibles a ataque por oxígeno ambiental. La oxidación ocurre a través de una serie de reacciones químicas involucrando la formación de radicales libres. La iniciación de la reacción ocurre por la generación de un radical libre en la cadena del polímero:

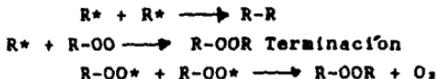


Entonces el oxígeno reacciona con el radical libre formando un radical peróxido que puede atacar otras moléculas del polímero, perpetuando la reacción:



El Hidroperóxido (R-OOH) puede también descomponerse para formar otros radicales. El proceso de oxidación puede terminarse por diferentes formas. El Radical peróxido puede descomponerse para producción de oxígeno y componentes estables, o bien la presencia de radicales libres puede interactuar para formar

compuestos estables:



Para terminar este proceso de oxidación térmica, los dos radicales libres propagan la reacción, R^* y $R-OO^*$, deben ser eliminados. Bajo condiciones atmosféricas normales la concentración de $R-OO^*$ es mayor que R^* . Para disminuir el porcentaje de oxidación la concentración de $R-OO$ debe decrecer. Próximo a finalizar el proceso, dos clases de antioxidantes son producidos (primarios y secundarios) el primer grupo acelera la terminación de la cadena por contención de un reactante de hidrógeno el cual reacciona con el peróxido finalizando el proceso de propagación, estos compuestos son fenoles substituidos.

Los antioxidantes secundarios reaccionan con el hidroperóxido previniendo la descomposición por generación de radicales libres. Estos antioxidantes son principalmente sulfuros que contienen esteres de ácido fosforico. Estos se comportan sinérgicamente con los antioxidantes primarios, incrementando su efectividad considerablemente.

Estabilizadores de luz. - La energía que se encuentra en la región ultravioleta del espectro, es capaz de causar muchas reacciones de degradación en polímeros.

La radiación ultravioleta de la luz solar es proporcionalmente absorbida por vapor de agua, ozono y dióxido de carbono en la atmósfera. La radiación remanente es dispersa por partículas de polvo y nubes, aunque dicha dispersión no decaese el manto total de luz ultravioleta. Aproximadamente 6% del total de la radiación alcanzada en la superficie de la tierra es de la

región ultravioleta del espectro y varía con las condiciones del día.

Virtualmente todos los plásticos se degradan con la luz solar en diferentes formas, la forma más común de degradación es la decoloración y la pérdida de sus propiedades físicas. Particularmente susceptible a esta degradación son las poliolefinas, poliestireno, PVC y poliuretano.

El daño ocurrido por la absorción de energía de radiación ultravioleta dentro del polímero ocurre en el enlace químico. La luz absorbida corresponde a la energía necesaria para romper el enlace químico, cambiando y degenerando la estructura química del polímero. En la TABLA 3.2 se muestra la longitud de onda de luz ultravioleta que interactúa destruyendo varios tipos de enlace en los polímeros

TABLA 3.2
LONGITUD DE ONDA INTERACTUANTE.

TIPO DE ENLACE	ENERGÍA DE ENLACE Kj/mcl	LONGITUD DE ONDA µm	LONGITUD DE ONDA mil
C-H	380-420	290	11.4
C-C	340-350	300	11.8
C-O	320-380	320	12.6
C-Cl	300-340	380	13.8
C-N	320-330	400	15.7

Por lo anterior el trabajo de estabilización del color y alargamiento de vida de un producto corresponde a la absorción de luz ultravioleta.

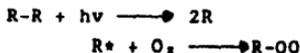
Para inhibir la degradación por absorción de luz

ultravioleta, se incorporan aditivos estabilizadores de luz dentro de la parte plástica para uso externo. El rango de concentración es usualmente de 0.05% a 2%. Otros aditivos que previenen la penetración de luz en el polímero actúan como estabilizadores de luz; algunos de estos son carbón negro, pigmentos y cargas reforzantes.

La resistencia a la degradación generada por luz ultravioleta es función del espesor, grado de incidencia, alcance de cristalización, así como la presencia de otros aditivos, colorantes, antioxidantes y cargas reforzantes. Como resultado de la dispersión de luz en la superficie de la interface cristalizada, la longitud de trayectoria a través del polímero particularmente cristalizado es significativamente amplia, tanto que es un polímero amorfo y semicristalizado y por lo tanto es más susceptible a daños por luz.

La excitación de la molécula por absorción de fotones en el rango ultravioleta genera radicales libres. El proceso es similar y en muchos casos difícil de separar de la oxidación térmica. Aunque algunos enlaces pueden ser activados y rotos por luz ultravioleta de alta frecuencia y energía, el medio constituye la fotodegradación en muchos polímeros creando impurezas, hidroperóxidos y grupos de carbono con doble enlace.

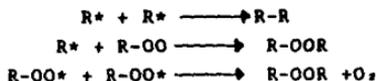
La degradación da comienzo por la interacción de fotones ultravioletas con un enlace en actividad sencilla en la molécula, rompiendo este enlace:



La propagación de las cadenas es beneficiada por la reacción con oxígeno, como en el caso de la oxidación térmica.



También como en la oxidación térmica, la terminación de la cadena ocurre por diversas reacciones:



La estabilización puede llevarse a cabo por cuatro técnicas. La primera es la incorporación de aditivos que absorben la luz antes de que pueda contactar el centro del polímero activando la degradación. La radiación perjudicial es absorbida por el estabilizado y la energía es disipada como calor. Estos componentes son primeramente absorbedores de luz y posteriormente eliminadores de calor. Dichos estabilizadores son muy usados en artículos gruesos donde existe suficiente profundidad para la absorción completa de la radiación ultravioleta (la superficie sin embargo, puede no ser protegida por este aditivo). Los principales aditivos en esta categoría son: hidroxibenzofenoles e hidroxifenil-benzotriazoles.

La segunda técnica desactiva el estado de excitación del centro de iniciación. Dicha reacción produce energía la cual es generada en forma de calor o radiaciones fluorescentes. El tercer método transforma los hidroperóxidos generando otras formas estables que no generan radicales libres. Complejos metálicos que contienen sulfuros son muy eficientes y pueden usarse en concentraciones bajas; Dialquilditioarbonato, disquildifosfato y tiobisfenotato son usados. La cuarta técnica es la incorporación de aditivos para reaccionar con los radicales y así generar otras reacciones de alto. Aminas obstaculizantes pueden operar en este mecanismo.

Realmente el mecanismo de comercialización no es conocido precisamente y probablemente opera por acción simultánea de más

de una técnica de estabilización.

3.3.3.3 ELECCIÓN.

La elección de un absorbedor de luz UV depende de la aplicación particular, la resina base, el efecto final del color y la durabilidad requerida del producto final. Sólo un pequeño número de disposiciones gubernamentales son aplicables en aquellos uso que involucran productos comestibles o drogas. La concentración en una formulación se encuentra en el rango de 0.25% a 1%.

3.3.4 LUBRICANTES

3.3.4.1 DEFINICIÓN.

Los aditivos lubricantes son usados para aumentar la procesabilidad de la resina y la apariencia final del producto.

Un lubricante efectivo debe ser compatible con la resina con la cual se usará, no debe afectar las propiedades del producto final y debe de ser de fácil combinación.

Sin la adición de un lubricante, el procesamiento de muchos materiales plásticos no es posible, y los altos porcentajes de producción de otras resina pueden no ser rentables. El procesamiento es generalmente realizado a temperaturas cercanas a la descomposición del plástico y aún cuando el incremento de la temperatura disminuye la viscosidad e incrementa el porcentaje de flujo de la masa, esta tiende a degradarse a un grado intolerable.

Muchos termoplásticos son moldeados en estado líquido con una alta viscosidad. Esta viscosidad debe ser disminuida provocando así la reducción de la energía necesaria para su procesamiento y tiempo de uso de equipo. Los aditivos también reducen la fricción

externa del polímero derretido el cual se mueve a través del equipo de moldeo. Si ocurre adherencia, la superficie del producto final presentará porosidad y se tornará quebradizo. El lustre y la porosidad del producto final son resultado directo de la lubricación apropiada. Así una baja lubricidad puede causar degradación y frecuentemente viscosidades altas. Por otra parte un exceso de lubricante causará derramamientos y bajos rendimientos del producto. Además un mal balance de lubricante y estabilizador puede causar efecto "plate-out" o bien migraciones de pigmento en el sistema derretido.

Los lubricantes son adicionados a la combinación como un polvo con un bajo punto de derretimiento o bien como un líquido.

3.3.4.2 REQUERIMIENTOS DE LUBRICANTES.

Durante el procesamiento no debe ocurrir efecto "bleeding", la existencia de dicho efecto en el lubricante es particularmente seria ya que el lubricante tiende a disolver otros aditivos y transportarlos hacia las paredes del equipo. Esto tiende a construir una capa de aditivos sobre la pared del equipo causando un efecto de "plate-out" y defectos significativos en el producto final. Los lubricantes deben ser también estables térmicamente ya que las temperaturas de moldeo son generalmente elevadas.

En cuanto a la clasificación de los lubricantes, estos se clasifican en cinco categorías las cuales son: estereatos metálicos, estéres y amidas grasas, ácidos grasos, y ceras e hidrocarburos así como polietilenos de alto peso molecular.

3.3.5 AGENTES ANTIESTÁTICOS.

3.3.5.1 DEFINICIÓN.

Los agentes antiestáticos son compuestos químicos cuya

función principal es la reducción de la tendencia a adquirir cargas electrostáticas y consecuentemente evitar problemas asociados con descargas eléctricas. La electricidad estática o carga electrostática, es básicamente una deficiencia o exceso de electrones sobre un aislante o superficie rugosa. éste es principalmente un fenómeno de superficie y en plásticos es generado por la fricción entre la superficie del polímero y algún otro material. El Departamento de defensa de lo Estados Unidos de América a clasificado el fenómeno de descarga eléctrica en términos de resistividad de superficie como conductividad; ($>10^8$ ohm-cm²), estática disipativa; ($>10^8$ a $\leq 10^9$), antiestático ($>10^9$ a $\leq 10^{10}$), ó aislante ($>10^{10}$). El control de la carga estática es esencial en el procesamiento, manejo y uso final del plástico. Un claro ejemplo es el creciente mercado de componentes eléctricos para computadora ("chips"), ya que se requiere un control contra descargas electrostáticas sobre muebles, piso e instalaciones en general, asimismo, la protección es necesaria en el manejo y empaque de los componentes electrónicos. La carga estática es disipada o descompuesta en dos formas: a través de conducción dentro y a lo largo de la superficie del material y por radiación del aire. Un aditivo en el plástico causará que esto suceda directa o indirectamente por introducción funcional de especies iónicas en el compuesto, los electrones se transportarán de lado a lado y a lo largo de la superficie y rápidamente se transferirán a el aire y/o tierra, eliminando así la diferencia potencial entre la carga y la estática. Los grupos hidróxilos y moléculas antiestáticas atraen especies iónicas del aire y en conjunción con las hidrofílicas forman la disipación de sitios.

3.3.5.2 TIPOS DE ANTIESTÁTICOS.

Los agentes antiestáticos se dividen en internos y externos.

Los agentes internos son aditivos que se mezcla en el seno del plástico. Los agentes externos son sustancias higroscopicas como la glicerina, los cuales se aplican directamente sobre la superficie del producto final después de que se ha completado el moldeo del producto final. Este es inmediatamente efectivo pero puede ser removido fácilmente por lavado y tallado de la superficie. Por esto los aditivos externos no son clasificados como aditivos plásticos.

Muchos aditivos antiestáticos funcionan como surfactantes, cuando se adicionan a el seno del plástico durante la combinación o moldeo, en otras palabras el aditivo se difunde hacia la superficie de la parte moldeada, esto tiene lugar debido a que su molécula tiene dos componentes; Una parte es compatible y se disuelve o reacciona en el plástico y la otra parte migra a la superficie del plástico conteniendo grupos funcionales hidrófilicos que atraen humedad. En medios suficientemente húmedos, se forma una capa de agua sobre la superficie de la parte plástica, disminuyendo la resistencia eléctrica de la superficie y permitiendo la disipación de la carga.

El espesor de la película de agua generada depende de la humedad relativa del medio. Algunos antiestáticos también son higroscopicos, atraen e incrementan el espesor de la película de agua sobre la superficie.

Un buen agente antiestático disminuye la resistividad por un factor de 10^6 Ohm/pie² en promedio. Debido a que la película de agua formada en la superficie del plástico es obtenida del medio ambiente, la humedad relativa del medio ambiente afecta la eficiencia de operación del agente antiestático.

Los agentes antiestáticos más comunes para plásticos son aminas, componentes de aminas cuaternarias, fosfatos, éteres y glicol.

Otras técnicas para disminuir la electricidad estática es

incrementar la conductividad eléctrica en el seno del material. El carbón negro es muy utilizado para este propósito. Polvos metálicos, dióxido de Titanio y mezclas de óxidos también son muy utilizados. Así mismo existe una gran variedad de aditivos nuevos tales como: recubrimientos de níquel, hojuelas de carbón, recubrimientos metálicos, cerámica y hojuelas de aluminio.

3.4 RESINA DE PVC

3.4.1 PROCESOS DE POLIMERIZACIÓN.

La producción de Poli(cloruro de Vinilo) se realiza mediante la polimerización del monómero de Cloruro de Vinilo, para ello se han desarrollado cuatro procesos básicos; suspensión, emulsión, masa y solución. Todos por el método de cargas batch o lotes.

En todos los procesos la polimerización es iniciada por radicales libres producidos por la descomposición térmica de peróxidos o persulfatos. La velocidad de polimerización es particularmente sensible a la temperatura de reacción y a la concentración y tipo de iniciador utilizado. La distribución del peso molecular del producto final es también influenciado por estos parámetros.

La tendencia de estos procesos ha sido usar reactores cada vez más grandes los cuales típicamente tienen una capacidad en el rango de 2,000 a 7,500 galones, aunque recientemente han sido instalados reactores con capacidad de 26,000 a 35,000 galones.

3.4.2 DEFINICIÓN DEL MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO (VCM).

Se denomina VCM al monómero del cloruro de vinilo, el cual es

CAPITULO III

un producto petroquímico básico derivado principalmente del etileno.

Su formula es:



Es un gas, incoloro a temperatura ambiente, inflamable, de olor dulce característico; su temperatura de ebullición es de -13.8°C , su densidad relativa es 0.9121 (20°C).

Su punto de ignición es de -77°C y su temperatura de autoinflamación es de 472°C . Ligeramente soluble en agua y soluble en éter y alcohol. Límite explosivo en aire, entre 4 y 22%.

Por primera vez fue preparado en el laboratorio durante la primera mitad del siglo XIX por Regnault, al tratar el Dicloroetano con una solución alcohólica de Hidróxido de Potasio. Actualmente es un producto petroquímico muy importante y la capacidad de producción se ha incrementado muy rápidamente. El principal proceso de obtención es la Oxicloraación del Etileno. Aunque actualmente existen plantas que usan varias combinaciones de Etileno, Acetileno, Cloro, Acido Clorhídrico y Oxígeno como materias primas.

En México la producción se inicia con la cloración directa del Etileno para producir Dicloro Etano (DCE). el cual por pirólisis, se descompone en Cloruro de Vinilo y Acido Clorhídrico; el Cloruro de Vinilo se separa y se envía a almacenamiento y venta, el ácido se alimenta al tren de oxicloraación, en donde junto con el Etileno y Oxígeno tomado del aire, forma agua y Dicloroetano que se alimenta a la producción de VCM, aprovechándose así el ácido, obteniendo y reduciendo costos, riesgos y eliminando una fuerte contaminación ácida.

3.4.3 POLIMERIZACIÓN DE CLORURO DE VINILO.

Los polímeros del Cloruro de Vinilo comúnmente llamados PVC, son la segunda gran familia de polímeros producidos en Estados Unidos de América y posiblemente a nivel mundial. El término polímero de PVC se utiliza para referirse a aquellos materiales de polimerización pura de cloruro de vinilo, o de mezclas de comonomeros en los cuales predomina el cloruro de vinilo.

Los polímeros de PVC son por mucho el miembro más importante de la familia de los polímeros del Cloruro de Vinilo, los cuales normalmente incluyen; Cloruro de Polivinilo, Acetato de Polivinilo y Alcohol Polivinílico.

3.4.4 QUÍMICA DE LA POLIMERIZACIÓN DEL VCM.

El Cloruro de Vinilo o mezclas de comonomeros en los cuales predomina el Cloruro de Vinilo son polimerizados por cadenas de reacciones de radical libre, las cuales son bastante similares a las de polimerización del Etileno a altas presiones. Los pasos básicos y la cinética de la polimerización del Cloruro de Vinilo es la siguiente:

Iniciación.—Es normalmente realizada con un componente que forme radicales libres a temperaturas relativamente bajas. Los iniciadores más usados en la polimerización del Cloruro de Vinilo son: Isopropil Percarbonatado, Azo-bis-isobutilonitrilo, y algunos peróxidos. Cerca del 30% de todos los iniciadores peróxidos (para polimerización de varios productos) son usados para polímeros de Vinilo, incluyendo Acetato de Polivinilo. Los pasos químicos ocurridos durante la reacción son:



donde R^* es el radical libre obtenido del iniciador I, y k_d es la

constante de equilibrio para la reacción (1). El iniciador fragmentado R^* será incorporado posteriormente en el radical libre formado en la Ecuación (2).

El porcentaje de descomposición de I es :

$$-d(I)/dt = kd(I) \dots \dots \dots (3)$$

donde el paréntesis en I indica la concentración de I en la solución.

Entonces dos radicales libres R^* son formados en cada descomposición de una molécula iniciadora y solo una fracción f de R^* reaccionara vía la Ecuación (2).

$$d(M^+)/dt = 2kd_f(I) \dots \dots \dots (4)$$

donde M^* es el radical libre formado después de la adición de una molécula de Cloruro de Vinilo a un radical libre como lo es R^* .

Propagación.—Involucra la adición del Cloruro de Vinilo a el radical libre en el final de una cadena en crecimiento:



donde n varía de cero a un alto número. La constante de equilibrio k_p para los pasos de propagación es considerada independiente de la longitud de la cadena. Dicha suposición es verificada por muchos tipos de polimerización por radical libre. La ecuación de cinética para la reacción es entonces:

$$-d(CH_2=CHCl)/dt = k_p(M^*)(CH_2=CHCl) \dots \dots (10)$$

donde M^* es en este caso, la concentración de :



Terminación.—En este paso la concentración de radicales libres disminuye y frecuentemente involucra la reacción entre dos cadenas (M^*)_n y (M^*)_m para formar M_n-M_m donde n y m se refieren al número de grupos (-CH₂-CHCl-) en cada cadena. Se han observado resultados desproporcionados en las moléculas del polímero, M_n y M_m ; una de las moléculas es saturada y la otra tiene un doble enlace en el final de la cadena. La ecuación de equilibrio es:

$$-d(M^*)/dt = 2kt (M^*)^2 \dots (11)$$

donde kt es la constante de equilibrio para la terminación por acoplamiento y desproporción. El entero 2, se refiere a la destrucción de dos radicales por cada terminación de reacción.

Esta aproximación muestra que $d(M^*)/dt$ tiende a cero para muchas de las polimerizaciones, entonces la suma de las ecuaciones (4) y (11) es cero y por tanto:

$$(M^*) = (kd_f / kt)^{1/2} I^{1/2} \dots (12)$$

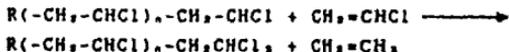
sustituyendo (12) en (10)

$$-d(CH_2=CHCl)/dt = (kd_f / kt)^{1/2} k_p (CH_2=CHCl) (I)^{1/2} \dots (13)$$

Si f tiene un bajo valor es entonces directamente proporcional a (M^*) . En este caso el porcentaje de polimerización del Cloruro de Vinilo es proporcional a $(CH_2=CHCl)^{1/2}$.

Entonces (I) y $(CH_2=CHCl)$ varían con el tiempo. La Ecuación (13) o modificaciones de esta son frecuentemente usadas para determinar porcentajes iniciales de polimerización. En este caso, las cantidades (I) y $(CH_2=CHCl)$ se refieren a la concentración inicial. La Ecuación (13) puede acentuar datos de cinética para algunas polimerizaciones de Cloruro de Vinilo que ocurren en soluciones diluidas. Sin embargo en soluciones concentradas o no diluidas esta ecuación no proporciona datos confiables. En polimerización por suspensión, muy usada en la industria, el Cloruro de Vinilo se encuentra en estado no diluido.

Transferencia de cadena.—Es el método de terminación del crecimiento de la cadena del radical libre, pero en el proceso el radical libre es transferido a otra molécula. El resultado neto no disminuye en la concentración de radicales libres. La transferencia de la cadena puede ocurrir con Cloruro de Vinilo como sigue:



El Cloruro de Vinilo puede adicionarse a el radical $CH_2=CH_2$

para formar otro crecimiento de cadena. Sin embargo algunos de estos radicales actúan destruyendo otros radicales libres, como ocurre en la siguiente reacción:



El butadieno actúa como un terminador de cadena, cuando se adiciona a una cadena crecida. Entonces se forma un agente terminador no reaccionante y forma un radical de resonancia estabilizadora.

La transferencia de cadena puede también ocurrir con el iniciador o molécula del polímero (PVC).

Usualmente el peso molecular del polímero disminuye cuando la transferencia es con el iniciador, pero no se ve afectado cuando la transferencia se da con una molécula del polímero. En general se puede afirmar que las condiciones de operación durante la polimerización afectan las características de las moléculas del PVC. Como regla, el incremento de temperatura así como un incremento en la concentración del iniciador disminuyen el peso molecular del polímero (PVC).

3.4.5 FUNDAMENTOS DE LA POLIMERIZACIÓN

Para comprender el proceso de polimerización del Cloruro de Vinilo, debe tenerse en cuenta que en este proceso existe más de una fase. Esto es particularmente cierto cuando la polimerización se lleva a cabo por procesos de emulsión o suspensión (con los métodos más usados para la polimerización del Cloruro de Vinilo). En ambos métodos se presentan dos fases; fase orgánica discontinua y fase acuosa continua. Sin embargo, como progresa la polimerización, estas son fases de Cloruro de Vinilo y fase de PVC.

3.4.6 GENERALIDADES DE POLIMERIZACIÓN POR EMULSIÓN.

La teoría de polimerización por emulsión no ha sido totalmente comprendida en su totalidad, sin embargo, el concepto general ha sido desarrollado por Harkins''''.

En este proceso se involucran cuatro componentes; agua que es la fase continua, Cloruro de Vinilo que es la fase discontinua, iniciador soluble en agua y el agente emulsificante para estabilizar la emulsión formada cuando el sistema es agitado. Estos agentes emulsificantes de tipo anionicos y/o cationicos se comportan esencialmente como electrólitos a bajas concentraciones, cuando la concentración del emulsificante aumenta, la tensión superficial disminuye entre las fases y la conductividad de la mezcla aumenta. Eventualmente una concentración critica se presenta y arriba de esta concentración, la tensión superficial y la conductividad del mezcla cambian rápidamente. El emulsificante entonces previene una distribución uniforme para aglomerar las moléculas dentro de grupos llamados micelos, los cuales contienen de 20 a 30 moléculas.

El iniciador en la fase acuosa forma un radical libre que migra hacia los micelos, y reacciona con el Cloruro de Vinilo para iniciar la cadena del polímero.

La reacción de propagación ocurre con moléculas adicionales de Cloruro de Vinilo combinadas con el radical libre en crecimiento. Una partícula del polímero iniciador se forma y el emulsificante la colecta en la superficie. Entonces moléculas de Cloruro de Vinilo se difunden a través de la fase acuosa y a través del emulsificante creciendo la cadena.

Como progresa la polimerización, y como crece el tamaño de las partículas del polímero, más emulsificante se requiere en la superficie de la partícula. En algunos casos cuando se alcanza 12 a 20% de conversión durante la polimerización por emulsión los

micelos del emulsificante se dispersan y este se localiza en la superficie de las partículas.

El número de partículas del polímero y su tamaño parecen ser controlados en las etapas iniciales de la polimerización. Inicialmente es una competencia entre el crecimiento de las partículas y los micelos para cada molécula de Cloruro de Vinilo que es transferida. Si una cadena de polímero se forma de múltiples micelos esta será de muchas partículas, pero cada una será pequeña, porque la molécula de Cloruro de Vinilo lo estará limitando. En algunos casos el número de partículas del polímero permanecerán constantes después de la dispersión de micelos.

Una autoaceleración algunas veces se presenta en la polimerización por emulsión y aparentemente las fases del monómero y polímero coexisten conjuntamente.

La cantidad de emulsificante afecta la estabilidad de la emulsión; el número de micelos y también el número de partículas producidas del polímero y en algunos casos el porcentaje de polimerización. Los resultados de Peggion⁽¹¹⁾ difieren de los de Harkins⁽¹²⁾, en relación con las variables de operación. Peggion afirma que en las etapas iniciales de la polimerización algo de Cloruro de Vinilo es polimerizado mientras esta disuelto en el agua. Después los grupos polimerizados formados por el iniciador crecen en micelos para después desaparecer formando polímeros en solución. Peggion indica que los mecanismos para polimerización de Cloruro de Vinilo pueden ser totalmente diferentes a los de los monómeros poco solubles.

3.4.7 PROCESO DE POLIMERIZACIÓN POR EMULSIÓN.

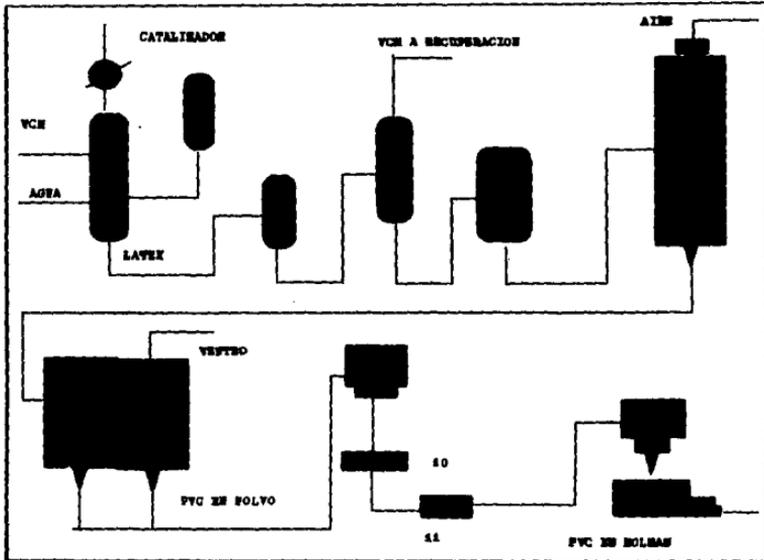
Descripción.- El proceso mostrado en la FIGURA 3.1 tienen gran versatilidad y una alta productividad, ya que con los mismos equipos, tres tipos diferentes de resina de emulsión pueden ser

producidos, usando diferentes técnicas: sembrada, no sembrada, y emulsión combinada para obtener una distribución mono o multi modal debido a las variaciones de las condiciones de operación y las técnicas usadas. El uso de condensadores de reflujo (1) con una efectiva construcción y técnica estabilizadora resulta en una productividad de 350 ton/año aproximadamente por metro cubico de volumen de reactor. La construcción apropiada, en particular hace posible cientos de batches consecutivos son solo un enjuague a baja presión entre cada batch.

Catalizadores, emulsificantes y otros aditivos son preparados en el tanque de mezcla (2). Se carga el reactor (3) con VCM y agua, la polimerización se lleva acabo en forma discontinua, bajo condiciones de temperatura controladas. Por una combinación de agitación y agentes emulsificantes, partículas sólidas de PVC se forman y emulsificadas en agua. El tamaño de partícula del producto es controlado por las condiciones de reacción y el tipo de emulsificante usado.

Continuando la polimerización, el latex es introducido a una básija buffer (4) y alimentada a un separador continuo de VCM (5) donde el VCM es removido y asentado para recuperación. El VCM residual en la resina es menor a 1 ppm. Después de la separación el latex es bombeado a un tanque principal de almacenamiento (6), y entonces pasa a un secador spray (7). El latex es secado con aire caliente para remover agua. La resina es separa en forma de polvo fino de el secador a través de un filtro.

El polvo pasa continuamente a un vagón (9) que alimenta una malla (10) para entrar a la sección de molienda (11) y el producto pasa a una máquina de empaque (12).



PROCESO DE POLIMERIZACIÓN POR EMULSION

FIGURA 3.1

3.4.8 GENERALIDADES DE POLIMERIZACIÓN POR SUSPENSIÓN.

Este es un método muy usado para la polimerización del Cloruro de Vinilo. El proceso implica; almacenamiento del monómero, diseño y operación del reactor batch, control de las variables de operación, sistema de recuperación del monómero y polímero así como técnicas de secado de el polímero.

ALMACENAMIENTO DEL MONÓMERO..- Cuando se almacena el Cloruro

de Vinilo se deben tener ciertas medidas de precaución para prevenir su contaminación. Los contaminantes interfieren con la polimerización y causan una baja calidad en el producto (PVC). Además el Cloruro de Vinilo puede formar una mezcla explosiva con el aire.

En el pasado el Cloruro de Vinilo se transportaba con pequeñas cantidades de inhibidor (fenol) para prevenir una polimerización. Este inhibidor se removía después por lavado con solución cáustica y con agua. Actualmente los inhibidores no son necesarios debido a la alta pureza del Cloruro de Vinilo.

El Cloruro de Vinilo se encuentra frecuentemente en estado húmedo a temperaturas de 60°F, ó menores para evitar reacciones de hidrólisis o formación de peróxidos. Por lo que los tanques de almacenamiento se mantiene a esta temperatura o menores usando sistemas de recompresión de vapor o enfriamiento externo.

Generalmente se usan tanques con basijas de cristal, así como tanques de Acero inoxidable del tipo 316, o bien tanque revestidos con Acero 304, aunque este último no es muy recomendado en algunas plantas debido a trazas de agua y Acido Clorhídrico (formado por hidrólisis) que provocan corrosión.

REACTORES BATCH Y DISPOSITIVOS AUXILIARES. - En general se recomienda el uso de reactores con basijas de cristal para evitar la construcción del polímero sobre la pared. Evitandose así la disminución de la transferencia de calor.

En cuanto a la limpieza, diversos batch pueden ser realizados antes de que el reactor necesite de esta. Existen dos técnicas de limpieza prevalecientes; en una el reactor es abierto y el polímero es raspado y astillado mecánicamente. En muchos reactores este método puede ser demasiado rudo y debe prepararse el reactor antes y después de la limpieza, para obtener las condiciones de operación y minimizar la presencia de Oxígeno en

corridas subsecuentes.

En la segunda técnica, el limpiado es realizado con agua a alta presión por medio de inyectores los cuales son instalados en el domo del reactor, y frecuentemente son utilizados solventes limpiadores.

La construcción del polímero en la pared del reactor no solo ocurre en la parte en contacto con el líquido, también se presenta en la porción en contacto con el vapor. Para evitar esto se puede provocar la salpicadura de líquido, pero solo es una solución parcial ya que la pared del polímero se formara en aquellas partes donde no toque el líquido. La fase gaseosa en el reactor contiene principalmente Cloruro de Vinilo, vapor y ocasionalmente Oxígeno. Posiblemente este Oxígeno es el responsable de la tersura del polímero. Algunas reacciones de hidrólisis pueden ocurrir también entre el Cloruro de Vinilo y el agua, produciendo Acido Clorhídrico que puede ser factor en la formación de la pared de polímero sobre el reactor.

Reactores de Acero Inoxidable son usualmente utilizados, pero en muchas ocasiones su uso no es satisfactorio, debido a que a pesar de su alto pulimiento, la superficie del metal es irregular y provee sitios en los cuales el polímero se incrusta, o bien promueve la polimerización por catálisis.

La extensión del agitador en el reactor estabiliza el porcentaje del tamaño de las gotas de Cloruro de Vinilo y la porosidad del producto final (PVC), así como la transferencia de calor. En el diseño del agitador se toman en cuenta el tamaño del impulsor, velocidad, número y tipo de baffles y el material de construcción.

TAMAÑO DEL REACTOR.- Los reactores con recubrimiento de cristal varían de 2000 a 6 000 gal. y son encaquetados para proveer una superficie de transferencia de calor. El tamaño del

reactor depende de :

- 1.- Temperatura del refrigerante utilizado en la chaqueta.
- 2.-Porcentaje máximo de polimerización durante la corrida.
- 3.-Temperatura de polimerización.
- 4.-Porcentaje de Agua-Cloruro de Vinilo.

INICIADORES DE POLIMERIZACIÓN.-El iniciador de polimerización es de una considerable importancia ya que influye en el porcentaje de polimerización. El iniciador más popular es el Peroxido Lauriol. Una carga típica es la siguiente:

Cloruro de Vinilo	100 parte por peso
Agua desionizada.....	200 partes por peso
Alcohol Polivinilico.....	0.1 partes por peso
Peróxido Lauriol.....	0.1 partes por peso

El Alcohol Polivinilico sirve para la protección del coloide que estabiliza las partículas del monómero en el sistema de dos fases. La cantidad de estabilizador afecta el tamaño de las gotas de monómero formadas y el tamaño de las partículas del polímero formado. Así mismo afecta el tipo de coalescencia parcial de las partículas, y por tanto la porosidad del PVC.

La relación entre conversión y tiempo para polimerización a 122 °F se muestra en la FIGURA 3.2 , cerca de 20 a 21 horas son el tiempo requerido para obtener el 95% de polimerización de Cloruro de Vinilo. El porcentaje de polimerización es de 8% de conversión después de 11 a 15 horas, cuando ocurre una autoaceleración. Un período de inducción de quizá 1 hora se obtiene a menudo con Peroxido Lauriol.

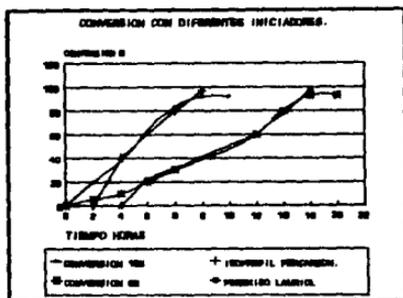


FIGURA 3.2

Azobisisobutironitrilo, y especialmente, Isopropil Percarbonatado (IPP) se han usado como iniciadores. El IPP presenta importantes ventajas sobre el Peróxido Lauriol;

- 1.- El tiempo para una corrida Batch se reduce de 10 a 11 horas, con 0.03 a 0.05% peso de IPP.
- 2.- Presenta un período de inducción menor o bien no existe.
- 3.- Menos fragmentos del iniciador son incorporados en el polímero.
- 4.- Presenta un menor costo.
- 5.- La formación de largas cadenas ramificadas son disminuidas.

El IPP tiene un tiempo de vida media de 2 horas a 50 °C comparado con las 50 horas para el Peróxido Lauriol. Cuando el Peróxido Lauriol es usado algunos fragmentos se incrustan en el PVC y contribuyen a una inestabilidad del polímero. El IPP provee una alta concentración de radicales libres y por

consecuencia pequeñas cantidades de remanentes no reaccionantes en el producto.

El porcentaje más alto de polimerización es 16% (FIGURA 3.3). Entonces la reacción exotérmica se realiza más rápidamente. Suponiendo un control de temperatura apropiado, una altos porcentajes de producción para un reactor dado serían obtenidos usando IPP. en sustitución de Peróxido Lauriol.

Si IPP fuese utilizado a altas concentraciones 0.05 partes/100 partes de Cloruro de Vinilo, se obtendría una polimerización casi completa en un tiempo de reacción cercano a 5 horas. Dicho tiempo de reacción fue usado en algunos reactores pequeños pero la extensión de polimerización en sus corridas fue relativamente baja debido a la obtención de una alta porosidad y baja densidad de la resina. Una densidad de 0.3 g/cc se obtiene a conversiones aproximadas de 50%. Esta técnica es efectiva para obtener, dicha resina, pero es relativamente cara debido a su baja capacidad de producción.

PORCENTAJE DE AGUA EN LA SUSPENSIÓN.- La cantidad de agua usada en la polimerización por suspensión varía de 2:1 a 4:1. basado en los siguientes factores:

- 1.- Control de temperatura. Con el incremento de las cantidades de agua, altos porcentajes de conversión pueden ser obtenidos con un control adecuado de temperatura.
- 2.- Cantidad de polímero formado por batch. A menores porcentajes, más monómero puede adicionarse para cada batch.
- 3.- Suficiente agua para mantener un flujo libre en las dos fases del sistema. El tamaño de las gotas del monómero (y también el tamaño de las partículas del polímero) pueden ser afectadas por el porcentaje de agua-hidrocarburo.

El agua mantiene un buen control de temperatura y provee un substrato, el cual controla los agentes suspendidos en la superficie de las partículas del polímero.

Las propiedades físicas de las resinas resultantes tales como tamaño y porosidad, dependen de una relación compleja del tipo y cantidad de agentes suspendidos, presentes o ausentes de sales, agitación, temperatura y porcentaje de agua-monomero. Smith⁽¹⁾ ha presentado tres recetas básicas para la obtención de una resina con una buena calidad, de las cuales todas utilizan Peróxido Lauriol como iniciador pero diferentes agentes suspensivos. Los tres agentes son: Alcohol Polivinílico, Gelatina (tipo B) y Metil Celulosa. La densidad, tamaño de partícula y tiempo requerido para el secado de los tres polímeros varía significativamente.

La porosidad de las partículas de PVC puede ser mejorada por adición de pequeñas cantidades de emulsificante secundario, como aceites sulfonados o ácidos, productos de condensación de óxido de Etileno, y otros surfactantes usados para la mezcla de reacción. Los emulsificantes secundarios actúan para formar partículas porosas que proporcionan el grado deseado de coalescencia parcial de las partículas dispersas. Soluciones amortiguantes (Buffer) pueden ser adicionadas a sistemas gelatinosos, para mantener las propiedades isoelectricas y por tanto la eficiencia del coloida.

La activación de una corrida batch varia entre compañías. Algunas adicionan la carga (Cloruro de Vinilo, agua, ionizador, agente surfactante, etc.) a el reactor a una temperatura esencial. La agitación es entonces iniciada y el vapor es adicionado en la chaqueta para calentar la mezcla a la

temperatura de reacción usualmente en el rango de 45 a 55 °C. Cuando la polimerización comienza el agua de enfriamiento o solución de salmuera sustituye a el vapor.

CONVERSIÓN AFECTADA POR TEMPERATURA Y PRESIÓN.-La temperatura es controlada con exactitud durante la mayor parte de la corrida. Frecuentemente se utiliza un controlador de cascada para medir la temperatura interna del reactor así como la de la chaqueta. En algunos casos, la temperatura puede elevarse ligeramente durante la etapa final. Dicha técnica produce un PVC de bajo peso molecular con una baja viscosidad del derretido.

Incrementar la temperatura incrementa el porcentaje de polimerización. La máxima temperatura es cercana a 55°C ya que a temperaturas mayores el peso molecular se ve seriamente reducido. El polímero producido a 55°C tiene un bajo costo de polimerización debido a la rapidez, la cual permite el incremento de la capacidad en el reactor.

Cuando PVC de bajo peso molecular es deseado, agentes de transferencia de cadena tales como Isobutileno e hidrocarburos clorados, pueden ser adicionados si la polimerización es a 55°C pero no se produce una gran cantidad. La FIGURA 3.3 muestra la relación entre presión total y conversión para una corrida a 55°C.

La presión al principio de la corrida se incrementa conforme la temperatura de la reacción aumenta a 55°C. La presión total (suma de la presión de vapor del agua y de Cloruro de Vinilo) permanece a 115 psig. para una conversión cercana a 80% de Cloruro de Vinilo. La presión disminuye rápidamente con el aumento de conversión.

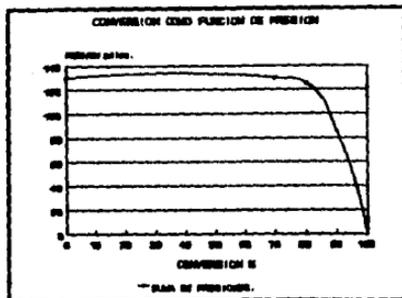


FIGURA 3.3

Basados en la FIGURA 3.3 se puede observar que :

a.- Hasta una conversión de 70%, las fases de Cloruro de Vinilo y PVC se presentan en gotas suspendidas. Por arriba de esta conversión la fase del Cloruro de Vinilo disminuye y el Cloruro de Vinilo remanente es adsorbido esencialmente por la fase de PVC.

b.- Cuando la presión cae, el Cloruro de Vinilo en la fase gaseosa se condensa y entra en la suspensión líquida.

Más arriba de 90 a 95% de conversión la polimerización es lenta, y la degradación del producto ocurre si la mezcla de reacción se mantiene a las condiciones de reacción. El volumen de la fase orgánica se contrae por arriba de 35% porque la densidad del polímero es mayor que la del monómero. Es sugerido entonces, la adición de agua para compensar los cambios de volumen durante la reacción. Este método es necesario para disminuir la cantidad requerida de agente en suspensión y la formación mínima de película de polímero en la pared del reactor.

Otras compañías usan técnicas de carga calientes para iniciar la polimerización. En estos tipos de técnicas se lleva a cabo la

adición de el monómero frío y posteriormente se introduce agua precalentada con cantidades necesarias de estabilizador. La agitación comienza y el iniciador (posiblemente en solución) es adicionado por una bomba de carga localizada en el domo del reactor. En esta técnica la mezcla de reacción está a una temperatura lo suficientemente alta para que el precalentamiento de la mezcla adicional no sea necesaria. El inicio de la polimerización y ajuste de temperatura es llevado a cabo por control del flujo de refrigerante.

Otra técnica consiste en; adicionar agua caliente en el reactor, seguido por Cloruro de Vinilo relativamente frío conteniendo iniciador disuelto. La temperatura de la mezcla es suficientemente alta para iniciar la polimerización, pero el polímero resultante es de una pobre calidad.

El análisis de la técnica indica que la primera porción del Cloruro de Vinilo que entra en el reactor será vaporizado, pero posiblemente solo una parte del iniciador lo será. Entonces, durante la etapa inicial de la corrida, algunas de las gotas de Cloruro de Vinilo que son formadas pueden tener altas concentraciones del iniciador, lo cual produce una baja calidad y un bajo peso molecular.

Otra técnica puede ser usada para incrementar la calidad del PVC formado en este tipo de carga "caliente": Cloruro de Vinilo puro puede ser adicionado a el reactor, hasta la presión deseada, como lo muestra la FIGURA 3.3, entonces y sólo entonces, el Cloruro de Vinilo conteniendo el iniciador se adiciona. Esta técnica puede posiblemente minimizar el gradiente de concentraciones en las gotas de la fase orgánica.

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CLORURO DE VINILO.—Después de que la reacción es completada, la suspensión se descarga en tanques, donde el monómero es separado del agua y del polímero. Cerca del

10% del monómero es solvatado en las partículas del polímero. El remanente se encuentra disperso en la fase acuosa o en la fase vapor. La presión final en el reactor es de 30 a 50 psig, la separación del monómero es difícil ya que la difusión del monómero es dependiente del tiempo y la temperatura.

Cuando la suspensión está en el tanque de separación un proceso de agotamiento y rectificación es usado. El porcentaje a el cual el monómero y el agua son removidos, depende de la capacidad de la bomba de vacío y de la temperatura en el tanque. Se suministra calor, de otra manera la vaporización del monómero puede enfriar el sistema. Vapor es inyectado directamente dentro de la suspensión, pero debe tenerse cuidado para prevenir la degradación del producto. El vapor debe ser inyectado rápidamente tal que la mezcla ocurra y no se sobrecaliente el polímero por contacto en la superficie de transferencia de calor.

El tiempo total para un Batch en el tanque de separación es de cerca de 2 horas para vaciar una carga del reactor dentro del tanque de separación, 1 hora para agotar el monómero y 0.5 horas para descargar el tanque de separación. Esencialmente todo el monómero es recuperado durante este tiempo. Los tanques de separación son agitados lo suficiente para prevenir la separación de fases en la suspensión. Estos tanques son aproximadamente 30% más largos que el reactor porque se crea espuma cuando el monómero es removido. Una pequeña polimerización puede ocurrir en estos tanques pero el uso de tanques con basijas de Acero inoxidable son generalmente satisfactorios.

Un tanque de separación es suficiente para diversos reactores, porque las corridas de polimerización pueden ser programadas para que el tanque este listo para cada batch. El resto del sistema de recuperación incluye compresores y condensadores, los cuales son de operación continua. Un número dado de compresores son operados en paralelo comprimiendo Cloruro

de Vinilo y agua a alta presión 80 a 90 psig. de modo tal que la condensación se pueda dar con agua de enfriamiento. Agua y Cloruro de Vinilo son inmiscibles y el agua es descargada, entonces la cantidad de Cloruro de Vinilo recuperada es relativamente pequeña y compresores de desplazamiento positivo son probablemente utilizados. El Cloruro de Vinilo crudo es bombeado a un tanque de almacenamiento. Además la purificación del cloruro de vinilo se lleva a cabo por destilación.

RECUPERACIÓN DEL POLÍMERO.—La lechada del tanque de separación es bombeada a un tanque de mezcla donde se realiza una agitación para prevenir la separación de las partículas del polímero. en suma la lechada es continuamente recirculada a través de la bomba de salida y una línea para prevenir el bloqueo.

La lechada del tanque de agitación es bombeada a una centrifuga para la separación de la lechada en sólidos húmedos conteniendo de 75 a 77% de PVC con un remanente de agua. La lechada entra a través de la tubería horizontal colocada en forma axial a la centrifuga de forma cónica y con un mecanismo rotatorio de velocidad variable. Entonces los sólidos son transportados a la parte estrecha y ahí son descargados. El líquido se descarga por la parte ancha.

El sólido húmedo en la centrifuga puede ser lavado con agua desionizada si se desea. Este lavado es particularmente aplicable cuando se producen resinas de grado eléctrico, para reducir impurezas en el polímero. Una variedad de técnicas son utilizadas, pero aparentemente el agua de lavado es introducida cerca del punto de descarga de los sólidos. Esta agua se combina con el agua original de la lechada.

La cantidad y temperatura del agua de lavado afectan la remoción de los iones solubles.

Algunas veces se separan la suspensión por filtración o centrifugación.

SECADO DEL POLÍMERO.-El secado del polímero es una fase crítica del proceso ya que cercano a 65°C (150°F) y por arriba de esta temperatura, la degradación del polímero puede ocurrir. Es por esto que se utiliza un secador rotatorio tubular.

Generalmente se utilizan dos centrifugas y un secador para cada tanque de mezcla, cada secador es construido en acero inoxidable con aproximadamente 10 pies de diámetro y 30 pies de longitud.

El proceso consiste en la introducción de aire limpio y caliente junto con los sólidos al final de el secador fluyendo a través de este.

Existen otras técnicas de secado, como las usadas por la Fireston Plastics Co., la cual selecciona el método de secado en base a el tamaño promedio de la partícula de PVC como se muestra a continuación.

TABLA 3.3
MÉTODOS DE SECADO

MÉTODO DE SECADO	TAMAÑO DE PARTÍCULA MALLA
SECADO POR VAPORIZACIÓN	< 325
FLASH-ROTATORIO	200
ROTATORIO	140
FLASH-DOS FASES	100

La Fireston Plastic Co., usa una centrifuga para desaguar el lechado en productos que son secados por los últimos tres métodos. En el método de flash-rotatorio, sólidos húmedos son transportados con aire a 300°F en un ducto de 30 pulgadas, la resina es secada en un 8 a 10 X de agua. El polímero es entonces

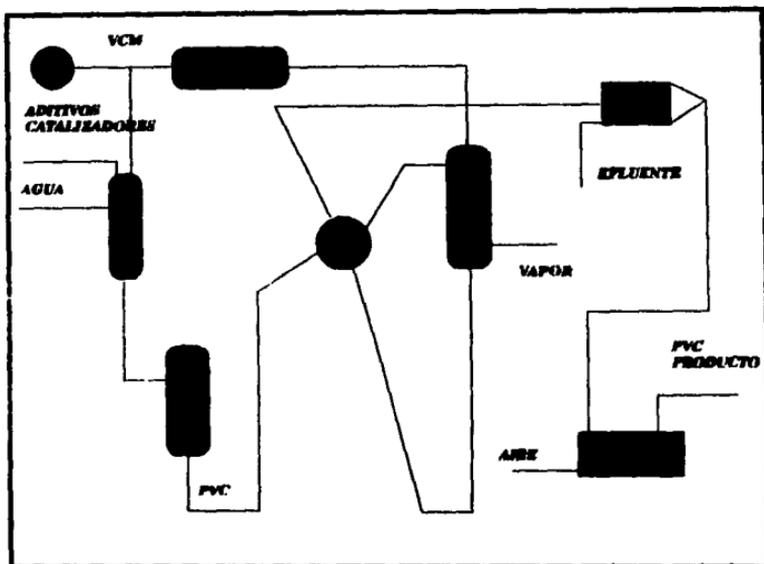
separado del aire en un ciclón y pasa a un secador rotatorio.

3.4.9 PROCESO DE POLIMERIZACIÓN POR SUSPENSIÓN.

El proceso es mostrado en la FIGURA 3.4

Descripción.- PVC es producido por polimerización batch de VCM disperso en agua. Se produce una reacción exotérmica llevada a cabo en un reactor de tanque agitado. El tamaño del reactor se encuentra en el rango de 20 a 105 m³, sin embargo, este depende de la capacidad requerida en la planta. El control del proceso puede variar de una operación manual a una supervisión completa por computadora.

El reactor (1) es cargado con agua, aditivos y VCM. La reacción es controlada a una temperatura entre 53°C y 70°C para obtener un polímero de un peso molecular particular. La reacción permite una conversión de 85 a 94%. El calor de reacción es removido por agua de enfriamiento en el enchaquetado. Cerca de el final de la reacción, el PVC y agua en forma de lechada pasa a un tanque, entrando por el fondo (2) de la cual parte el monómero que no reacciona -separado por un flash- a el tanque de recuperación (4). El VCM remanente en la resina es removido por un agotamiento continuo en la columna (3) con vapor. El diseño apropiado de la columna permite un bajo requerimiento de vapor, minimizando la degradación de los productos y eliminando los requerimientos de limpieza periódicos. Después de agotada la lechada es centrifugada (5) y secada (6). El VCM residual en la resina es menor a 1 ppm.



PROCESO DE PRODUCCION DE PVC POR SUSPENSION

FIGURA 3.4

3.4.10 GENERALIDADES DE POLIMERIZACIÓN POR MASA.

En este método el monómero es polimerizado sin la presencia de agua o diluyentes, presentando una alta pureza el producto, ya que no se emplean agentes de suspensión ni emulsificantes además la ausencia de agua y solventes simplifican el mezclado.

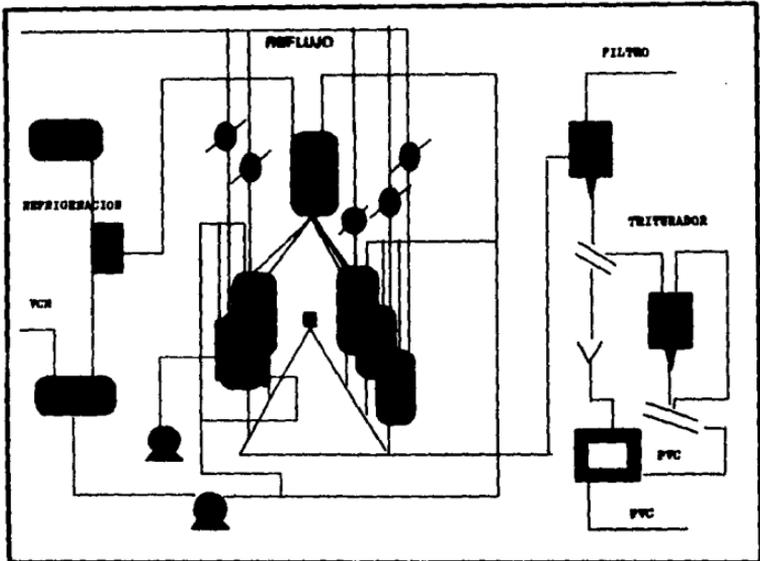
La polimerización en masa a escala industrial se realiza en

dos etapas, la primera se polimeriza hasta una conversión del 10%. la segunda tiene lugar en segundo reactor, polimerizandose hasta la conversión deseada. Al final la clasificación es por tamizado. El grano es análogo al obtenido con el proceso de suspensión(una esfera maciza), en este proceso se obtienen resinas con alto valor de absorción de plastificantes.

Descripción del proceso.- VCM es recibido en un tanque (2) de el cual es bombeado a través de un filtro para prepolimerización, la cual se lleva a cabo en una autoclave vertical. Durante la primera etapa, la polimerización es en forma líquida con VCM y iniciador. El prepolimerizador es equipado con un agitador turbulento. La presión de operación y condiciones de agitación dictan la distribución del tamaño de partícula. Se obtiene en esta etapa, una conversión de 10-12 % de monómero.

El agua madre resultante es transferida a un pospolimerizador vertical. Esta autoclave esta equipada con un sistema de agitación doble (1) así mismo tiene un sistema de tallado en el fondo. Los agitadores corren a diferentes velocidades.

Esta segunda etapa es una fase de crecimiento de las semillas. A el final de la polimerización se a convertido cerca de 80-85 % de VCM. El monómero residual es comprimido, condensado y reciclado a el tanque (2) sin destilación. El polímero es descargado neumáticamente a la clasificación y sección de almacenamiento.



PROCESO DE PRODUCCION DE PVC POR MASA

FIGURA 3.5

3.4.11 COPOLINERIZACIÓN.

Dentro de la producción de resinas, existen procesos para modificar las propiedades de las mismas. La copolimerización es uno de ellos. Los copolímeros tienen principalmente una mejor procesabilidad que los homopolímeros de PVC.

Los copolímeros son fabricados por emulsión y suspensión siendo el último proceso el más usado. La polimerización en masa no se usa para la fabricación de copolímeros salvo en algunas ocasiones que se usan cantidades muy pequeñas de comonómero.

Los distintos monómeros reaccionan a diferentes velocidades, por lo que la composición del polímero formado en un instante difiere de la composición de la fase monomérica. Si se usa un comonómero que tenga una velocidad de polimerización mayor a la del Cloruro de Vinilo, se obtendrá un polímero rico en el comonómero durante la 1ª etapa de la reacción y el formado en la última tenderá a ser prácticamente PVC puro, conteniendo solamente una pequeña cantidad de comonómero.

Algunos de los monómeros que reaccionan de esta forma son Cloruro de Vinilideno, Esteres Maleicos y Esteres Acrílicos. Un copolímero de composición uniforme puede ser obtenido solamente dosificando el comonómero dentro de la polimerización a la misma velocidad a la que se está consumiendo por la reacción.

3.5 PRINCIPALES PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL PVC.

Las características de comportamiento general de los compuestos del PVC incluyen resistencia mecánica, resistencia al interperismo, resistencia a el agua y a muchos reactivos (incluyendo ácidos minerales fuertes), propiedades aceptables de resistencia eléctrica y un pronunciado carácter termoplástico, por ejemplo los artículos manufacturados tienden a suavizarse en condiciones calientes e incrementar su dureza en medios fríos. Los plásticos de PVC que contienen poco o nada de plastificante, tienden a ser sensitivos a el impacto a bajas temperaturas. Todas estas propiedades dependen de la formulación y de su proceso.

Las características de comportamiento y procesamiento de las resinas de PVC pueden variar con: el peso molecular, tamaño de partícula y las características de la superficie de la partícula. Para el PVC como resina se tienen las siguientes propiedades:

3.5.1 ESTRUCTURA

La estructura de las partículas del PVC varía según su proceso: suspensión, emulsión, masa y solución.

Suspensión.- Cada partícula con un diámetro de unos 100 micrones en promedio, que se obtiene después de la polimerización, se compone de una gran cantidad de subgranos, rodeados de una película pericelular. Los subgranos cuyo diámetro en promedio es de 40 micrones están formados por aglomerados de partículas primarias cuyo tamaño es del orden de 0.2 a 0.5 micrones.

Emulsión y masa.- También se encuentran estructuras análogas, pero en ellas falta la cutícula típica del PVC de suspensión. Su tamaño es de 0.2 a 5 micrones.

En la TABLA 3.4 se muestran los diferentes tamaños de partícula en la resina de PVC.

TABLA 3.4
TAMANOS DE PARTICULA DEL PVC

PROCESO	TAMAÑO DE PARTÍCULA
SUSPENSIÓN	* 100-200 MICRONES
MASA	* 100-200 MICRONES
EMULSIÓN	** 0.2-5 MICRONES
SOLUCIÓN	0.2-5 MICRONES

* TIPO DE EMULSIÓN ESPECIAL DE 20 A 70 MICRONES.

** ALGUNOS TIPOS CONTIENEN AGLOMERADOS DE HASTA 60 MICRONES.

3.5.2 POROSIDAD DE LA PARTÍCULA.

La porosidad es característica de cada tipo de resina, a mayor porosidad, mayor facilidad de absorción de plastificantes.

3.5.3 PESO MOLECULAR.

El peso molecular promedio se mide indirectamente determinando la viscosidad específica en soluciones de 0.4% de

Nitrobenceno o la viscosidad inherente en soluciones de 0.5% de Ciclohexanona. En el primer caso se obtienen valores de 0.30 a 0.71 g/100 ml y en el segundo de 0.650 a 1.348 g/100ml. Conforme disminuye el peso molecular, las temperaturas de procesamiento de las resinas serán más bajas y más fácilmente procesables; las propiedades físicas en el producto terminado, tales como tensión y resistencia a el rasgado serán más pobres; el brillo y la capacidad de aceptar más carga será mejor y la fragilidad a bajas temperaturas será mayor.

3.5.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA.

El valor típico para el PVC tipo homopolímero es de 1.4g/cc. Los compuestos modifican su gravedad específica al agregar cargas o plastificantes. El plastificante reduce el peso específico del compuesto. Por cada 10 partes de DOP se reduce en aproximadamente 0.02 g/cc, mientras que la carga lo aumenta en función del tipo de que se trate.

3.5.5 ESTABILIDAD TÉRMICA.

A mayor peso molecular se tiene mayor estabilidad térmica, durante su procesamiento, la resina se degrada al recibir calor y trabajo. La degradación se presenta en forma de empobrecimiento de las propiedades mecánicas y un color amarillento del producto. Es para evitar esto que se adicionan los estabilizadores.

3.5.6 PROPIEDADES REOLÓGICAS.

A) Resina de emulsión pasta.

Como resultado de la formulación de la resina de pasta se obtiene el plastisol, el cual se puede definir como la suspensión de un sólido en un líquido que no disuelve este sólido a

temperatura ambiente, pero forma una masa homogénea a temperaturas elevadas. Las principales propiedades del plastisol son:

La viscosidad, la dilatancia y el esfuerzo mínimo de deformación (esfuerzo cortante).

La viscosidad, en las resinas de pasta es una de las características básicas, pues mediante la adecuada viscosidad se controlan los espesores y velocidades de aplicación así como las características del producto terminado. Las características del flujo observadas son no-newtonianas.

Esfuerzo mínimo de deformación (Yield-Value) que es la fuerza inicial mínima para comenzar el movimiento de un plastisol. Este esfuerzo debe controlarse para cada tipo de formulación.

Dilatancia.- es cuando la viscosidad aparente del plastisol se incrementa al aumentar la fuerza cortante; a menor cantidad de plastificante mayor dilatancia.

También es importante considerar que al aplicar calor a una dispersión de PVC en plastificante (plastisol), su viscosidad se eleva gradualmente y el material se transforma en sólido después de el enfriamiento, existiendo una temperatura óptima de fusión (175°C) a la cual se logran las propiedades óptimas de elongación y tensión.

B) Resinas de homopolímeros suspensión y masa.

Como resultado de la formulación de resinas de suspensión y masa, se obtienen compuestos en forma de polvo seco, que cuando se procesan gradualmente se transforman en un líquido viscosos de características no-newtonianas.

Aquí también existe una temperatura óptima (160-180°C) a la cual la masa fundida tiene las propiedades de flujo más adecuadas para realizar la operación de transformación.

3.5.7 PROPIEDADES QUÍMICAS.

El PVC es soluble en Ciclohexanona y Tetrahidrofuran. Con los copolímeros de Acetato de Vinilo y Cloruro de Vinilideno, se reduce la temperatura de fusión. Puede postclorarse, elevando su temperatura de distorsión. El PVC resiste a líquidos corrosivos, soluciones básicas y ácidas, soluciones salinas y otros disolventes químicos; tiene buena estabilidad dimensional, es termoplástico y termosellable.

Solo arde en presencia de fuego; de otra forma, no sostiene la flama y tiene además buen resistencia a los efectos del medio ambiente, principalmente a el ozono.

3.5.8 PROPIEDADES ELÉCTRICAS.

El PVC tiene gran poder de aislamiento eléctrico. Esta propiedad se puede modificar con el uso de cargas, estabilizadores y agentes antiestáticos.

Las resinas de emulsión y solución tienen pobres propiedades dieléctricas, debido a la presencia de diversos aditivos usados durante la polimerización.

3.5.9 PROPIEDADES DEL PVC EN COMPUESTOS.

Las propiedades varían cuando el PVC es combinado con aditivos para formar lo que se conoce como compuestos de PVC y a grandes rasgos son las siguientes:

TABLA 3.5
PROPIEDADES BÁSICAS.

PROPIEDAD	RÍGIDO	FLEXIBLE
DENSIDAD (g/cc)	1.35-1.45	1.15-1.35
CALOR ESPECÍFICO cal/°C/g	0.24	
COEF. DE EXPANSIÓN TÉRMICA (/°C)	6×10^{-3}	
TEMPERATURA DE DISTORSIÓN POR CALOR (°C)	55-75	
ABSORCIÓN DE AGUA (24hrs/1/2in)(%)	0.08-0.4	02.-.08
RESISTENCIA A LA TENSIÓN (Kg/cm ²)	400-650	100-250
ELONGACIÓN (X)	10-100	200-450
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD (Kg-cm/cm 2NOTCH)	5-12	

3.6 FORMULACIÓN DEL COMPUESTO DE PVC.

Como ya se ha mencionado anteriormente, para la formulación de un producto, es necesario establecer las características o propiedades del producto o del compuesto deseado y posteriormente proceder a delinear la formula que servirá como punto de partida para someterla a ajustes posteriores hasta alcanzar los resultados deseados. Para lo que se requiere un conocimiento sobre la resina, aditivos, maquinaria o procesos.

Como se has mencionado en este capitulo para llevar a cabo la fabricación de productos es necesario el uso de : resinas de PVC, plastificantes, estabilizadores, lubricantes, cargas, pigmentos, modificadores de flujo, modificadores de impacto, estabilizadores, retardadores de flama y antiestáticos. Con la combinación adecuada de estos ingredientes se pueden obtener productos con propiedades especificas, Las propiedades más importantes son:

- GRAVEDAD ESPECIFICA.
- DUREZA
- ESFUERZO A LA TENSION
- PORCENTAJE DE ELONGACION
- MODULO AL 100%
- FLEXIBILIDAD A BAJA TEMPERATURA
- ESTABILIDAD A EL CALOR
- ESTABILIDAD A LA LUZ
- ENVEJECIMIENTO CON EL CALOR
- RESISTENCIA A LA MIGRACION
- RESISTENCIA A EL RASGADO
- RESISTENCIA A LA COMPRESION
- PROPIEDADES ELECTRICAS
- RESISTENCIA A EL IMPACTO
- DISTORSION A EL CALOR
- TOXICIDAD
- RESISTENCIA A LA HUMEDAD
- RESISTENCIA A ACEITES, GRASAS Y GASOLINA
- RESISTENCIA A LA ABRASION
- RESISTENCIA A AGENTES QUIMICOS
- RESISTENCIA A LA FLAMA
- APARIENCIA
- PROCESABILIDAD

Partiendo de el establecimiento de las propiedades o características requeridas para el producto, se procede a desarrollar la formulación en base a los criterios siguientes:

Un compuesto de PVC es preparado por la incorporación de dos tipos de aditivos: básicos y complementarios.

Los aditivos básicos son aquellos estrictamente indispensables para tener un compuesto, aunque no necesariamente cumple con ciertos requisitos, dichos aditivos son: Estabilizador o estabilizante al calor y Lubrificantes.

Como aditivos complementarios se consideran todos aquellos que se incorporan en un compuesto, para conferir determinadas características o propiedades y son entré otros: modificadores de impacto, cargas, estabilizadores de luz UV, retardadores de flama, modificadores de flujo, pigmentos, antioxidantes, antiestáticos y plastificantes.

Por lo anterior se parte de la resina que se utilizara para

el compuesto. Surge entonces la pregunta

¿Que tipo de resina es la más adecuada para cada uso? Fundamentalmente se disponen de cuatro tipos de resina clasificados desde el punto de vista del proceso de obtención: suspensión, emulsión, masa y solución.

Se sabe que se emplean normalmente como sigue: Las resinas de suspensión y masa se emplean en compuestos, las resinas de emulsión están destinadas a la elaboración de plásticos y las resinas de solución se utilizan para recubrimientos especiales.

Por otro lado las resinas de PVC se clasifican en términos generales en resinas de peso molecular alto (PMA), medio (PMM) y bajo (PMB). Los tres grupos se pueden utilizar para fabricar productos por medio de extrusión, inyección, etc. pero dependiendo del producto o de su presentación, se puede elegir la más idónea para cada caso particular. Las resinas PMA se destinaron generalmente a productos flexibles como: perfiles, mangueras, zapatos, recubrimientos de conductores eléctricos, etc. Las resinas de PMM se utilizan principalmente en la manufactura de tubería y perfiles rígidos y las resinas de PMB encuentran uso en productos como botellas, película, perfiles rígidos, conexiones, etc.

AL INCREMENTAR EL PESO MOLECULAR:

	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS	TENSIÓN ELONGACIÓN COMPRESIÓN IMPACTO
- AUMENTAN	RESISTENCIA QUÍMICA A SOLVENTES, ALCALIS Y ÁCIDOS ESTABILIDAD TÉRMICA PUNTO DE FUSIÓN RESISTENCIA A EL ENVEJECIMIENTO	
- DISMINUYEN	PROCESABILIDAD	

CAPITULO III

Habiendo escogido las resinas adecuadas para cada caso, solo resta fijar la cantidad a usar. En formulaciones de compuestos de PVC, es usual referir la cantidad a aditivos en función de 100 partes de resina (ppcr) por facilidad de manejo de cantidades principalmente.

Continuando con los aditivos básicos se encuentran los estabilizadores, los cuales tienen la finalidad de neutralizar y reaccionar con el ácido Clorhídrico que se genera por degradación de la resina, previniendo la decoloración del compuesto durante el proceso de transformación, el cual se identifica y observa como un cambio de color, desde amarillo hasta negro, pasando por tonalidades canela, café y café rojizo. Así la estabilización de polímeros que contienen hidrógeno y halógenos, particularmente PVC requiere de la síntesis y uso de componentes que disminuyan los efectos de degradación por rayos ultravioleta y oxidación.

Las formulaciones de PVC plastificado para extrusión, calandreo, moldeado y aplicaciones para plastisoles usan estabilizadores para prevenir formación de color y proteger las propiedades mecánicas del producto final.

Así mismo el PVC no plastificado requiere de estabilizadores para minimizar la formación de color y evitar degradaciones en el proceso de moldeado.

Los estabilizadores para PVC tienen la habilidad de ejecutar o llevar a cabo una o más de las siguientes reacciones:

- 1.- Interrumpen las reacciones de radical libres previniendo las reacciones autocatalíticas.
- 2.- Reacciona con trazas de HCl previniendo la descomposición por reacciones que involucren este ácido.
- 3.- Reacción con átomos de carbono para eliminar sistemas conjugados de doble enlace.
- 4.- Forman complejos con iones metálicos previniendo degradación por catálisis térmica.
- 5.- Forman complejos con sales insolubles de Bario o Cadmio para

prever estabilización sinérgica.

6.- absorben radiación UV.

Por lo general sales metálicas de ácidos orgánicos, Fenolatos y componentes organo-metálicos con enlaces de Carbono, Esteres de ácido Fosfórico son usados cuando se requiere una máxima estabilización en formulaciones de Vinilo.

Los grupos de estabilizadores más usados son mostrados a continuación:

TABLA 3.6
ESTABILIZADORES MAS COMUNES.

ESTABILIZADORES DE CALOR	PROPIEDADES	CANTIDAD PPCR
SALES COMPLEJAS DE BARIO/CADMIO; BARIO/CADMIO/ZINC	BUENA TRANSPARENCIA, BUENA ESTABILIDAD AL CALOR. NO TIENE APROBACIÓN PARA USO ALIMENTICIO	2 A 3
SALES ORGANO METÁLICAS DE ESTANO	EXCELENTE TRANSPARENCIA Y ESTABILIDAD A EL CALOR. DISPONIBILIDAD DE CIERTOS TIPOS CON APROBACIÓN PARA USO DE GRADO ALIMENTICIO.	0.5 A 2.0
SALES INORGÁNICAS DE PLOMO	MUY BUENOS ESTABILIZADORES AL CALOR. DAN OPACIDAD AL COMPUESTO. SUJETOS A LEGISLACIONES PARA USARSE EN TUBERÍAS CONDUCTORAS DE AGUA POTABLE	1.5 A 5.0
SALES DE CADMIO Y ZINC	DEFICIENTE ESTABILIDAD A EL CALOR Y TRANSPARENCIA. TIENE APROBACIÓN PARA EL USO EN GRADO ALIMENTICIO	2.0 A 4.0

Una vez establecido el estabilizador se procede a la elección del lubricante. Este en muchas ocasiones no recibe la atención

que merece debido a que su uso representa una pequeña cantidad en comparación con otros aditivos. Sin embargo, la elección correcta de la resina y del tipo y nivel de lubricación son determinantes para la productividad del compuesto, así como para la calidad del producto terminado.

El nivel de lubricación debe ser determinado cuidadosamente ya que un exceso puede provocar fragilidad en el producto, disminución de las propiedades mecánicas y exudación. Por el contrario un nivel bajo de lubricación, puede producir un incremento de la viscosidad del material fundido y consecuentemente, un problema de degradación o bien facilitar que el compuesto se adhiera a superficies metálicas con lo cual también se degradaría. entre los lubricantes internos se cuenta con los siguientes:

-ESTEREAOS, COMO ESTEREAO DE CALCIO, PLOMO,
ZINC, ETC.
-ESTERES DE GLICERINA
-ESTERES DE ACIDOS GRASOS
-AMIDAS DE ACIDOS GRASOS
-ACIDOS GRASOS

Como lubricantes externos se mencionan los siguientes:

-CERAS PARAFINICAS
-CERAS DE PETROLEO
-CERAS POLIETILENICAS
-MEZCLAS DE CERAS

Existen mezclas o combinaciones de ceras cuya particularidad es actuar simultáneamente como lubricantes interno-externo, con las cuales se puede lograr sistemas balanceados de lubricación.

Pasando al los aditivos complementarios más comunes en un compuesto, se tienen:

Plastificantes.-Se utilizan en compuestos flexible y son generalmente líquidos, en algunos casos son sólidos y se combinan

con la resina de PVC para cambiar o alterar las propiedades físicas así como las características de procesamiento, dependiendo de la cantidad y tipo de plastificante adicionado.

Los plastificantes se dividen en primarios y secundarios de acuerdo a su compatibilidad con la resina

Las cantidades a usar pueden ser de 15 a 25 ppcr para semirígidos y de 25 a 100 ppcr para flexibles. Los más comunes se presentan a continuación:

TABLA 3.7

PLASTIFICANTES MAS COMUNES PARA PVC

PLASTIFICANTES	PROPIEDADES DEL COMPUESTO
DOP	BUENA PLASTIFICACIÓN USO GENERAL.
TRIMELITATOS, FTALATOS, COMO DIDP, DTD	BUENAS PROPIEDADES ELÉCTRICAS.
ACEITES EPOXIDADOS.	ESTABILIDAD A LA LUZ Y AL CALOR.
FOSFATOS (TOP), PARAFINAS CLORADAS	RETARDANCIA A LA FLAMA.
ADIPATOS, SEBACATOS, AZELATOS.	FLEXIBILIDAD A BAJA TEMPERATURA
POLIMERICOS, TRIMELITATOS, DTD, DIDP.	BAJA VOLATILIDAD.
POLIMERICOS TRIMELITATOS	BAJA MIGRACIÓN, NO EMPANANTES.

Continuando con los aditivos complementarios, se encuentran las cargas, las cuales se adicionan principalmente para disminuir el costo de una formulación, aunque también se recomiendan para conferir otras características como opacida, propiedades eléctricas, resistencia a la pegajosidad "bloking", resistencia a la luz UV, aumentar dureza, control de brillo, etc.

Existen varios tipos de cargas entre las cuales destacan

CAPITULO III

el Carbonato de Calcio, tanto precipitado como micronizado, por ser una carga ampliamente utilizada en la industria del PVC. También se dispone de otras cargas como arcilla calcinada, asbestos, mica y talco entre otras.

Las cantidades a usar varían desde 15 hasta 100 o más partes dependiendo del tipo de compuesto del que se trate. Sin embargo, para compuestos rígidos se agrega en menor cantidad que en compuestos flexibles.

Posteriormente se encuentran los pigmentos, los cuales se agregan en forma de polvo, como dispersiones líquidas, o como concentrados granulados; ya que el PVC presenta la particularidad de que se puede pigmentar con relativa facilidad en una amplia gama de colores, los pigmentos que se usan pueden ser inorgánicos y orgánicos.

Otro tipo de aditivo complementario son los modificadores de flujo, conocidos también como ayudas de proceso, cuya función es mejorar la procesabilidad del compuesto rígido, disminuyendo su viscosidad en estado fundido. Las cantidades que se agregan varían de 0.5 a 3 ppcr. dependiendo del tipo de compuesto y maquinaria utilizada. Es importante el alcanzar un nivel adecuado ya que su costo es alto.

El siguiente aditivo son los modificadores de impacto los cuales se caracterizan precisamente por mejorar o aumentar la resistencia a el impacto de un producto rígido de PVC sin impartir blandura o flexibilidad.

Los materiales plásticos poseen una propiedad conocida como temperatura de transición vítrea. Por debajo de la cual dichos materiales pueden experimentar fracturas o fragilización. Para resolver este problema se han desarrollado compuestos tipo ABS (acrilo nitrilo butadieno estireno), MBS (metacrilato butadieno estireno), CPE polietileno clorado, acrílicos y EVA (etileno vinil acetato), orientados a usos generales y específicos, según el caso en particular. Sus propiedades como aditivos para mejorar

la resistencia a el impacto radican en absorber el choque sin observar fracturas ya que experimentan una deformación a la vez que disipan el impacto.

A continuación se hace un resumen de los diferentes modificadores de impacto con sus características más destacadas:

TABLA 3.8

MODIFICADORES DE IMPACTO PARA PVC

TIPO DE MODIFICADORES AL IMPACTO	CARACTERÍSTICAS
ABS	SE RECOMIENDA PARA PRODUCTOS OPACOS; NO EXPUESTOS A LA INTERFERIE
MES	PROPORCIONAN MUY BUENA TRANSPARENCIA; NO RECOMENDADOS PARA USO A LA INTERFERIE
ACRILICOS	DISPONIBILIDAD DE MODIFICADORES PARA PRODUCTOS TRANSPARENTES Y OPACOS, TENIENDO ESTOS ULTIMOS RESISTENCIA AL INTERPERISMO.
EVA	RECOMENDADO PARA PRODUCTOS OPACOS CON BUENA RESISTENCIA A LA INTERFERIE
CPE	RECOMENDADO PARA PRODUCTOS OPACOS CON BUENA RESISTENCIA A LA INTERFERIE

SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS SON:

- 1.-Mayor velocidad a el proceso.
- 2.-Imparten facilidad de procesado, incluso a polímeros de alto

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

peso molecular.

- 3.-Reducen la temperatura de fusión.
- 4.-Reducen la temperatura de transición vítrea
- 5.-Ayuda al moldeo posterior de los productos,
- 6.-Afecta la resistencia química.
- 7.-Afecta la temperatura de deformación.

La cantidad que se debe agregar dependiendo del valor de resistencia solicitado es de 1 a 15 partes. Además se debe considerar también el peso molecular de la resina ya que a mayor peso molecular se logra mayor resistencia al impacto.

3.7 SECUENCIA EN LA PREPARACIÓN DE MEZCLAS SECAS

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

Para lograr estas condiciones es necesario que se fije un ciclo de mezclado, ciclo que no solo tomara en cuenta el orden de agregado si no las condiciones de temperatura (y en algunas ocasiones tiempo de lograda).

En el ciclo de mezcla se parte 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 demás ingredientes de la formula.

El calentamiento de la resina de PVC por masa o suspensión, si no es excesivo (por temperaturas no superiores a los 70 °C y por tiempo a esa temperatura, mas menos 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 espas de un mezclador de alta velocidad o en una

mucho menor proporción por convección por contacto de las partículas contra las paredes calientes de la mezcladora: de alta o baja velocidad (por calefacción con vapor o agua caliente).

Las partículas de PVC, normalmente poseen poros o canaliculos que también se dilatan, aumentando con ello considerablemente la superficie apta para entrar en contacto con los ingredientes que forman el compuesto.

Este calentamiento puede iniciar una dehidrocloración, por lo cual se recomienda agregar lo más pronto posible los estabilizadores.

Es a partir de este paso que se arranca la secuencia recomendable para compuestos plastificados o rígidos.

* 1	ALIMENTACION DE RESINA Y ESTABILIZADORES	AMBIENTE	CHECAR PREVIA LIMPIEZA DE EQUIPOS PARADOS . ARRANQUE DE MEZCLADORA EN 1A CAMBIAR A SEGUNDA VELOCIDAD
2	CALENTAMIENTO DE RESINAS CON ESTABILIZADORES	HASTA 70cC	MANTENER MEZCLADORA EN 2A VELOCIDAD (PARA ACORTAR CONSUMO DE TIEMPO
3	ADICION DE OTROS INGREDIENTES DE LA FORMULA.	ENTRE 70 Y 90 cC	MANTENER MEZCLADORA EN 2A, ADICIONAR INGREDIENTES POR ABPERSION
3.1	PLASTIFICANTES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS.	70 cC	DE SER POSIBLE PLASTIFICANTES PRECALENTADOS A IGUAL TEMPERATURA QUE LA RESINA
3.2	ESTABILIZADORES TERMICOS LIQUIDOS O TINTAS	CERCANO A 90cC	PREDISPERSADOS EN LA FASE PLASTIFICANTE O SOLO CUANDO SE TRATE DE COMPUESTOS RIGIDOS
3.3	LUBRICANTES INTERNOS	90 A 95 cC	USUALMENTE PENULTIMO INGREDIENTE DE FORMULA
3.4	CARGAS Y/O PIGMENTOS	ENTRE 90-95cC	PARA COMPUESTOS RIGIDOS
3.5	MODIFICADORES DE IMPACTO	ENTRE 90-110cC	PARA COMPUESTOS RIGIDOS
3.6	MODIFICADORES DE FLUJO	ENTRE 70-80cC	PARA ABEGUAR DISPERSION PREFERENTE AL EXTERIOR DEL COMPUESTO.
3.7	LUBRICANTES EXTERNOS	ENTRE 70-80cC	SI ES POSIBLE DISPERSOS O SUSPENDIDOS EN LA FASE LIQUIDA

CONTINUACION

FASE	OPERACION	TEMPERATURA	OBSERVACIONES.
3.8	MICELANEO PROTECTORES DE UV	70 A 90 °C	
4	DESCARGA	100 A 110 °C	DEPENDIENDO MUCHO DE LAS CONDICIONES DE SEQUEDAZ Y DEL GRADO DE HUMEDAD DEL AMBIENTE
5	ENFRIAMIENTO	HASTA TEMPERATURA AMBIENTE	MANTENER MEZCLAS SECAZ FUERA DEL CONTACTO CON EL AMBIENTE HUMEDO.
6	ALIMENTACION AL EXTRUJOR	POR GRAVEDAD, POR DOSIFICADORES	

3.8 FORMULACIÓN DEL COMPUESTO DE PVC ANTIESTÁTICO.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente se realizó la formulación de el compuesto de PVC requerido para llevar acabo la fabricación de el perfil antiestático.

La formulación es presentada a continuación junto con las propiedades más importantes de los aditivos que la conforman:

FORMULACIÓN:

COMPUESTO	PORCENTAJE
Resina de suspensión K-65	100
Ubarsob 3C	0.5
Barostav SM-170	2 a 2.5
Loxíol G-15	0.6 a 1.2
Loxíol G-78	0.6 a 1.2
Paraloid K-175	6 a 12
Paraloid K-120	1.5 a 2.0
Antiestático KN	0.1

PROPIEDADES:

Resina de PVC

Temperatura de transición vítrea T _g	75-105 °C
Viscosidad relativa	1.82
Densidad aparente	0.574 (gr/cm ³)
Volátiles	0.162 (%)
Conductividad térmica	3.5-5.0 cal-cm/seg cm ² .C

Barostav M-170:

Propiedades típicas	Apariencia: líquido
	Gravedad específica
	a 20 °C : 1.10 +/- 0.01 g/ml

Índice de reflexión
20 °C : 1.596 +/- 0.002

Aplicaciones:

Es un líquido butiltil-
mercaptil con un carácter
lubricante, que imparte
excelente estabilidad, sus
aplicaciones típicas son:
calandreo y extrusión de
película de PVC.

Aplicaciones
(continuación)

Reglamentación de su uso:

No debe ser usado en la
manufactura de empaques para
alimentos.

Loxol G-7B:

Descripción:

Es una combinación sólida
lubricante que contiene
metales y materiales de alto
peso molecular, es un
lubricante externo,
limitado a el procesamiento de
materiales rígidos.

Propiedades típicas:

Apariencia: Es de color
amarillo pardo, inodoro.
Punto de fusión: 105-115 °C
Punto de inflamación: >260°C
Valor ácido: 12
Volatilidad a 4h/160°C: < 3%

Aplicaciones:

Su principal aplicación es en

	el procesamiento de PVC rígido, su dosificación se encuentra en el rango de 0.5 a 1-0 phr.
Reglamentación de su uso:	Su uso en la industria alimenticia es aprobado en Alemania, Francia, Bélgica, Italia, Austria y España.
Lexiol 0-15:	
Descripción:	Es un lubricante interno altamente compatible también conocido como aceite de castor hidrogenado.
Propiedades típicas:	Apariencia: Es un líquido de color blanco, prácticamente inodoro. Punto de rocío: 84-90 °C Punto de inflamación: >280°C Volatilidad 4h/160°C: < 3% Viscosidad 100°C: 24 mpa.s Densidad 100°C: 0.895 g/cm3.
Aplicaciones:	Su principal uso es en procesamiento de PVC transparente, su dosificación esta en el rango de 0.2-2 phr
Reglamentación de su uso:	Aprobado en la industria alimenticia en Alemania, Italia, Gran Bretaña, España y Estados Unidos.

Antiestático KN:

Descripción:

Es un agente antiestático muy versátil, utilizado en el procesamiento de plástico, textiles papel y algunas otras aplicaciones.

En algunas formulaciones tiene un efecto lubricante.

Propiedades típicas:

Nombre químico: Esteramido-propil-dimetilbeta-ammonio-nitrato en una solución alcohólica al 50%.

Peso molecular: 476

Apariencia: líquido transparente de color ámbar, no corrosivo.

pH : 4 a 6

Solubilidad: Es soluble en agua, acetona, alcohol y algunos otros solventes polares de bajo peso molecular.

Compatibilidad: Es compatible en toda proporción con agentes no iónicos y catiónicos. Compatible con agentes aniónicos solo en determinadas proporciones.

Aplicaciones:

Puede ser empleado como un agente interno o externo,

proporcionando una buena protección en ambos casos. Su nivel de uso es variable dependiendo del grado de protección deseado.

PARALOID K-175:

Descripción:

Es un polímero acrílico que funciona como un lubricante externo y una ayuda de proceso en vinilos (PVC).

Su composición permite impartir una lubricidad externa sin presentar problemas de compatibilidad encontrados en los lubricantes comunes.

Propiedades típicas

Apariencia: polvo fino blanco.

Densidad 0.37 (g/cm³)

Gravedad específica 1.05

Índice refractivo 1.5191

Solubilidad: es soluble en acetona, tetrahidrofuran y tolueno.

Aplicaciones

Se aplica en formulaciones de vinilo transparente.

PARALOID K-120:

Descripción

Es un polvo blanco altamente dispersante, que permite el procesamiento de poli(cloruro de vinilo) rígido y

plastificado, esto debido a que proporciona una rápida fusión, una fluidez suave, así como excelente resistencia a el calor.

Propiedades típicas

Apariencia: Es un polvo blanco de tamaño de partícula uniforme.

Densidad: 0.40 a 0.44 (g/cm³)

Gravedad específica 25°C: 1.18

Índice de refracción 25°C: 1.4

Peso molecular aprox: 1,500,000

solubilidad: Es soluble en metil-etil-cetona, ciclohexanona, tetrahidrofuran y tolueno.

UBARSON 3C

Descripción

Es un estabilizador de luz con excelente compatibilidad con muchos polímeros. Es recomendable para poli(cloruro de vinilo) rígido y plastificado, poliestireno insaturado, y acrílicos.

Propiedades típicas

Peso molecular: 228

Gravedad específica 25°C: 1.32

Densidad: 0.38 (Kg/l)

CAPITULO IV

**METODOS DE PROCESAMIENTO DE PVC ANTIESTATICO
PARA LA OBTENCION DEL PERFIL REQUERIDO EN EL
EMPAQUETADO DE CIRCUITOS**

4.1 GENERALIDADES.

La elección del método de procesamiento de los materiales termoplásticos es una función directa de las características y requerimientos del producto final, para lo cual se deben tomar en cuenta factores como: las propiedades del producto, tamaño y detalles de forma, así como factores económicos.

En general los procesos más usados en la transformación del PVC son:

a) Moldeo por inyección. - Por este método se pueden moldear piezas sólidas o huecas, en moldes de una o varias cavidades, a velocidades muy altas y con una magnífica retención de formas, buen acabado y de gran diversidad de insertos posibles. En general se emplean máquinas de husillo preplástificados móvil (reciprocante), y en menor número máquinas de pistón.

b) Calandreo. - Por este proceso se obtienen películas o láminas de espesor y acabado muy uniforme, en ocasiones grabados. El proceso en si consiste en hacer pasar el material termoplástico o termofijo a través de un dispositivo de tres o más rodillos horizontales con espaciamento, velocidad y temperaturas controladas. El compuesto se alimenta previamente fundido para que por rotación y compresión se forme la película o lámina.

c) Moldeo por compresión. - Consiste en dar forma a los materiales plásticos vertidos en moldes que imparten forma por aplicación simultánea de presión seguidos de un ciclo de enfriamiento y apertura.

d) Termoformado. - El proceso consiste básicamente en el calentamiento del material termoplástico previamente extruido o calandreado en forma de hojas y su adaptación sobre el molde.

Aunque existen muchas técnicas para lograr un buen termoformado, en realidad todas ellas son variaciones sobre el mismo tema, destacándose las siguientes:

1.-**Moldeo en negativo.**- Generalmente se utiliza en aquellas aplicaciones con un dibujo suave o de poca profundidad, se requiere de un molde provisto en finos orificios para extraer el aire. La lámina plástica se reblandece mediante la aplicación de calor, luego es colocada sobre el molde y se hace entonces vacío, obligando a la hoja a tomar la forma del mismo. Una vez que la pieza se ha enfriado se retira el molde.

2.-**Moldeo en positivo.**- Se utiliza en aquellas aplicaciones de gran profundidad, se requiere de un molde con pequeños orificios para extraer el aire y de un armazón móvil en donde se sujeta la hoja. La lámina es previamente reblandecida al aplicarle calor, luego es colocada sobre el molde y se le hace descender sobre el mismo mediante el armazón móvil. Posteriormente se hace vacío obligando a la lámina a tomar forma, una vez que la pieza se ha enfriado se retira el molde.

Existen combinaciones de estas dos técnicas todas ellas encaminadas a lograr un mejor copiado de la hoja sobre el molde y así aumentar la calidad del artículo terminado, en general se trata de accesorios que fuerzan a la hoja a descender sobre el molde, en la gran mayoría de los casos la hoja se somete a una diferencia de presiones que la obligan a cañirse perfectamente a el contorno del molde, esta diferencia de presiones puede ser generada ya sea por un vacío desarrollado entre la hoja y el molde, o bien por un soplado ejercido directamente sobre la hoja.

e) Moldeo vaciado o casting.- Básicamente este proceso consiste en llenar un molde con un plastisol y extraerlo después del gelificado en un horno. Se vislumbran dos procesos utilizados:

1.- **Colado.**- En este procedimiento se utilizan moldes hechos con metales ligeros, con una conductividad térmica alta como: aluminio, cobre y bronce. Consiste en calentar estos moldes y llenarlos con plastisol formando de esta manera una capa

gelificada en las paredes del molde, posteriormente se invierte el molde para drenar el plastisol que permaneció líquido para volver a utilizarlo, una vez hecho esto se cierra el molde y se mete al horno o baño de aceite caliente a temperatura controlada, hasta la fusión total del artículo, luego se enfría y extrae la pieza moldeada.

Existen algunas variaciones como el hacer varias veces la operación de drenado para engrosar la capa formada, o rotar el molde en diferentes direcciones sincronizadas para lograr una distribución homogénea dentro del molde.

Por este proceso se fabrican piezas huecas de gran tamaño, como maniqués, muñecas y juguetes.

2.- Moldeo rotacional.- El proceso consiste en montar los moldes sobre sus soportes correspondientes y llenarlos dosificando la cantidad exacta necesaria, lo cual puede ser hecho por medio de una bomba dosificadora; se cierran los moldes y se meten al horno donde se hacen girar en dos planos, ajustando las revoluciones para que en el interior de los moldes se distribuya uniformemente el plastisol y gelifique en una capa. A continuación se sacan del horno, se enfrían los moldes y se extraen las piezas. El horno debe ser capaz de dar temperaturas ligeramente mayores a los 200 grados centígrados, generalmente es de convección de aire calentado por aceite o resistencia eléctrica.

1) Recubrimiento por inmersión.-Este proceso sirve para el recubrimiento de objetos metálicos con una capa uniforme. Hay dos métodos diferentes con el mismo principio.

1.- inmersión en caliente.-En este proceso se calienta lo más uniformemente posible la pieza a recubrir y hecho esto se sumerge en la pasta plástica (plastisol de PVC) y acto seguido se extrae del sustrato con delicadeza y se enfría, lográndose recubrimientos que le imparten buen aspecto, tacto, y buena

resistencia a el medio ambiente.

2.-Inmersión en frío.- En este proceso los moldes fríos se sumergen en la pasta de PVC, formándose por adherencia una capa cuyo espesor esta en función de la viscosidad y densidad del líquido. Después se sacan de este sustrato los artículos recubiertos y se les gelifica al introducirlos en un horno a temperatura controlada.

g)Recubrimiento por esparcido.- De manera general consiste en poner pasta sobre un soporte y pasarlo a través de un horno de gelificación y enfriar separándolo del soporte. Se pueden adicionar operaciones de impresión, laqueado, laminado o pude intercalarse trenes con hornos pequeños de gelado con cabezas de recubrimientos sucesivos para dar un sistema de capas.

Para el propósito de fabricación de perfiles se utiliza el método de extrusión por lo cual se llevara a cabo un análisis más detallado acerca de este método de transformación de materiales de PVC.

4.2 PROCESO DE EXTRUSIÓN.

4.2.1 GENERALIDADES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

La extrusión es la técnica de procesamiento de polímeros más importante de la actualidad, esto significa que una parte substancial de todos los polímeros que se producen, pasan a través de una extrusora al menos una vez en su camino de producción, desde el reactor de polimerización, hasta el producto terminado que llega a los consumidores.

La palabra extruir se origina de las palabras latinas "ex" (salir, fuera) y "trudere" (forzar), describiendo el proceso en si como la conversión de una materia prima adecuada en un producto específico, forzando el material a través de un orificio

o dado, bajo condiciones reguladas. Para que este concepto sea de utilidad práctica, existen ciertos requisitos que deben satisfacerse, referentes tanto a el equipo como a la materia prima. El equipo debe de ser capaz de proveer suficiente presión sobre el material en forma continua y uniforme y, en algunos casos, también debe de contar con medios para ablandar o acondicionar el material para que éste sea extruible. El material debe ser tal que una vez acondicionado en forma adecuada, fluirá bajo presión y solidificará cuando las condiciones se eliminan, o bien se puede hacer que solidifique como resultado de algún cambio químico que se efectuó en forma continua.

En general la extrusión de materiales plásticos se divide en tres clases: extrusión húmeda, extrusión de fibras o hilado y extrusión seca. Así mismo en el proceso de extrusión existen tres mecanismos: pistón y cilindro, bombas de varios tipos y gusanos giratorios.

4.2.2 TIPOS DE EXTRUSIÓN.

EXTRUSIÓN CON PISTÓN.- Las primeras máquinas de extrusión usaban pistones que operaban dentro de cilindros, que operaban sobre cantidades definidas de materia prima preparada. Tales máquinas aún se usan ampliamente, y para algunos propósitos tienen ciertas ventajas. La presión por ejemplo puede ser tan amplia como se requiera, es uniforme y se puede controlar con cierta exactitud. La materia prima no esta sujeta a ninguna agitación o mezcla violenta cuando esta dentro del cilindro, y el equipo es muy simple. Por lo tanto, cualquier materia prima para extrusión que se pueda llevar a un estado plástico por simple aplicación de presión y que no requiera de ningún acondicionamiento posterior en la prensa, comúnmente se extruye por pistón. Similarmente, materiales que no fluyen apropiadamente

pero se pueden compactar bajo presión. también se pueden procesar por este medio. Las máquinas de pistón tienen altos rendimientos con bajas inversiones de capital, y tienen bajos costos de mantenimiento.

Sin embargo, debe considerarse que la prensa opera sobre una torta o masa de material compacto y esencialmente estático y por tanto no se le puede dar una cantidad apreciable de calor mientras se encuentra en la prensa. Así el proceso de pistón tiene la desventaja de que trabaja con materiales no conductores, solo cuando estos se ablandan por algún medio diferente a la aplicación de calor, o bien con aquellos que se pueden precalentar a la temperatura de extrusión.

Otra desventaja evidente de la prensa de extrusión con pistón es que el proceso no es continuo. Cuando el pistón alcanza el final de su carrera de fuerza, la extrusión termina y el pistón debe regresar para insertar otra carga.

En cuanto a sus usos se pueden obtener cintas, placas, tubos y perfiles.

EXTRUSIÓN HÚMEDA.-en este tipo de extrusión la materia prima se ablanda o acondiciona agregando antes de la extrusión disolventes, de tal manera que durante la extrusión se requiere muy poco o ninguno ablandamiento.

Este proceso es particularmente útil con materiales altamente inflamables y peligrosos cuando se sobrecalientan, por lo que es conveniente que todas las operaciones de manipulación se lleven a cabo en condiciones húmedas, a temperaturas relativamente bajas y con un mínimo de efectos de fricción y trabajos de compresión.

Los efectos de fricción que son una característica de los procesos de extrusión normal con gusano podrían originar un gran peligro con los materiales antes mencionados. Por lo tanto las prensa de pistón son usadas con estos materiales, aunque se han

llegado a utilizar máquinas de gusano que giran muy lentamente.

Por otra parte la extrusión húmeda tiene ciertas desventajas obvias. Se requiere una operación especial para la preparación de la materia prima, y los disolventes usados son altamente inflamables y caros. El producto terminado no puede ser dimensionalmente estable hasta que se hallan eliminado todas las huellas de disolvente y con frecuencia esto toma un largo tiempo, especialmente con secciones gruesas. Para una producción económica generalmente es necesario la instalación de plantas recuperadoras de solventes.

EXTRUSIÓN SECA.- En el proceso de extrusión seca se usa el calor para ablandar el material. La extrusión seca puede usar la prensa de pistón en el cual el material se precalienta separadamente hasta el grado requerido antes de entrar a la prensa, o bien, se puede forzar por el pistón a través de una cámara especial de calentamiento.

El método más importante de la extrusión seca usa un mecanismo de gusano, en el cual el material entra frío y se ablanda por calentamiento, siendo compactado y sometido a presión por el gusano.

BOMBAS DE EXTRUSIÓN Y EXTRUSIÓN DE FIBRAS.- Los materiales de baja viscosidad, como soluciones y algunos materiales fundidos, se pueden extruir a presiones comparativamente bajas, de tal manera que se pueden utilizar bombas sustancialmente normales. Este sistema se adopta para la extrusión de monofilamentos en la celulosa regenerada, el acetato de celulosa, el nylon y otros materiales sintéticos que forman fibra, en donde una solución o un material fundido de baja viscosidad se filtra o se bombea a un dado múltiple especial llamado hilera. Este dado especial contiene un número muy grande de orificios muy finos, a través de los cuales, mediante una bomba, el material es filtrado formando la fibra. La extrusión normalmente se efectúa hacia abajo y los

monofilamentos, que inicialmente están en la forma de chorros finos de líquido, se solidifican de varias maneras, dependiendo de los requisitos del material.

Las fibras obtenidas de la manera descrita anteriormente se sujetan a varios procesos posteriores con objeto de llegar a un producto adecuado para tejido y otros usos finales.

EXTRUSIÓN CON GUSANO.- la máquina de extrusión con gusano consiste fundamentalmente en un gusano, tornillo o husillo de forma especial que gira en un barril o cilindro calentado en el cual se encuentra una abertura de alimentación radial o tangencial en un extremo, y un orificio axial o dado en el otro extremo. Algunas veces se coloca entre el final del gusano y el dado una restricción del tipo de una placa quebradora o malla, con objeto de ayudar a formar un gradiente de presión a lo largo del gusano. Las técnicas recientes han indicado que el control de presión en el dado es importante, por lo que algunas veces se usa una válvula además de la placa y la malla. Usualmente el gusano lleva un conducto a todo lo largo o en la parte de su longitud, de tal manera que pueda ser enfriado o calentado, de acuerdo a los requerimientos del material alimentado. La extrusión con gusano puede efectuarse por mecanismo de un solo gusano o de gusanos múltiples. Sin embargo, los principios básicos son los mismos.

El gusano giratorio toma el material (el cual comúnmente se encuentra en forma de virutas frías de flujo fácil, polvos o cubos) desde el extremo de la alimentación, lo lleva a través de las zonas calentadas del barril y lo compacta contra la placa quebradora u otra restricción, de tal manera que se desarrolla una presión. Durante este período, el material es forzado en un contacto deslizante íntimo y sustancial con las paredes calientes del barril, sufriendo también esfuerzos cortantes y trabajo, produciéndose efectos de fricción. Los efectos combinados del

barril caliente y del calor debido a la fricción interna del material ablandan el termoplástico de tal manera que se pueda forzar a través de la restricción al dado de extrusión en donde se le da la forma requerida.

La Fig 4.1 es un dibujo simplificado de una máquina de extrusión con gusano mostrando sus diferentes componentes.

- 1.-Tolva de alimentación.
- 2.-Resistencia eléctrica de calentamiento.
- 3.-Tornillo de extrusión.
- 4.-Dado de extrusión.
- 5.-Generador tacométrico.
- 6.-Controladores de inducción de calor (termopares).
- 7.-Ventilador.
8. Paquete de mallas.

4.2.3 TEORÍA DE FLUJO SIMPLIFICADA PARA MÁQUINAS DE EXTRUSIÓN DE TORNILLO.

Los primeros intentos para formular una teoría máquina para las máquinas de tornillo se debe a Rowell y Finlayson¹²² quienes en el año de 1922 y después en 1928 publicaron expresiones para la capacidad, requisitos de potencia y eficiencia para las máquinas de tornillo. Su trabajo se basó en la teoría general de la lubricación desarrollada por Reynolds¹²³ y depende de la solución de la ecuación diferencial:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{d^2y}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) \quad 4.1$$

La cual fue presentada por Navier¹²⁴ en 1822. La solución a esta ecuación diferencial se presenta en este capítulo, sin embargo, las ecuaciones de flujo resultantes son complicadas y difíciles de manejar matemáticamente. Estas ecuaciones de flujo

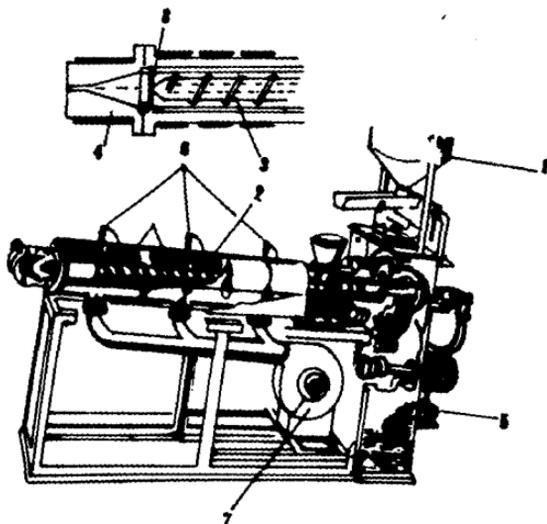


FIG 4.1
EXTRUSOR
CON CALENTAMIENTO
ELECTRICO

pueden ser simplificadas si se considera que los efectos de las paredes del canal sobre la distribución de velocidades son insignificante, en otras palabras la simplificación se puede obtener si se supone que el fluido se extiende infinitamente en la dirección del eje X, para obtener una distribución de velocidades unidimensional. El error causado por esta consideración es muy pequeño para canales de tornillo poco profundos. Cuando la relación del canal anchura-profundidad es diez o mayor el error puede ser menor al 10%. Muchos de los tornillos usados para la extrusión de plásticos presentan estas características, y consecuentemente las ecuaciones de flujo simplificadas son muy apreciadas para el diseño, trabajo y muchas otras aplicaciones.

En el proceso de extrusión se considera que el movimiento del material viscoso en la paleta de una máquina de un solo tornillo está compuesto de tres tipos distintos de flujo que son.

Flujo de arrastre.

Flujo hacia atrás por presión.

Flujo de fuga.

El flujo de arrastre tiene lugar debido al hecho de que el material fundido en el canal del gusano se adhiere tanto al barril fijo como al gusano giratorio.

El flujo hacia atrás por presión ocurre cuando en el extremo de la extrusora se encuentra una restricción tal como el dado, una válvula, una malla o bien una placa quebradora lo cual ocasiona un gradiente de presión en el canal. La presión aumenta hacia el dado y se supone que hay un flujo hacia atrás del canal del gusano, aunque se ha demostrado que de hecho no hay movimiento real de material en esa dirección.

El flujo de fuga también lo ocasiona un gradiente de presión a lo largo del gusano, y se presenta entre la superficie de la cara de la paleta y del barril. Normalmente el claro entre las

caras de la paleta y del barril es muy pequeño, quizá en el orden de 1 a 1.5 mm, y por tanto la velocidad de flujo en este caso es mucho más pequeña que para el flujo de arrastre y para el flujo hacia atrás.

Se supone que es justificable el sumar algebraicamente estos tres tipos de flujo, y si el material no es compresible, la descarga total de la extrusora está dada por la suma del flujo de arrastre, flujo hacia atrás por presión y el flujo de fuga, es decir, $Q=Q_a-Q_p-Q_l$.

En la Figura 4.2 se muestra el diagrama de velocidades resultante.

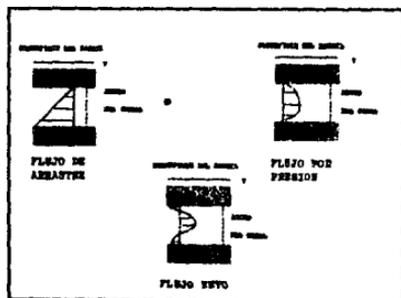


FIGURA 4.1

A pesar de la aparente simplicidad de la explicación anteriormente, no es factible llegar a una teoría completa de la máquina de extrusión de gusano que sea válida para la gama completa de materiales termoplásticos. Una teoría tal tendría que considerar no solamente las dimensiones, paso del tornillo y otras características de la máquina, si no que necesitaría tomar en cuenta las características físicas del material y cómo van cambiando estas bajo diferentes condiciones de trabajo.

Sin embargo es posible idealizar el proceso de extrusión y, usando un modelo simple obtener por cálculo una aproximación del funcionamiento de una máquina de extrusión de tornillo.

Para el establecimiento de dicha teoría se considera un fluido Newtoniano, la cual es una suposición empírica, y el análisis subsiguiente del movimiento del fluido no se afecta si esta ley se sustituye por otra. El análisis se lleva a cabo sobre un fluido viscosos de extensión infinita, el cual se encuentra en movimiento uniforme bajo presión entre dos placas paralelas separadas entre sí por una distancia "h" y una de las placas se encuentra fija y la otra se mueve en su propio plano con una velocidad constante V_0 .

El fenómeno mencionado anteriormente es descrito por la Ecuación 4.1, cuando la segunda derivada de la velocidad con respecto a X es igual a cero, esto es:

$$\frac{d^2V}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) \quad 4.2$$

Por integración de la Ecuación 4.2, y el uso de las condiciones a la frontera siguientes:

para $y=0$ $V=0$ y para $y=h$ $V=V_0$

se obtiene la Ecuación 4.3

$$v_0 = \frac{V_0 y}{h} + \frac{(V_0^2 - h^2)}{2\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) \quad 4.3$$

El primer término de la Ecuación 4.3 es el flujo debido a el movimiento de la placa superior (flujo de arrastre) y el segundo es el flujo hacia atrás por presión.

El flujo volumétrico puede ser obtenido de la Ecuación del perfil de velocidades 4.3. Integrando el producto área-velocidad bajo los límites $y=0$ a $y=h$

$$Q = \int v w dy \quad 4.4$$

$$Q = w \left[\frac{v y}{h} + \frac{(y^2 - h y)}{2\mu} \left(\frac{dp}{dz} \right) \right] dy \quad 4.5$$

$$Q = \frac{v w h}{2} - \left[\frac{w h^3}{12\mu} \right] \left(\frac{dp}{dz} \right) \quad 4.6$$

donde el primer termino de la derecha es el flujo de arrastre y el segundo termino es el flujo hacia atrás por presión.

La Ecuación 4.6 puede ser expresada en una forma más conveniente si se considera la geometría del hilo del tornillo. La Figura 4.3 muestra el diagrama de un tornillo de doble vuelo:



De esta figura las siguientes relaciones pueden ser obtenidas para el tornillo y un número de vueltas "n"

$$V = D \cos \phi = n D n \cos \phi \quad 4.7$$

$$n W = (t - d_e) \cos \phi \quad 4.8$$

$$W = \left(\frac{t}{n} - e \right) \cos \phi \quad 4.9$$

$$dz = \frac{d\theta}{\sin \phi} \quad 4.10$$

Substituyendo las Ecuaciones 4.7, 4.9 y 4.10, en la Ecuación 4.6 y recordando que son "n" vueltas en paralelo, la ecuación básica de la teoría de flujo simplificada es:

$$Q = \frac{(\pi^2 D^3 N h S E \mu \cos \phi)}{2} - \frac{(\pi D h^3 \sin^2 \phi)}{2 \mu} \left(\frac{dP}{dZ} \right) \quad 4.11$$

Así mismo la Figura 4.3 relaciona la parte final del tornillo con el diámetro y el ángulo de la hélice bajo la Ecuación.

$$t = \pi D \tan \phi \quad 4.12$$

Substituyendo la Ecuación 4.12 en 4.11 se obtiene la Ecuación 4.13 que aplica cuando n=1

$$Q = \frac{(\pi^2 D^3 N h \sin \phi \cos \phi)}{2} - \frac{(\pi D h^3 \sin^2 \phi)}{2 \mu} \left(\frac{dP}{dZ} \right) \quad 4.13$$

Ahora bien si se considera un proceso isotérmico y las dimensiones del tornillo permanecen constantes a todo lo largo de este y como se considera un fluido Newtoniano la viscosidad será constante así como el gradiente de presión. Consecuentemente:

$$\left(\frac{dQ}{dZ} \right) = \left(\frac{dP}{dZ} \right) = \left(\frac{dP}{L} \right) \quad 4.14$$

Substituyendo la Ecuación 4.14 en la Ecuación 4.11, la Ecuación de flujo se transforma en:

$$Q = \pi N - \beta \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right) \quad 4.15$$

donde

$$\beta = \frac{[\pi \pi D h \left(\frac{L}{2} - e \right)]}{2}$$

$$\beta = \frac{[nh^3 (\frac{e}{n} - e) \sin \phi \cos \phi]}{2L}$$

debe observarse que alfa y beta son dependientes solo de las dimensiones del tornillo.

Ahora es necesario obtener un término para el flujo de fuga sobre el borde de la paleta del tornillo, con objeto de tomar en cuenta la aportación de este mecanismo, el cual tiene lugar en la extrusión con tornillo.

El flujo de fuga se considera como un flujo a través de una ranura cuya anchura es la longitud de una vuelta de la paleta, y cuyo espesor es el claro entre el diámetro exterior del tornillo y la pared del barril. Si se considera únicamente flujo por presión en este pequeño claro, la velocidad de flujo se encuentra resolviendo las ecuaciones anteriores para un nuevo grupo de condiciones límite, lo cual da como resultado una solución de la misma forma que el término de presión de la Ecuación 4.6. Por lo tanto la solución se puede obtener en una forma bastante simple de la Ecuación 4.6, si se sustituyen las dimensiones de la ranura por las del canal del gusano

$$\text{altura} = \delta$$

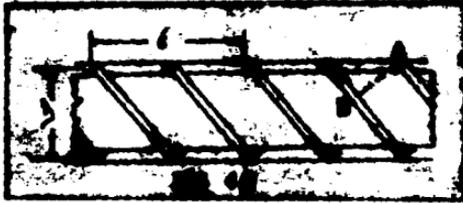
$$\text{longitud} = e \cos \phi$$

$$\text{anchura} = \pi \frac{D}{\cos \phi}$$

Haciendo las sustituciones adecuadas, tomando en cuenta la caída de presión total a lo largo del gusano (Δp) e introduciendo un factor "e" para la excentricidad del gusano, el flujo de fuga se convierte en :

$$Q_L = \frac{(\pi D^3 \Delta P)}{(12 \mu \cos^2 \phi)} \quad 4.14$$

donde Q_P es la caída de presión de un lado de la paleta a otro lado en la Figura 4.4 es la diferencia de presión del punto "A" a el punto "B".



Es más conveniente el expresar las caídas de presión en términos de una caída de presión global de todo el tornillo la cual se expresara como delta-p.

Para lo cual primero se calcula la caída de presión a través de la longitud del canal igual a una vuelta de la hélice.

$$\Delta p_1 = \frac{\Delta P}{(\text{número de vueltas})} = \frac{L \Delta P}{L} = \frac{\pi D \tan \phi \Delta P}{L} \quad 4.17$$

En la figura se representa como la diferencia de presión del punto "A" a el punto "C". Para la Ecuación 4.15, sin embargo, la diferencia de presión del punto "A" a el punto "B" es necesaria, para lo cual se considera un gradiente de presión lineal en el canal del tornillo, P , para la relación de la distancia a lo largo del canal helicoidal de "C-A" a la distancia "B-A"

$$\Delta P = \frac{\pi D \tan \phi \Delta P}{L} \left[\frac{(\pi \frac{D}{\cos \phi}) - \pi D \sec \phi \tan \phi}{\pi \frac{D}{\cos \phi}} \right] \quad 4.18$$

sustituyendo 4.17 en 4.14 y asignando el valor de 1,2 a "e" la

ecuación de flujo de fuga es

$$QL = \frac{\pi^2 D^3 \beta^2 \tan \phi \Delta P}{10 \mu e L} - \gamma \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right) \quad 4.19$$

Combinando las Ecuaciones 4.19 y 4.15 se obtiene el flujo neto representado por

$$Q = aN - \beta \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right) - \gamma \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right) \quad 4.20$$

Considerando ahora el flujo que pasa a través del dado

$$Q = K \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right) \quad 4.21$$

donde K es una constante que depende de la geometría del dado

Se cuenta ahora con dos Ecuaciones: una describe la descarga del tornillo relacionada con el canal del mismo y la otra describe el flujo por presión relacionado con el dado. Consecuentemente la solución simultánea de 4.21 y 4.20 resulta en una ecuación que relaciona la salida de un extrusor y las dimensiones físicas del tornillo y el dado.

$$Q = \left[\frac{a}{1 + \left(\frac{\beta + \gamma}{K} \right)} \right] N \quad 4.22$$

Esta ecuación muestra que la salida de un extrusor isotérmico con un tornillo de canal uniforme es directamente proporcional a la velocidad del extrusor y es independiente de la velocidad del extruido.

Una gráfica de Q vs delta-p usando la Ecuación 4.22 resulta en una línea con pendiente negativa, dicha línea es llamada característica del tornillo. Para un material y tornillo establecido, cada velocidad de tornillo resulta en diferentes características de tornillo, sin embargo, todas estas

características son paralelas y solo están separadas por una distancia, la cual es directamente proporcional a la velocidad del tornillo. Una gráfica de este tipo se muestra más adelante en este capítulo.

Cuando se requiere incrementar la descarga de un extrusor y las dimensiones del barril y dado no pueden ser alteradas así como la velocidad de extrusión, solo será posible si el diseño en el tornillo no es de una capacidad máxima.

La capacidad máxima de un tornillo se encuentra resolviendo simultáneamente las Ecuaciones 4.13 y 4.21

$$Q = \frac{A h \cos \phi \cos \phi}{1 + B h^2} \quad 4.23$$

donde

$$A = \frac{\pi^2 D^3 K}{2}$$

$$B = \frac{D \pi}{12 K L}$$

Si se diferencian parcialmente estas Ecuaciones con respecto a h y se igualan a cero para resolverse para h se obtiene la Ecuación 4.24

$$h^3 = \frac{6 K L}{\pi D \cos^2 \phi} \quad 4.24$$

Esta Ecuación proporciona la profundidad óptima del canal para una máxima descarga expresada como una función de otras dimensiones. Similarmente el ángulo óptimo del canal puede ser calculado

$$\cos^2 \phi = \frac{1}{\frac{\pi D h^3 K}{12 L} + 2} \quad 4.25$$

Resolviendo simultáneamente 4.25 y 4.26 se obtiene el ángulo óptimo de la hélice y la profundidad del canal

$$\phi = 30$$

Así la máxima descarga se obtendrá con un ángulo de hélice de 30° y la profundidad se calculara con la Ecuación 4.28.

Considerando un caso más general en el cual las dimensiones del canal del tornillo varían con su posición en el tornillo, el ángulo de la hélice y la profundidad deberán ser expresados ser expresados como una función de D y la Ecuación es.

$$Q = Ah(\phi) \operatorname{sens}(\phi) \operatorname{cosp}(\phi) - \frac{\Psi [h(\phi)]^2 [\operatorname{sens}(\phi)]^2}{\mu} \left(\frac{d\phi}{dD} \right) \quad 4.28$$

en donde.

$$A = \frac{\pi^2 D^2 N}{2}$$

$$\Psi = \frac{\pi D}{12}$$

Recordando que el flujo neto Q , es constante a lo largo de la longitud del tornillo la Ecuación 4.28 puede ser integrada para obtener el arreglo total en la presión a lo largo de todo el canal

$$\Delta P = \int d\phi = \int \frac{Ah(\phi) \operatorname{sens}(\phi) \operatorname{cosp}(\phi)}{\Psi [h(\phi)]^2 [\operatorname{sens}(\phi)]^2} - C_{\mu} \quad 4.29$$

Si delta-p es sustituida de acuerdo a la Ecuación 4.21, la ecuación integral puede resolverse para Q

En muchos casos, sin embargo, el ángulo y la profundidad de hélice y tornillo respectivamente pueden ser diferentes en distintas secciones del extrusor. En tal caso la única diferencia

$$Q = \frac{\Delta \int \frac{\cot \phi(\phi)}{[h(\phi)]^2} d\phi}{\frac{\psi}{k} + \int \frac{[\cot \phi(\phi)]^2}{[h(\phi)]^2}} \quad 4.30$$

es que la elevación de presión a lo largo del tornillo es la suma de n integrales. Consecuentemente cuando sustituimos para delta-p y se resuelve para Q, se obtiene una relación más general.

$$Q = \frac{\Delta \sum \int \frac{\cot \phi_i(\phi)}{[h_i(\phi)]^2} d\phi}{\frac{\psi}{k} + \sum \int \frac{[\cot \phi_i(\phi)]^2}{[h_i(\phi)]^2}} \quad 4.31$$

En la Ecuación anterior la integración se realiza bajo los límites de cero a L y para i=i hasta n.

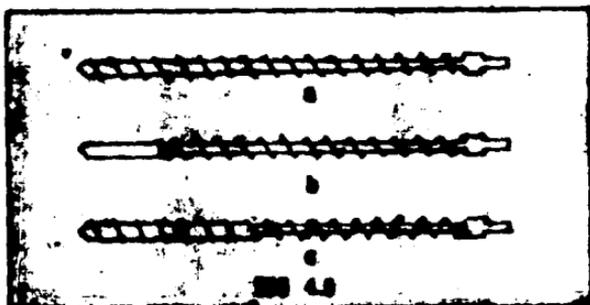
4.2.4 VARIACIÓN DEL DISEÑO DEL TORNILLO CON LOS MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS DEL DADO.

Los materiales termoplásticos difieren ampliamente entre sí, en sus propiedades mecánicas y térmicas. La dureza de la superficie, las temperaturas de fusión y las viscosidades al fundir, los coeficientes de fricción, los calores específicos y las conductividades térmicas de los termoplástico, cubren una amplia gama de valores, y puesto que cada uno de estos factores tiene influencia en cierto grado en el diseño del tornillo, es obvio que debe haber muchos tipos de tornillos para manejar adecuadamente estos materiales.

Un tornillo de extrusión normalmente debe ser diseñado con características adecuadas para un material en particular, puesto que es muy raro que un tornillo pueda ser apropiado para una amplia gama de materiales. De hecho, la tendencia es que el tornillo se diseñe para una combinación de particular de

dado/material y se puede recomendar más de un tornillo para un mismo material, si la forma del dado se altera en forma radical.

En la figura 4.5 se muestran diferentes de tornillos utilizados para la extrusión de termoplásticos.



En la Figura 4.5 (a) se muestra un gusano típico dividido en tres zonas: la zona de alimentación, la zona de transición o compresión y la zona de dosificación o de material fundido. La Figura 4.4 (b) muestra un tipo especial de tornillo que tiene un torpedo o cabeza embarradora, la cual imparte esfuerzo cortante adicional a el material pero no tiene acción de bombeo. Actualmente este tipo de tornillo no se usa, prefiriéndose un tornillo con una zona de dosificación mayor. La Figura 4.4 (c) es un diseño con una zona de compresión corta, el cual se ha usado con éxito considerable para la extrusión de materiales duros de baja viscosidad al fundir.

En la sección anterior se ha desarrollado una teoría simplificada de extrusión con tornillo, la cual se baso en la suposición de que el material al pasar a través del tornillo, era un fluido con coeficiente de viscosidad conocido. De hecho, la teoría se aplica a extrusión de material fundido más bién que a

la extrusión de plásticos. Sin embargo, es posible aplicar la teoría de una máquina de extrusión de material fundido a la sección de dosificación de una máquina de tornillo, y obtener una evaluación razonablemente precisa del comportamiento en esta.

Zona de alimentación.— El propósito de esta zona, como su nombre lo indica, es tomar el material frío de la tolva y alimentarlo a la zona de compresión. Sin embargo, los materiales alimentados difieren ampliamente en su forma física, y se pueden surtir como polvos finos, cubos regulares, virutas de forma irregular con porcentajes finos, o bien cilindros o esferas.

La zona de alimentación tendrá que manejar materiales cuya forma puede ser cualquiera de las mencionadas, para lo cual se ha encontrado experimentalmente que el ángulo de la hélice más apropiado para la forma de un material no lo es para el mismo material en una forma diferente. Sin embargo, parece ser que un ángulo de 20° es el más apropiado considerando que el coeficiente de fricción para la mayoría de los plásticos se encuentra alrededor de 0.4.

Se ha mostrado anteriormente que el ángulo de la hélice más eficiente para la zona de dosificación es de una extrusora de tornillo es 30° , con un paso de rosca de 1.8D, pero puesto que la mayoría de los tornillos son de paso constante, el diseño usual en el ángulo de la hélice para el tornillo esta basado en la zona de alimentación. Se conocen ángulos tan grandes como 25° y tan pequeños como 10° pero, en la practica, 17.7° es el más comúnmente usado, dando en esta forma un paso igual al diámetro.

Ya que se supone que la zona de alimentación regula la descarga de la máquina, es importante que la zona de alimentación pueda transportar suficiente material para mantener llena la zona de dosificación. Por otra parte, también es importante asegurarse que el suministro no sea demasiado grande como para sobrecargar la zona de dosificación. Un desequilibrio hacia cualquiera de las

dos partes ocasionaría pulsaciones, de tal manera que es necesario tener un cuidado especial para la selección de una relación de compresión que llene el factor de masa del material alimentado. Las relaciones de compresión que se usan varían entre 1.5:1 y 4:1.

Zona de compresión.—La zona de compresión o zona de transición se encuentra inmediatamente después de la zona de alimentación y generalmente esta formada por un aumento gradual del diámetro de la flecha del gusano hasta alcanzar el diámetro de la sección de dosificación.

En esta zona se debe de tratar de obtener una cantidad correcta de compactación que servirá en primer lugar para expulsar el aire ocluido hacia la zona de alimentación y en segundo lugar para compactar el material y mejorar su conductividad térmica. Además el material durante su paso a través de la zona de compresión debe de llegar a ser lo suficientemente viscoso y deformable para que pueda absorber la energía del esfuerzo cortante de tal manera que se pueda calentar y mezclar uniformemente en toda su masa. En esta forma, durante el tiempo que el material pasa a través de la zona de compresión se debe fundir homogéneamente sin que se queden partículas sin fundir de tal manera que la siguiente zona maneje únicamente material viscoso.

La zona de compresión es quizá el mecanismo más difícil de definir ya que a pesar de que se han realizado estudios sobre el comportamiento de los materiales en esta zona, usando barriles transparentes, y se han detectado comportamientos sistemáticos, aún no ha sido posible el desarrollarlo en una teoría general que sea útil para el diseño de las máquinas de extrusión. La extrema complejidad de esta zona es el resultado de una transición gradual desde el sólido hasta el flujo laminar, y del efecto creciente de esfuerzo cortante.

Zona de dosificación.—La zona de dosificación es la parte final del tornillo y actúa como una bomba dosificadora desde la cual el material plástico fundido es transportado al sistema del dado a presión y volumen constante. La relación del volumen de una vuelta de tornillo en la zona de alimentación al volumen de una vuelta en la zona de dosificación se llama relación de compresión del tornillo.

Se conoce más acerca del comportamiento de esta zona que de cualquier otra, puesto que aquí el material está completamente viscoso, y las ecuaciones discutidas anteriormente se pueden aplicar aproximadamente a los procesos que tienen lugar en ella.

4.2.5 POTENCIA NECESARIA PARA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

Como se ha mencionado anteriormente en la mayoría de los casos el material es alimentado a temperatura ambiente y en estado sólido por lo que se debe suministrar calor a el material a una velocidad, tal que pueda alcanzar la temperatura adecuada para llevar a cabo el proceso de extrusión.

Además de esta energía necesaria para calentar el material se precisa de una potencia determinada para hacer girar el tornillo, venciendo las resistencias originadas por la fricción y viscosidad del material. Esta energía es suministrada por un motor y aparece en el material fundido en forma de calor y presión. Estas dos formas de energía están relacionadas íntimamente durante el proceso, pues cualquier alteración en la cantidad de calor suministrado al material repercutirá inmediatamente en la potencia que será necesario consumir para hacer girar el tornillo y viceversa, en cuanto mayor sea la potencia para hacer girar el tornillo menor será la energía calorífica necesaria para conseguir un estado adecuado del material.

No existe ninguna teoría que describa la relación entre estos procesos de aportación de energía en el extrusor. Sin embargo, se han desarrollado trabajos que describen un cálculo de la potencia necesaria requerida en el tornillo para conseguir ciertas condiciones de trabajo. Uno de estos trabajos se describe a continuación, sin embargo, no debe perderse de vista que solo es una aproximación. Para esta deducción se considera un fluido Newtoniano, un tornillo con dimensiones constantes y que el proceso es isotérmico.

Se considera la potencia en dos sumandos, el primero representa la potencia empleada para hacer avanzar el polímero fundido a lo largo del canal del tornillo y el segundo indica la potencia consumida por fricción en la zona comprendida entre el borde de la hélice y la pared interna del cilindro.

considerando las ecuaciones básicas

$$dZ_1 = U \cdot dF_1 \quad 4.32$$

$$\tau = \mu \frac{dU}{dY} \quad 4.33$$

donde

dZ_1 = potencia consumida a lo largo de la longitud del canal.

U = velocidad lineal periférica del tornillo

dF_1 = fuerza necesaria para mantener en movimiento el tornillo.

τ = esfuerzo unitario de cizalla.

μ = viscosidad del material fundido.

dU/dY = gradiente de velocidad en el material.

La fuerza de corte es igual a el producto de el esfuerzo unitario de corte por el área elemental sobre la que actúa este esfuerzo. Esta componente de la fuerza se relaciona con la fuerza

total que actúa en el sentido de la rotación del tornillo, dividido por el coseno del ángulo de la hélice

$$dP = \frac{dF_t}{\cos \theta} = \frac{r}{\cos \theta} \cdot \mu \left(\frac{dV}{dY} \right) dA \quad 4.34$$

sustituyendo la Ecuación 4.34 en 4.32

$$dX = U \frac{\mu}{\cos \theta} \left(\frac{dV}{dY} \right) dA \quad 4.35$$

Ahora se deberá sustituir el valor de (dV/dY) y dA , usando la ecuación de perfil de velocidad

$$v = \frac{VY}{h} + \frac{(Y^2 - hY)}{2\mu} \left(\frac{dP}{dl} \right)$$

se deduce

$$\frac{dV}{dY} = \frac{V}{h} + \frac{2Y - h}{2\mu} \left(\frac{dP}{dl} \right)$$

y cuando $Y=h$

$$\frac{dV}{dY} = \frac{V}{h} + \frac{h}{2\mu} \left(\frac{dP}{dl} \right) \quad 4.36$$

la Ecuación 4.36 es el valor que deberá sustituirse en 4.35

Para el área se tiene

$$dA = \pi dl = \pi D \cos \theta dl \quad 4.37$$

sustituyendo 4.36 y 4.37 en 4.35 se obtiene la Ecuación 4.38

$$dX = U \frac{\mu}{\cos \theta} \left[\frac{V}{h} + \frac{h}{2\mu} \left(\frac{dP}{dl} \right) \right] \pi D \cos \theta dl = \frac{UV\pi D \cos \theta}{h \cos \theta} dl + \frac{\pi D U h \cos \theta}{2 \cos \theta} \frac{dP}{dl} \quad 4.38$$

Donde el primer termino indica la potencia consumida por los esfuerzos de corte en el canal del tornillo, y el segundo indica

la potencia para mantener la presión del material en el canal.

Para relacionar la expresión de potencia con el flujo del material es conveniente transformar la ecuación en función de la longitud del tornillo y de las velocidades, según las ecuaciones:

$$U = \frac{V}{\cos \theta}$$

$$V = \pi D N \cos \theta$$

$$dl = \frac{sc \theta}{d\lambda}$$

donde λ es la longitud axial del tornillo, así la ecuación se transforma en

$$\begin{aligned} dZ &= \left(\frac{V^2}{\cos^2} \frac{\pi D s \sin \theta}{h \cos \theta} \frac{d\lambda}{\sin \theta} + \frac{\pi \frac{DV}{\cos \theta} h \sin \theta}{2 \cos \theta} dP \right. \\ &= \frac{\pi D s^2 D^2 N^2 \cos^2 \theta s \sin \theta}{h \sin \theta \cos^2} d\lambda + \frac{\pi D s \pi \cos \theta h \sin \theta}{2 \cos^2} dP \\ &\quad \left. - \frac{\pi^2 D^3 N^2 s}{h} d\lambda + \frac{\pi^2 D^2 h \sin \theta \cos \theta}{2 \cos^2} dP \right) \end{aligned} \quad 4.39$$

y si

$$P_{\text{arrastre}} = \frac{\pi^2 D^3 N s}{2} \sin \theta \cos \theta \quad 4.40$$

Ahora bien para encontrar la potencia total consumida por la máquina es preciso tener en cuenta la potencia disipada por fricción en la

película del material que se escapa sobre el borde de la paleta y del barril en el claro la cual se denota con dZ_1 . Consecuentemente la potencia total será

$$dz = dz_1 + dz_2$$

4.41

y en forma análoga a la anterior se obtiene

$$dz_2 = \frac{\pi D^2 N^2 \mu \omega}{8 \tan \theta} dA \quad 4.42$$

sustituyendo 4.41 en 4.40

$$dz = \frac{\pi^2 D^2 N^2 \mu}{h} dA + \frac{QI}{\cos^2 \theta} dP + \frac{\pi^2 D^2 N^2 \mu \omega}{8 \tan \theta} dA \quad 4.42$$

e integrando

$$z = \frac{\pi^2 D^2 N^2 \mu L}{h} + \frac{QI}{\cos^2 \theta} dP + \frac{\pi^2 D^2 N^2 \mu \omega}{8 \tan \theta} \quad 4.43$$

Esta ecuación, sin embargo, es solo aplicable al caso límite de un polímero fundido que se comporta como fluido Newtoniano y solo proporciona una aproximación en la zona de plastificación del extrusor. Sin embargo, esta ecuación es de utilidad para estudiar el efecto que tienen las dimensiones del tornillo sobre la potencia necesaria en la máquina, del mismo modo se puede estudiar el efecto de la presión sobre la potencia que es preciso suministrar.

Cuando la máquina se hace funcionar sin ninguna restricción para la salida del material, es decir sin boquilla o matriz, ni plato restrictor, delta-p se hace cero y el segundo término de la Ecuación 4.43 desaparece.

Si se coloca en la cabeza del extrusor una boquilla, o se adapta en la máquina un plato restrictor, aparece un gradiente de presión a lo largo del tornillo y aumenta el consumo de la potencia necesaria, en la Ecuación 4.43 se puede observar que este aumento es proporcional a delta-p. Prácticamente resulta que el último término de la ecuación es el más grande, por lo que una

pequeña variación en la holgura entre el tornillo y el barril tiene como resultado un aumento considerable en la potencia requerida para la extrusión, así al disminuir la distancia entre el tornillo y el barril aumenta la potencia necesaria para mover el tornillo. Del primer termino se deduce que cuanto mayor es la profundidad en el tornillo, menor es la potencia necesaria para mover el tornillo, esto significa que un tornillo con alta relación de compresión necesitará una máquina con más potencia que un tornillo análogo, pero con una relación de compresión baja. La Ecuación 4.43 también sirve para estudiar el efecto de las dimensiones del cilindro sobre la potencia necesaria. El primer término es proporcional a el cubo del diámetro del tornillo, de modo que se puede deducir de aquí una regla teórica aproximada, útil para seleccionar motores que puedan acoplarse a extrusores de distintos tamaños; según esto la potencia del motor elegido deberá ser proporcional a el cubo del diámetro del tornillo si las otras dimensiones se han variado de acuerdo a lo indicado en la Ecuación 4.43.

4.2.6 EXTRUSIÓN ADIABÁTICA.

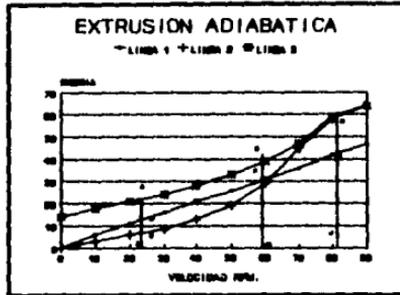
En los párrafos anteriores se a insistido en exponer los dos mecanismos que contribuyen a aportar energía a el material durante el proceso de extrusión en forma de calor y energía mecánica. Se comprende según esto que es posible que el tornillo pueda ser empleado como elemento de calentamiento, aportando energía mecánica al proceso, si se dispone de la potencia suficiente en el tornillo es posible elevar la temperatura del material hasta conseguir las condiciones para una extrusión satisfactoria, empleando solo el trabajo desarrollado por el tornillo, sin aportación externa de calor. Una máquina que trabaja bajo las condiciones anteriormente descritas realiza un proceso que en la teoría de extrusión es conocido como extrusión adiabática, aunque esta expresión no es

conocido como extrusión adiabática, aunque esta expresión no es la más correcta ya que existe disipación de calor, por esto, quizá el término más apropiado sea el de extrusión autotérmica.

En cuanto a las características del material necesarias para procesarlo adiabáticamente es necesario que su temperatura de reblandecimiento esté razonablemente alejada de su temperatura de flujo, es decir que la zona de temperaturas en las que se inicia el reblandecimiento y termina la fusión sea razonablemente amplia, de modo que se pueda suministrar energía a el material mediante esfuerzos de cizalla y fricción mientras se halla en esta zona de transición.

En general las ventajas que se señalan para el proceso de extrusión adiabática son la mayor eficiencia térmica del extrusor, el calentamiento más uniforme del material, una plastificación más homogénea, la eliminación de gradientes de temperatura peligrosos y como consecuencia de todo lo anterior se obtiene un producto extruido de mayor calidad. En la Gráfica 4.1 se representa el proceso general de un proceso de energía vs velocidad del tornillo.

En esta gráfica la curva 1 representa la energía que sale del sistema con el polímero fundido, evidentemente cuando $N=0$ no sale material extruido, por lo que esta curva debe de partir del origen de coordenadas. La curva 2 representa la energía aportada por el tornillo, a bajas velocidades esta energía es menor que la energía total que sale con el polímero, pues este se calienta en parte con los elementos externos de calefacción. La curva 3 representa la energía total que sale del sistema que es suma de la energía que sale en el extrudado, más la pérdida por radiación, más la energía que pueda salir por elementos de refrigeración del tornillo, etc.



GRAFICA 4.1

El balance energético del sistema exige que se cumpla:

$$\begin{array}{l}
 \text{energía apor-} \\
 \text{tada por el} \\
 \text{tornillo}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 \text{energía que} \\
 \text{sale con el} \\
 \text{polímero}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 \text{energía per-} \\
 \text{dida (radia-} \\
 \text{ción, refri-} \\
 \text{geración, etc.)}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 \text{energía de} \\
 \text{los elemen-} \\
 \text{tos de cale-} \\
 \text{facción.}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{l}
 \text{energía que} \\
 \text{sale del} \\
 \text{sistema}
 \end{array}$$

Cuando el tornillo no gira $N=0$ los elementos de calentamiento externos pueden aportar cierta cantidad de energía que, si el sistema se mantiene a temperatura constante, debe salir como pérdida de energía (radiación, convección). En la Figura si el tornillo gira a N revoluciones por minuto la línea (A-B-C-D) significa:

AD= energía total que sale del sistema.

CD= energía aportada por el tornillo.

AC= energía aportada por los elementos externos de

calefacción.

BD= energía que sale con el polímero fundido.

AB= pérdidas de energía.

AD= AB+BD

La energía que sale en la corriente del polímero extruido es en parte aportada por el tornillo (CD) y en parte por los elementos de calefacción (BC). Al aumentar la velocidad de giro del tornillo a N, se alcanzan condiciones en las que toda la energía que sale con el polímero (FG) es aportada por el tornillo; los elementos de calefacción proporcionan solamente la energía necesaria (EF) para compensar lo que podemos considerar pérdidas de energía. Al aumentar aun más el número de revoluciones a N, se alcanza una situación en que toda la energía es aportada por el tornillo (HJ); en estas condiciones se pueden desconectar los elementos de calefacción y el sistema sigue funcionando y extruyendo material con una producción constante si no varían los demás factores de proceso. A velocidades mayores o iguales a N, el sistema trava en condiciones adiabáticas.

4.2.7 BALANCE ENERGETICO DEL EXTRUSOR.

Se puede considerar un extrusor termodinámicamente como un sistema abierto con un medio de trabajo que experimenta cambios de fase, en particular de sólido a plástico fluido.

Como ya se ha mencionado en este capítulo la potencia necesaria para el proceso se obtiene por medios mecánicos y por calefacción o ambos.

Esta energía se utiliza en los canales del tornillo y en la boquilla o dado, además hay un calor que se pierde por radiación, convección y conducción, hacia las otras partes de la máquina en particular a la tolva, cilindro y boquilla. Estas pérdidas de calor se aumentan frecuentemente debido a que se refrigera la

tolva, el cilindro y ocasionalmente el tornillo. La energía restante se disipa al enfriar el extrudado a la temperatura ambiente.

Las pérdidas por fricción en engranes, cojinetes, etc., varían mucho, por lo cual no son fáciles de estimar y pueden despreciarse en una primera aproximación.

El balance de energía térmica y mecánica para la máquina de extrusión de un solo tornillo, puede escribirse como sigue:

$$P + \dot{M}T = Q(\Delta T) + C\dot{V} + Q_p \quad 4.44$$

siendo Q el flujo volumétrico de polímero por unidad de tiempo.

4.3 DISEÑO DE LA BOQUILLA O DADO DE EXTRUSIÓN.

4.3.1 GENERALIDADES

La función del dado de extrusión es darle forma a el material suministrado por el tornillo de extrusión, de acuerdo a la sección recta requerida. Por tanto el dado es un canal cuyo perfil cambia, desde el orificio de la extrusora hasta el orificio de salida que produce la forma requerida.

Los dados están constituidos por una sección de conductos cilíndrico, anulares o rectangulares cuyas dimensiones geométricas pueden variar en la dirección del flujo del polímero fundido. Frecuentemente los dados llevan incorporados sistemas de calefacción o refrigeración para mantener su temperatura lo más uniforme posible.

Con objeto de predecir el comportamiento de un termoplástico en un canal como éste, se requiere conocer la viscosidad del material fundido en el margen requerido de velocidad de esfuerzo cortante y temperatura y posteriormente relacionar esta

viscosidad con el flujo del material bajo presión, a través de las diferentes secciones de las que se compone el canal.

Después, puesto que las caídas de presión son aditivas, se puede calcular la caída de presión total y la descarga a través de todo el dado.

4.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES. FLUJO NEWTONIANO Y NO NEWTONIANO.

El flujo de un fluido Newtoniano a través de un tubo de sección recta circular, esta dado por la ecuación de Poiseuille como sigue:

$$v = \frac{dP}{dX} \frac{R^2 - r^2}{4\mu} \quad 4.44$$

donde

R= radio exterior

r= radio interior

y de la ecuación anterior se puede ver que la velocidad es proporcional a r^2 y que el perfil de velocidades a través del tubo es un paraboloide de revolución (Figura 4.6).

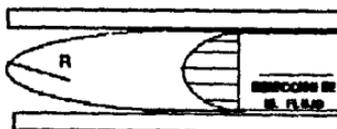


FIGURA 4.6

Sin embargo, los termoplásticos fundidos en general no se presentan como fluidos Newtonianos, de tal manera que las

formulas requeridas para describir el flujo de estos materiales en un dado de extrusión son más complejas que la simple expresión de Poiseuille anotada anteriormente.

En la figura 4.7 se muestran los perfiles de velocidad para fluidos newtonianos y no newtonianos y fácilmente se puede ver la considerable diferencia que hay entre estos dos tipos de flujo.

En especial, se puede notar que el gradiente de velocidad en las paredes del flujo en donde la velocidad de esfuerzo cortante es mayor es más inclinado en el caso de los termoplásticos fundidos no newtonianos que con un fluido newtoniano verdadero. Nuevamente es evidente que el comportamiento de los termoplásticos fundidos se desvía del flujo newtoniano conforme aumenta la velocidad de esfuerzo cortante.

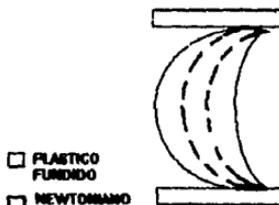


FIGURA 4.6

Puesto que las velocidades de esfuerzo cortante que se encuentran en la mayoría de los dados de extrusión de sección gruesa son bastante bajas, trabajando bajo condiciones normales, se concluye que la expresión clásica de flujo, relativamente simple, aún se puede usar en muchos cálculos interesantes para el dado de extrusión.

FRACTURA DEL MATERIAL.

Algunas veces cuando se opera una máquina de extrusión ocurre que el material extruido sale con una apariencia irregular cuya causa no puede ser otra que el rompimiento físico del material o fractura del material fundido. Este fenómeno ocurre cuando la tensión de esfuerzo cortante del material fundido excede su resistencia a dicho esfuerzo, como sucede por ejemplo en un dado de extrusión con una reducción sustancial en el ancho del canal que provoca un aumento súbito en la velocidad de esfuerzo cortante. Investigaciones de Tordella, mostraron que la fractura ocurre en un punto de presión crítica que varía con la viscosidad del material fundido, la presión del dado y el diseño o geometría del mismo.

4.3.3 DADOS TÍPICO DE EXTRUSIÓN.

Los dados de extrusión se pueden unir a la máquina de extrusión en tres formas diferentes dependiendo de los requisitos del proceso completo de extrusión del cual forma parte. Estos tres sistemas se conocen como paso directo, cabeza cruzada y cabeza descentrada respectivamente, dependiendo de la dirección de extrusión resultante y del despegue relativo a la dirección de alimentación del material fundido desde la máquina de extrusión. Estos tipos de dado se ilustran en la figura 4.7

Los dados de paso directo son, como su nombre lo indica, aquellos cuyos ejes están alineados con la dirección de suministro de material. Es necesario indicar que esto no significa por fuerza que se encuentren directamente en línea con el eje de la máquina, ya que en algunos sistemas de extrusión un dado de paso directo se encuentra unido a un canal curvo de

alimentación para cambiar la dirección de despegue.

Los dados de paso directo normalmente se usan para la extrusión de tubo, barra, perfiles y lámina y por medio de un alimentador curvo se usan para película plana y tubular.

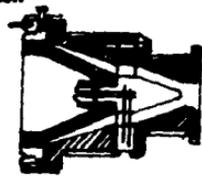
Los dados de cabeza cruzada tienen sus ejes en un ángulo con relación al suministro de material, que normalmente es de 90°, aunque también se usan ángulos de 45 y 30°. Los dados de esta forma se usan generalmente para la producción de cables y alambres aislados o en otros procesos en donde es necesario introducir un filamento continuo u otro medio para ser cubierto en el mandril del dado. Una ventaja sobresaliente en el montaje del dado de cabeza cruzada es que por este medio es posible el tener fácil acceso al extremo de entrada del mandril del dado, de tal manera que cualquier manipulación, se efectúe fácilmente.

Los dados de cabeza descentrada se han desarrollado partir de los dados de cabeza cruzada para combinar las ventajas de esta alimentación lateral con las del sistema de paso directo. En este arreglo se hace que el material cambie de dirección dos veces, en un intento para compensar, hasta donde sea posible, la falta de balance que resulta de un solo cambio de dirección, como ocurre en la cabeza cruzada normal. En esta forma el dado de extrusión normalmente se encuentra en línea con la máquina aunque no es esencial. Los dados descentrados son populares en la fabricación de tubo.

Aunque los sistemas para unir los dados a las máquinas de extrusión se clasificaron anteriormente en tres categorías claras, cada una de las cuales es presumiblemente adecuada para un tipo general de extrusión se debe indicar que esto no es estrictamente cierto, existiendo diferentes combinaciones. De hecho, ya que los términos paso directo, cabeza cruzada y cabeza descentrada se refieren únicamente a la disposición angular del cuerpo del dado con relación a la posición de alimentación, es

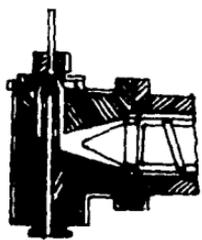
DADOS DE EXTRUSION

- a- PASO DIRECTO
- b- CABEZA CRUZADA
- c- CABEZA DESCENTRADA

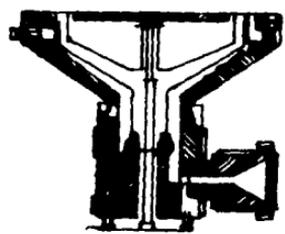


a

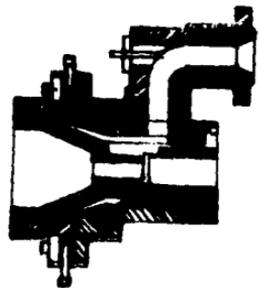
FIG 4



b



c



d

evidente que cualquiera de los tres métodos se puede adaptar a la producción de cualquier tipo de material extruido.

DADO PARA PERFILES.

Los dados para perfiles con frecuencia consisten únicamente de la porción de alimentación o adaptador que se encuentra unida a la máquina de extrusión y una placa intercambiable en el dado en el que se corta el perfil y se combina en la entrada para que coincida con la salida de la porción de alimentación.

Los dados para la extrusión de perfiles se pueden considerar como dados para tubo en los que se han suprimido los mandriles y las estrellas y en los que se dejan porciones paralelas de longitud suficiente para desarrollar la contrapresión requerida.

Debido a la fricción sobre la superficie del material que pasa a través del dado y debido también a la naturaleza parabólica del perfil de velocidades de flujo, existe una marcada tendencia a tener un flujo mayor en las partes más gruesas del perfil del dado que en las partes más delgadas. Por lo tanto, al orificio del dado se le debe dar una forma especial para contrarrestar esta tendencia y su forma rara vez es similar a la de la extrusión que se obtiene del mismo.

4.3.4 ECUACIONES DE DISEÑO.

Para poder llevar a cabo el diseño de un dado de extrusión se requiere el conocimiento de la caída de presión a lo largo del dado, el esfuerzo cortante y el tiempo de residencia.

La relación entre el flujo volumétrico y la caída de presión del fundido en el dado se puede expresar como;

$$Q = G \cdot K^n \cdot \Delta P^n \quad 4.45$$

donde:

Q= flujo volumétrico

K= constante del dado

delta-p= diferencia de presión

G y n = son constantes de la ley de potencias

y despejando de esta ecuación se tiene para la caída de presión

$$\Delta P = \frac{Q^{1/n}}{G^{1/n} \cdot K} \quad 4.46$$

Efecto de la geometría del dado en la caída de presión.- En la ecuación anterior la constante K es dependiente de la geometría del dado. Así la sección transversal de un dado es representada por un círculo, una rendija o un anulo en la mayoría de los casos, K para las formas mencionadas anteriormente toma los siguientes valores:

$$K_{\text{circulo}} = \frac{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot R^{(3/n+1)}}{2L} \quad 4.47$$

donde R= Radio

L= Longitud

$$K_{\text{ranura}} = \frac{H^{3/n} \cdot W^{2/n+1}}{6 \cdot 2L} \quad 4.48$$

donde H = altura

W = anchura

La constante para el anulo se calcula con

H= R_o-R_i

W= $\frac{2}{3} (R_o + R_i)$

donde R_o es el radio exterior y R_i es el radio interior, así:

$$K_{anulo} = \frac{\pi^{1/n}}{6} \cdot \frac{(R_o + R_i)^{1/n} \cdot (R_o - R_i)^{2/n+1}}{2L} \quad 4.49$$

En el caso de canales con forma geométrica diferente a los mencionados anteriormente el radio equivalente puede definirse

$$R_{eq} = \sqrt{\frac{A_g}{\pi}} \quad 4.50$$

donde A_g es el área de sección transversal.

En cuanto a el esfuerzo cortante, este se puede calcular para las diferentes formas mencionadas anteriormente usando las ecuaciones expuestas por Procter.

$$\tau_{circulo} = \frac{4Q}{\pi R^3} \quad 4.50$$

$$\tau_{anulo} = \frac{6Q}{\pi (R_o + R_i) (R_o - R_i)^2} \quad 4.51$$

$$\tau_{canura} = \frac{6Q}{\pi H^2} \quad 4.52$$

4.4 SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

4.4.1 GENERALIDADES.

Uno de los aspectos más importantes del modelado teórico es su capacidad para simular experimentos aún sin disponer de los datos experimentales. Estas simulaciones no solo permiten una

mejor comprensión del proceso, si no que proveen información para mejorar el diseño del equipo, seleccionar las condiciones de operación, y permitir la separación de las variables para la investigación del efecto de cada una manteniendo las otras constantes, constituyendo así una ventaja significativa, ya que esta separación de variables en la practica experimental es frecuentemente imposible de realizar.

En el proceso de extrusión se llevan a cabo diferentes operaciones como lo son la transferencia de calor y el flujo de fluidos. Estas operaciones se encuentran interrelacionadas con el proceso de plastificación que se lleva a cabo dentro del extrusor (tornillo y dado).

La plastificación de los materiales es una función de:

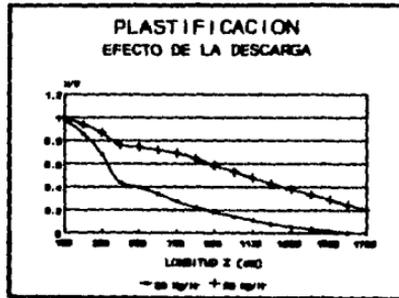
- 1.-La descarga del extrusor.
- 2.-La velocidad de rotación del tornillo.
- 3.-La Temperatura del barril.

Es por esta razón que se llevo acabo una simulación para establecer la relación existente entre las variables mencionadas anteriormente y el proceso de plastificación dentro de una máquina de extrusión con tornillo. Para lo anterior se hizo uso de una computadora personal con un microprocesador 386SX y una configuración estándar de 4MB de RAM.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al llevar a cabo la simulación:

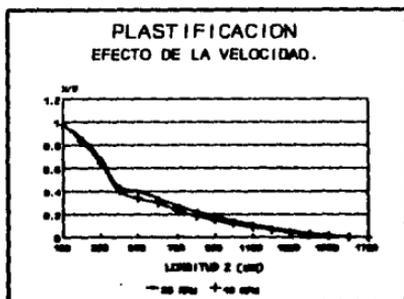
4.4.2 SIMULACIÓN DE LA PLASTIFICACIÓN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

Efecto de la capacidad de descarga del tornillo.- La simulación muestra que tanto el perfil de sólidos como el perfil de presión son fuertemente afectados por el flujo másico, manteniendo las otras variables constantes, invariablemente se aumenta la longitud para la fusión, lo que puede significar en la obtención de un extrudado menos homogéneo, o una fusión incompleta en el final del tornillo.



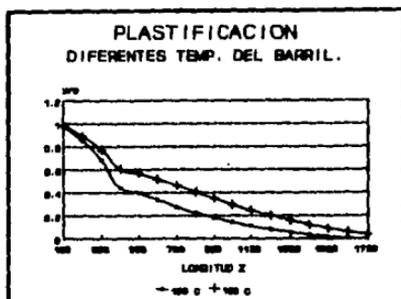
GRAFICA 4.2

Efecto de la rapidez rotacional del tornillo.-Mientras que el efecto del flujo másico es rigurosamente lineal, el de la rapidez rotacional del tornillo es más complejo. Un aumento en la rapidez del tornillo aumenta la cantidad de calor generado por disipación viscosa en la película, así el efecto disminuye la longitud requerida para la fusión.



GRAFICA 4.3

Efecto de la temperatura del barril.-Una temperatura en el barril elevada, incrementa la transferencia de calor hacia el polímero, sin embargo, esta temperatura también resulta en un aumento en la temperatura de película, la dependencia de la viscosidad origina que a una temperatura mayor, la viscosidad se reduzca, reduciendo la cantidad de calor generado por disipación viscosa y por lo tanto tiende a disminuir la rapidez de fusión.



GRAFICA 4.4

4.4.3 COMPORTAMIENTO GLOBAL DEL EXTRUSOR.

Una vez determinados los diferentes efectos de las variables en el tornillo es posible simular su comportamiento en el extrusor a fin de obtener la curva que lo caracteriza.

Las gráficas mostradas a continuación permiten visualizar las características de un tornillo así como los efectos de las variables de operación en la productividad.

La visualización de estas curvas esta fundamentada en la ecuación de descarga:

$$Q = \alpha N - \frac{\beta}{\mu} \left(\frac{Q}{L} \right) \quad 4.53$$

en donde α y β/μ son constantes.

Esta es la ecuación de una línea recta con una pendiente negativa, y si se traza una gráfica de la descarga en función de la presión para varios valores de N (la velocidad del tornillo), se obtiene una serie de líneas paralelas, a las cuales se les

llama características del tornillo, y muestran la relación entre la presión generada a el final del tornillo y las revoluciones por minuto del gusano.

La pendiente de estas líneas esta dada por los términos para los flujos por presión y flujo de fuga en donde:

$$\frac{\beta}{\mu} = \left[\frac{\pi D b^3 \sin^3 \theta}{12 \mu L} + \frac{\pi^2 D^2 b^3 \tan \theta}{12 \mu e L} \right] \quad 4.54$$

La segunda mitad de este término, que resulta del flujo de fuga, es muy pequeña, debido a la dimensión de delta, lo cual hace tan pequeños a los términos que se pueden ignorar sin afectar materialmente el valor de la pendiente:

$$\frac{\beta}{\mu} = \left[\frac{\pi D b^3 \sin^3 \theta}{12 \mu L} \right] \quad 4.55$$

En esta forma, la inclinación de la característica del gusano depende del cubo del ancho de la paleta del gusano, y del cuadrado del seno del ángulo de la hélice, y es inversamente proporcional a la longitud efectiva del gusano. Por lo tanto una alteración del ancho de la paleta tendrá un efecto considerable sobre la pendiente, puesto que dicha alteración estará elevada a el cubo.

Por otro lado, es posible determinar una curva de este tipo (Q vs. P) para el dado. De modo que la superposición de ambas curvas permita establecer el comportamiento del sistema en un punto de intersección.

Debe aclararse que aunque es interesante el calcular el flujo aproximado a través de un dado de extrusión usando el programa mostrado en la Figura A-5 del Apéndice A, la utilidad de este se reduce únicamente a valores comparativos.

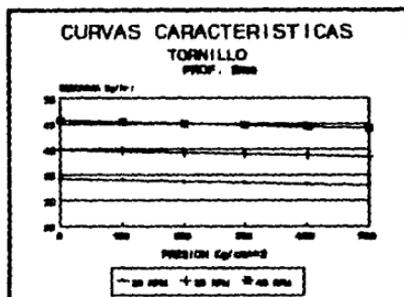
Normalmente existen demasiados imponderables que se deben de tomar en cuenta para el calculo preciso de las dimensiones del

dado a partir de consideraciones teóricas y en la mayoría de los casos, la experiencia práctica debe ser la guía, cuando menos en los primeros pasos del diseño.

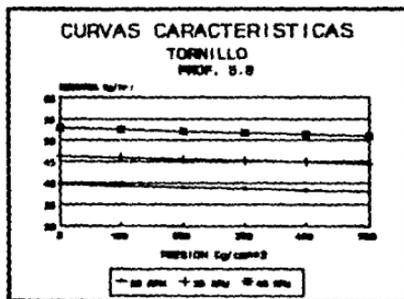
Es evidente que en un perfil complejo que consista de diferentes espesores, esquinas y ángulos, presenta un mayor grado de dificultad en su diseño, y sería imposible de diseñar a partir de la teoría de flujo. El método común es producir la placa del perfil sin terminar y llegar al perfil correcto por aproximaciones sucesivas. Otro método es fundir la forma del dado en una aleación suave adecuada, usando una matriz de yeso de la sección sólida requerida. Esta fundición se mantiene en un soporte adecuado y se usa como base en las pruebas de extrusión. El metal suave se puede limar fácilmente si se requieren ajustes en la forma del dado. Así el dado suave ya terminado puede ser usado para una corrida de producción corta o bien puede ser reproducido en acero si la corrida de producción es larga.

El dado utilizado para la producción del perfil se muestra en la Figura 4.9 y consiste únicamente de una porción de alimentación (1) o adaptador que se encuentra unido a la máquina de extrusión y una placa intercambiable en el dado (2), el cual corta el perfil y se combina en la entrada para que coincida con la salida de la porción de alimentación.

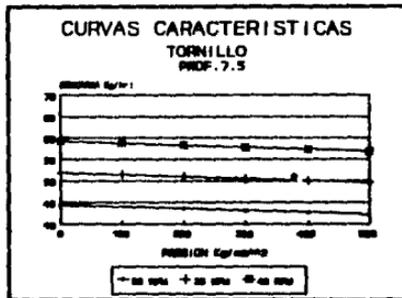
En las gráficas siguientes se muestran los datos obtenidos al simular el proceso de extrusión para el PVC, haciendo uso de los programas mostrados en el "Apendice A".



GRAFICA 4.5



GRAFICA 4.6



GRAFICA 4.7

En estas gráficas se puede observar que a una mayor profundidad del tornillo se obtiene mayor productividad y que al incrementarse la velocidad del tornillo aumenta la productividad y la presión, por lo tanto se pueden utilizar estas variables para ajustar la productividad y la presión de un tornillo, sin embargo, esta variable se encuentra limitada por las características del material. Para el PVC es permitido como máximo 40 RPM, para evitar problemas de degradación.

Basados en las gráficas anteriores y en corridas de prueba se pudo determinar las características del tornillo de extrusión las cuales son:

Profundidad de canal zona de alimentación	11.0 mm.
Profundidad de canal zona de transición	7.50 mm.
Profundidad de canal zona de dosificación	6.00 mm.
Pitch	74.00 mm.
Claro	1.00 mm.
Longitud	1790.00 mm.

Número de canales	2.00
Relación de compresión	3:1

Material	Acero al carbón, templado a la llama oxiacetilénica hasta una dureza Rockwell C-62
----------	--

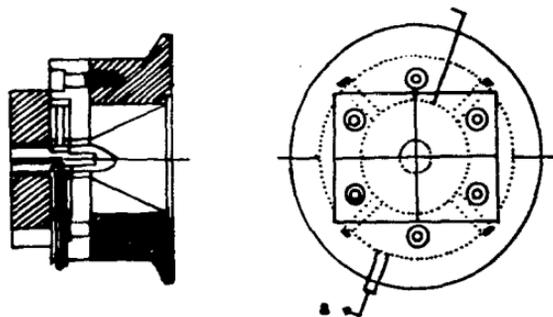


FIG 49

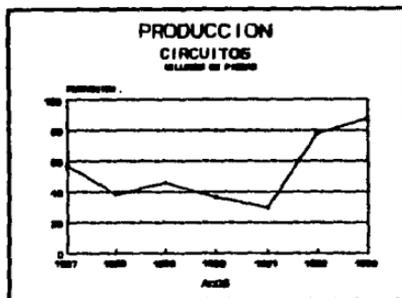
DADO PARA PERFIL
ANTIESTATICO

CAPITULO V

EVALUACION TECNICO ECONOMICA

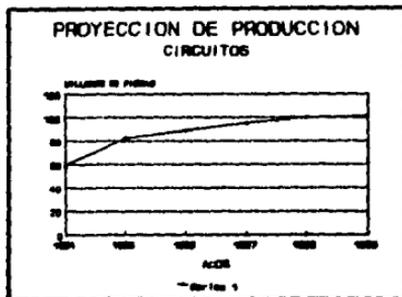
5.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA.

La demanda del producto en cuestión se encuentra determinada por la fabricación de microcomponentes electrónico, la cual ha tenido un crecimiento constante, como se puede observar en la Gráfica 5.1 .



GRAFICA 5.1

En relación a el cálculo cuantitativo de la evolución futura de la demanda, se han aplicado series estadísticas básicas, específicamente mediante el método de regresión lineal múltiple, que de acuerdo con el comportamiento histórico considerado permite calcular las evoluciones posibles del uso del producto en cuestión en un periodo de cinco años. La variables consideradas para la obtención de la tendencia histórica de la demanda son: años, datos históricos demandados y dos factores de decisión como tercer variable (Tasa de inflación, producto interno bruto). Los resultados se presentan en la Gráfica 5.2 .



GRAFICA 5.2

En principio se pretende el cubrir los requerimientos de una sola maquiladora de microcomponentes electrónicos, la cual requiere entre 100 000 y 500 000 piezas.

5.2 ANÁLISIS DE LA OFERTA.

Como se menciono anteriormente la fabricación de un perfil antiestático es clasificado como una especialidad, la cual es producida en México por Grupo Primex S.A de C.V. cubriendo solo un porcentaje mínimo de la demanda de este producto, por lo que la oferta se rige principalmente por las importaciones.

Los principales consumidores son las empresas maquiladoras distribuidas en México. Para efectos de desarrollo de este trabajo se ha considerado como primer consumidor a la empresa Dielectricos de México S.A de C.V, la cual se encuentra localizada en la capital mexicana.

5.3 DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA

Análisis de suministros e insumos.- los materiales usados en la fabricación del perfil antiestático son aquellos que se emplean directamente en el proceso productivo del plástico de PVC como los son resina, estabilizadores, modificadores de impacto y modificadores de viscosidad entre otros.

En cuanto a la disponibilidad de estos materiales, el agente antiestático no es fabricado en México por lo que es necesario el importarlo de Alemania. Por lo que toca a los otros materiales son de fabricación nacional.

Como consecuencia de lo anterior es necesario el mencionar los principales centros de producción que cuentan con el equipo requerido para la producción de la materia prima requerida para la fabricación del perfil;

RESINA:

Altarezin, S.A. de C.V.
Grupo Primex, S.A de C.V.
Policyd S.A. de C.V.
Polímeros de México S.A. de C.V.

ESTABILIZADORES:

Aceites polimerizados, S.A de C.V.
Argus Química Mexicana, S.A. de C.V.
Ciba-Geigy Mexicana, S.A. de C.V.
Complementos Químicos, S.A de C.V.
Derivados Metal Orgánicos, S.A de C.V.
Especialidades Industriales y Químicas, S.A de C.V.
Ferro Mexicana, S.A de C.V.
Hexaquimia, S.A de C.V.
Nil, S.A. de C.V.
Resinas y Materiales, S.A. de C.V.

LUBRICANTES:

Argus Química Mexicana, S.A. de C.V.
Derivados Metal Orgánicos, S.A. de C.V.
Ferro Mexicana, S.A. de C.V.
Gardhal, S.A. de C.V.
Indepol, S.A. de C.V.
Nil, S.A. de C.V.
Química Henkel, S.A. de C.V.
Química Hoechst de México, S.A. de C.V.

AYUDAS DE PROCESO:

Gonzales Cano y Cía, S.A. de C.V.
Industrias Resistol, S.A.
Rohm and Hass de México, S.A. de C.V.

ABSORVEDORES DE U.V.

Argus Química Mexicana, S.A. de C.V.
Ciba-Geigy Mexicana, S.A. de C.V.
Cyanamid de México, S.A. de C.V.

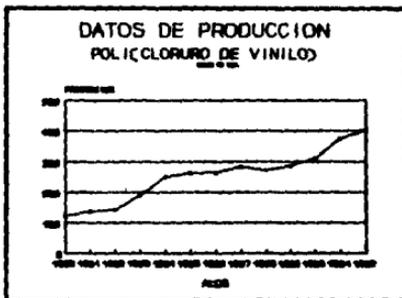
MODIFICADORES DE IMPACTO:

Gonzales Cano y Cía, S.A. de C.V.
Industrias Resistol, S.A.
Kaneka Americana Co.
Rhom and Hass de México, S.A. de C.V.

En relación a la importación del agente antiestático se realiza por medio de la empresa Barlocher Mexicana S.A. de C.V. con un mes de anticipación.

Asimismo como la producción de estos aditivos se encuentra condicionados a la fabricación y uso de las resinas plásticas se

ha realizado un análisis de mercado para la resina de Poli(cloruro de vinilo) el cual se muestra en las Gráficas 5.3 a 5.8.



GRAFICA 5.3

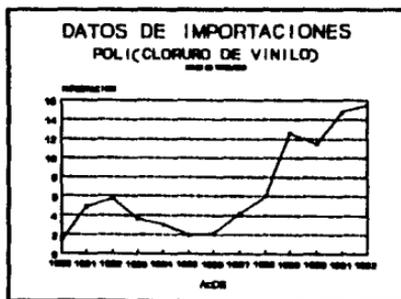
La gráfica 5.3 muestra la producción de la resina de PVC. Este comportamiento muestra un crecimiento constante a lo largo de los años. Este crecimiento se debe principalmente a la entrada en operación de nuevas plantas productoras de PVC en el puerto industrial de Altamira, Tamps.

En cuanto al comercio exterior es notable el incremento de las exportaciones de PVC a partir de 1982, consecuencia directa de la contracción de el mercado nacional y de los incrementos de la capacidad instalada.



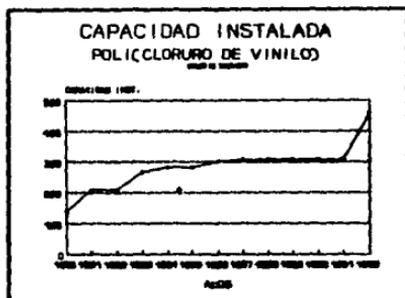
GRAFICA 5.4

En cuanto a las importaciones de PVC normalmente se refieren a especialidades no fabricadas en México. Cabe señalar el hecho de que la resina mexicana de PVC tiene gran aceptación, tanto por calidad como por servicio.



GRAFICA 5.5

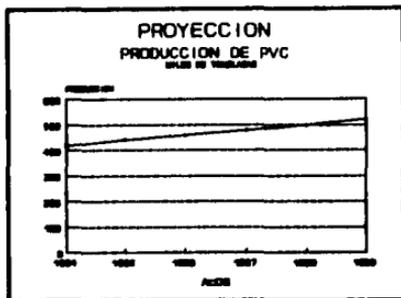
Como se explico anteriormente la capacidad instalada de la resina de PVC se ha incrementado.



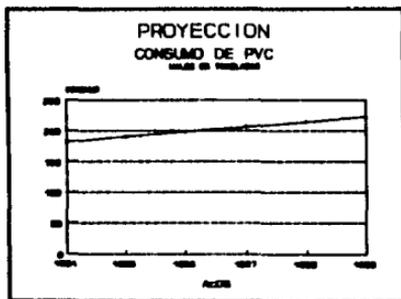
GRAFICA 5.6

En cuanto a las perspectivas del PVC a nivel internacional y nacional, bastaría enmarcar que la tecnología de los plásticos ha alcanzado año tras año la una importancia cada vez mayor en la vida del hombre. Aquí es necesario destacar que el PVC dentro del grupo de los materiales plásticos guarda una gran importancia, en términos de consumo.

En el mercado nacional la industria de PVC tiene una gran perspectiva de desarrollo para los próximos años. La existencia de bastos recursos petroleros en México el volumen de inversión de capacidad instalada, la repercusión de la demanda y el ingreso de la resina mexicana en el comercio mundial son elementos que en conjunto presentan un panorama halagador en el futuro. Lo anterior puede ser observado en las siguientes gráficas:



GRAFICA 5.8



GRAFICA 5.9

5.4 TAMAÑO DE LA PLANTA.

En función del mercado actual y futuro de microcomponentes electrónicos es conveniente aclarar que los cálculos sobre el futuro desarrollo de la empresa son sumamente satisfactorios, ya que en principio se cubrirá una pequeña parte de la demanda, solo se cubrirá una producción de 2 880 000 piezas anuales como máximo. Sin embargo se proyectan futuras ampliaciones para la producción de este perfil antiestático en base a la penetración lograda por el producto dentro del mercado de microcomponentes electrónicos.

5.5 PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.

Técnicamente una vez concluido el período de implantación de maquinaria y transcurridas las pruebas así como la puesta en marcha, la empresa estará en condiciones de operar al máximo de su capacidad nominal de producción. Es decir aparentemente no existirán restricciones de tipo técnico para poder aprovechar desde el principio toda la capacidad de diseño de la planta.

No obstante, en la práctica el aprovechamiento de la capacidad de producción instalada se incrementará paulatinamente.

5.6 ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.

Para la producción de perfiles de Poli(cloruro de vinilo) PVC y en general de los materiales termoplásticos se prefieren un proceso continuo con una inversión razonablemente económica, así la elección del método de producción del perfil de poli(cloruro de vinilo) antiestático se ha seleccionado mediante un análisis de eficiencia, este análisis se presenta en el Capítulo IV (métodos de procesamiento).

5.7 ADQUISICIÓN DE EQUIPO Y MAQUINARIA.

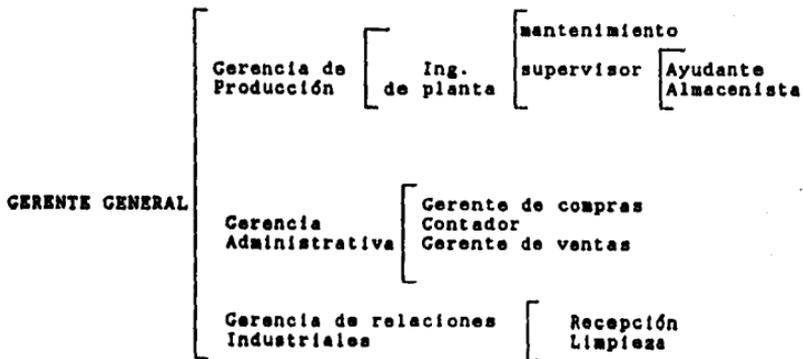
Debido a la diversificación del equipo de extrusión disponible, el problema de selección es de amplia importancia. Fundamentalmente las extrusoras son similares, sin embargo, cada una tiene ciertas ventajas sobre la competencia.

Para hacer la selección sobre la máquina requerida se tomaron en cuenta los siguientes factores:

Productividad, costo de mantenimiento, tipo de calentamiento, tipo de enfriamiento, Hp disponibles, Facilidades para la limpieza, Diseño del tornillo y Diseño del dado.

5.8 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.

La empresa se encuentra estructurada por departamentalización o especialización de funciones, por tanto responde a el sentido tradicional de jerarquía, esta organización se presenta a continuación:



5.9 ESTUDIO ECONÓMICO.

5.9.1 DETERMINACIÓN DE COSTOS.

En la práctica, el aprovechamiento de la capacidad de producción de la planta se incrementara paulatinamente, dependiendo de la penetración que tenga el producto en el mercado.

De acuerdo con lo anterior se ha previsto que la producción del proyecto durante los primeros años de operación variara entre un 60 y 100% de la capacidad instalada. Con el propósito de anticipar los resultados económicos que arrojera tal programación, se han calculado los costos de producción que estarían vigentes durante los primeros cinco años.

En este cálculo se ha considerado una tasa de inflación de 1 a 1.4 porcentual a lo largo de 5 años.

Los costos tomados en cuenta se muestran a continuación:

Costo de materia prima.- Los costos de la materia prima se han calculado en base a información directa proporcionada por las empresas productoras.

Mano de obra directa.- Se ha considerado que para el funcionamiento de la planta se requiere el siguiente personal, considerando dos turnos de 8 Hrs cada uno de 7-15 Hrs y de 15-23 Hrs:

PUESTO	SUELDO/MES	SUELDO/AÑO	NUM
INGENIERO DE PLANTA	3 000	36 000	1
SUPERVISOR	1 300	15 600	2
AYUDANTE EN GRAL.	600	7 200	4

Costo de servicios. En los servicios requeridos se encuentran agua y luz. Los requerimientos de estos servicios son principalmente para usos generales ya que su uso en la fabricación del perfil se encuentra muy limitado. Se ha estimado un pago bimestral de \$1 000 de electricidad y de \$1680 de agua.

Costo de mantenimiento. En este punto el principal problema que se presenta es la constante reducción de gasto y la variación de flujo en las máquinas de extrusión, causado por el desgaste natural del tornillo, problema que tiene una repercusión directa en los costos de producción. Usualmente al ser detectado este tipo de problema se recurre a reemplazar las piezas desgastadas, solución costosa y lenta, sin embargo, actualmente se cuenta con una alternativa menos costosa y lenta; la cual consiste en la reparación (reajuste) del tornillo y del cilindro, obteniéndose resultados idénticos a los proporcionados por la reposición por partes nuevas.

En base a lo expuesto anteriormente se ha considerado que el costo de mantenimiento de los equipos significa aproximadamente el 2% del costo total de los equipos cuando estos operan a su máxima capacidad.

Para determinar el costo total que tendrá el producto se han determinado los gastos correspondientes a la venta del producto y aquellos gastos relativos al financiamiento de la organización que se encargara de la administración y la dirección de la empresa.

Mano de obra indirecta. -Dentro de la mano de obra indirecta se ha considerado a el personal administrativo y aquel personal que no interviene directamente en la fabricación del perfil:

PUESTO	SUELDO/MES	SUELDO/ANO	NUM.
GERENTE GENERAL	12 000	144 000	1
GERENTE DE COMPRAS	2 500	30 000	1
CONTADOR	2 500	30 000	1
AGENTE DE VENTAS	3 000	36 000	1
SECRETARIA	1 200	14 400	2
ALMACENISTA	1 000	12 000	1
ACONDICIONAMIENTO	600	7 200	4
P. DE INTENDENCIA	600	7 200	1

Gastos generales.-Dentro de este punto también se tomo en cuenta aquellos gastos de oficina, con un costo de N\$ 1000 mensuales.

Costo de equipo de proceso.- En este punto se realizo un estimado de los costos de la maquinaria requerida para la elaboración del perfil obteniéndose un costo total de:

N\$ 294 000 nuevos pesos:

EQUIPO	COSTO N\$
Maquina extrusora	60 000.
Formador	12 000.
Jalador	18 000.
Cortador	2 000.
Herramental	5 000.
Compresora	1 000.

Depreciación y amortización:

CONCEPTO	COSTO	%	DEPR.	VS
Equipo y maquinaria de fabricación	294 000	10	29 400	147 000
Instalación de equipos	44 100	10	44 100	22 050
Mobiliario y equipo auxiliar	84 740	10	8 474	17 370

Una vez calculados los costos involucrados en el proyecto se procede a la determinación del estado de resultados mostrados en las tablas de evaluación económica E-1 a E-4.

**TABLA DE EVALUACION
ECONOMICA
E-1**

CONCEPTO	AÑO DE EVALUACION				
	1	2	3	4	5
FACTOR DE INFLACION	1.00	1.12	1.23	1.35	1.47
FACTOR DE PRODUCCION	0.40	0.50	0.80	0.80	1.00
CAPACIDAD	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00
COSTOS DE PRODUCCION	132,833.30	210,651.48	282,555.74	338,176.04	440,258.38
COSTOS DE MATERIA PRIMA	41,933.50	70,481.88	104,883.74	113,274.44	134,179.10
RESINA DE SUSPENSION	35,328.00	52,992.00	70,656.00	70,656.00	88,320.00
ANTIESTATICO KN	1,008.00	1,512.00	2,016.00	2,016.00	2,520.00
LOXOL G-13	129.60	194.40	259.20	259.20	324.00
LOXOL G-78	20.22	30.33	40.44	40.44	50.54
PARALOID 733	1,728.00	2,592.00	3,456.00	3,456.00	4,320.00
PARALOID K-334	432.00	648.00	864.00	864.00	1,080.00
BAROSTAB M-170	1,620.00	2,430.00	3,240.00	3,240.00	4,050.00
UVARSOB	1,687.68	2,531.52	3,375.36	3,375.36	4,219.20
COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA	88,800.00	115,440.00	150,072.00	195,093.60	253,621.68
PRESTACIONES A MANO DE OBRA D	16,640.00	34,632.00	45,021.60	58,528.08	76,086.50
COSTO DE MANO DE OBRA INDIRECTA	55,200.00	71,760.00	93,288.00	121,274.40	157,656.72
PRESTACIONES A MANO DE OBRA IN	16,560.00	21,528.00	27,966.40	36,382.32	47,297.02
COSTO DE SERVICIOS	22,080.00	24,729.60	27,600.00	29,808.00	32,457.60
AGUA	10,080.00	11,289.60	12,600.00	13,608.00	14,817.60
ELECTRICIDAD	12,000.00	13,440.00	15,000.00	16,200.00	17,640.00
COSTO DE MANTENIMIENTO	5,880.00	6,565.60	7,350.00	7,938.00	8,643.60
DEPRECIACION Y AMORTIZACION	42,284.00	42,284.00	42,284.00	42,284.00	42,284.00
VOLUMEN DE VENTAS (PIEZAS)	1,440,000.00	2,160,000.00	2,880,000.00	2,880,000.00	3,600,000.00
PRECIO UNITARIO	0.43	0.48	0.54	0.58	0.63
INGRESO POR VENTAS	619,200.00	1,040,256.00	1,548,000.00	1,671,840.00	2,275,560.00
GASTOS GENERALES	384,730.00	498,840.00	499,776.00	500,496.00	501,360.00
GASTO DE VENTAS Y DISTRIBUCION	68,720.00	88,760.00	89,176.00	89,496.00	89,880.00
GASTOS ADMINISTRATIVOS	316,000.00	410,080.00	410,600.00	411,000.00	411,480.00
UTILIDAD BRUTA	4,006.50	230,890.92	637,043.86	667,373.24	1,120,344.28
IMPUESTO SOBRE LA RENTA	1,682.73	96,974.19	267,558.42	280,380.76	470,544.60
UTILIDAD NETA	2,323.77	133,916.74	369,485.44	387,192.48	649,799.68
PLUJO NETO DE EFECTIVO	44,607.77	176,200.74	411,769.44	429,476.48	692,083.68

COSTO DE EQUIPO	194,000.00
VALOR PRESENTE NETO	137631.69

TABLA DE EVALUACION ECONOMICA E-2

CONCEPTO	AÑO DE EVALUACION				
	1	2	3	4	5
FACTOR DE INFLACION	1.00	1.13	1.35	1.35	1.47
FACTOR DE PRODUCCION	0.60	0.60	0.60	1.00	1.00
CAPACIDAD	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00
COSTO DE PRODUCCION	173,810.33	234,143.43	282,335.74	364,434.43	440,336.38
COSTO DE MATERIA PRIMA	62,930.33	85,373.43	104,885.74	141,373.43	174,178.10
RENTA DE SUBSISTEN	22,992.00	70,434.00	70,434.00	66,330.00	66,330.00
MANTENIMIENTO	1,318.00	2,018.00	2,018.00	2,330.00	2,330.00
LOGJOL G-15	194.40	239.20	239.20	334.20	334.20
LOGJOL G-78	30.33	40.44	40.44	50.34	50.34
PARALOID 733	2,392.00	3,434.00	3,434.00	4,330.00	4,330.00
PARALOID K-334	648.00	644.00	644.00	1,080.00	1,080.00
BAROSTAR M-170	2,430.00	3,340.00	3,340.00	4,090.00	4,090.00
OVANOS	2,331.32	3,373.32	3,373.34	4,219.30	4,219.30
COSTO DE MANO DE OBRERA DIRECTA	66,800.00	115,440.00	150,078.00	194,063.40	233,421.68
INDICACIONES A MANO DE OBRERA D.	24,640.00	34,832.00	45,021.60	58,338.00	76,086.30
COSTO DE MANO DE OBRERA INDIRECTA	35,260.00	71,708.00	95,268.00	121,374.40	157,284.72
INDICACIONES A MANO DE OBRERA IN	15,540.00	31,338.00	41,368.40	54,368.33	71,397.03
COSTO DE SERVICIOS	22,000.00	24,739.80	27,000.00	29,800.00	32,437.80
AGUA	10,000.00	11,589.80	12,650.00	13,650.00	14,611.60
ELECTRICIDAD	12,000.00	13,440.00	13,000.00	14,380.00	17,442.00
COSTO DE MANTENIMIENTO	5,860.00	6,389.60	7,330.00	7,950.00	8,441.60
DEPRECIACION Y AMORTIZACION	43,384.00	43,384.00	43,384.00	43,384.00	43,384.00
VOLUMEN DE VENTAS (PREZAS)	2,140,000.00	2,660,000.00	2,880,000.00	3,600,000.00	3,600,000.00
PRECIO UNITARIO	0.43	0.40	0.34	0.30	0.63
INGRESO POR VENTAS	918,000.00	1,187,000.00	1,344,000.00	2,088,000.00	2,275,340.00
GASTOS GENERALES	361,730.00	494,843.00	495,778.00	500,298.00	501,388.00
COSTO DE VENTAS Y DISTRIBUCION	66,780.00	66,780.00	66,178.00	66,218.00	66,288.00
GASTOS ADMINISTRATIVOS	314,000.00	410,000.00	410,000.00	411,000.00	411,000.00
UNIDAD MUYA	386,659.33	354,148.97	637,043.88	1,057,314.33	1,130,344.33
IMPUESTO FORESTAL MUYA	132,944.30	331,743.97	347,338.43	444,250.14	470,344.30
UNIDAD MUYA	186,723.36	321,404.80	349,288.44	613,188.48	649,799.60
ALUQUINETO DE IMPUESTO	312,009.26	343,880.20	411,729.44	635,248.28	649,289.60

COSTO DE EQUIPO	300,000.00
IMPORTE PRESENTADO	437,000.00

TABLA DE EVALUACION ECONOMICA
E-3

CONCEPTO	AÑO DE EVALUACION				
	1	2	3	4	5
FACTOS DE EVALUACION	1.00	1.13	1.33	1.33	1.47
FACTOS DE PRODUCCION	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00
INFLACION	71,000.00	71,000.00	71,000.00	71,000.00	71,000.00
COSTOS DE PRODUCCION	184,787.00	234,143.43	308,772.88	344,214.43	440,134.18
COSTOS DE MATERIA PRIMA	85,507.00	93,973.83	131,104.48	141,393.00	154,178.10
PREMIA DE COMISION	70,454.00	70,454.00	68,730.00	68,730.00	68,730.00
ADMINISTRATIVO	2,018.00	2,018.00	2,538.00	2,538.00	2,538.00
CONTR. G-73	299.20	299.20	384.00	384.00	384.00
CONTR. G-78	40.44	40.44	50.54	50.54	50.54
PARALIZO 733	3,434.00	3,434.00	4,320.00	4,320.00	4,320.00
PARALIZO E-334	844.00	844.00	1,080.00	1,080.00	1,080.00
MAROSTAS M-170	3,340.00	3,340.00	4,090.00	4,090.00	4,090.00
OVANOS	3,773.34	3,773.34	4,319.20	4,319.20	4,319.20
COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA	88,800.00	115,440.00	150,072.00	193,063.40	253,421.40
PRESTACIONES A MANO DE OBRA D	24,440.00	34,471.00	43,081.40	58,338.00	74,084.30
COSTO DE MANO DE OBRA INDIRECTA	33,500.00	71,788.00	93,388.00	131,374.40	157,434.73
PRESTACIONES A MANO DE OBRA M	16,500.00	21,332.00	27,064.40	36,358.33	47,397.03
COSTO DE SERVICIOS	22,080.00	34,729.88	37,880.00	39,888.00	32,437.88
AGUA	10,080.00	11,280.48	12,880.88	13,888.00	14,817.48
ELECTRICIDAD	12,000.00	13,440.00	15,000.00	16,000.00	17,600.00
COSTO DE MANTENIMIENTO	5,000.00	5,383.40	7,330.00	7,998.00	8,643.80
DEPRECIACION Y AMORTIZACION	41,384.00	41,384.00	41,384.00	41,384.00	41,384.00
VOLUMEN DE VENTAS (PIEZAS)	3,600,000.00	3,600,000.00	3,600,000.00	3,600,000.00	3,600,000.00
PESO DRYWEG	0.43	0.48	0.54	0.58	0.63
REVENIDO POR VENTAS	1,338,400.00	1,387,088.00	1,933,000.00	2,087,888.00	2,378,340.00
CANTON GERENZAL	497,976.00	498,840.00	498,776.00	500,434.00	501,340.00
COSTO DE VENTAS Y DISTRIBUCION	68,374.00	68,742.00	69,174.00	69,434.00	69,880.00
COSTOS ADMINISTRATIVOS	466,680.00	410,086.00	416,800.00	411,080.00	411,480.00
UTILIDAD BRUTA	487,997.00	534,148.97	997,222.92	1,097,314.43	1,120,344.28
UTILIDAD SOBRE LA VENTA	194,338.74	232,742.37	419,089.63	444,690.14	470,344.40
UTILIDAD NETA	291,438.34	311,406.40	378,133.19	413,184.48	449,799.28
VALOR NETO DE INICIATIVO	313,731.36	343,280.48	421,081.89	433,448.48	493,083.28

COSTO DE EQUIPO	384,000.00
VALOR PRESENTE NETO	393,087.77

TABLA DE EVALUACION ECONOMICA E-4

CONCEPTO	AÑO DE EVALUACION				
	1	2	3	4	5
FACTOR DE INFLACION	1.00	1.12	1.23	1.33	1.47
FACTOR DE PRODUCCION	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00
CAPACIDAD	71,000.00	71,000.00	71,000.00	71,000.00	71,000.00
COSTOS DE PRODUCCION	184,787.00	237,439.39	304,774.88	366,494.83	440,338.38
COSTOS DE MATERIA PRIMA	89,907.00	117,488.79	131,104.88	141,399.03	154,178.10
ENERGIA DE COMBUSTION	70,254.00	88,330.00	88,330.00	88,330.00	88,330.00
INSTRUMENTACION	2,012.00	2,320.00	2,320.00	2,320.00	2,320.00
LABOR G-15	359.30	384.00	384.00	384.00	384.00
LABOR G-78	40.44	50.34	50.34	50.34	50.34
VALORES 733	3,154.00	4,330.00	4,330.00	4,330.00	4,330.00
VALORES E-334	844.00	1,080.00	1,080.00	1,080.00	1,080.00
RESERVAS LCTVO	3,340.00	4,030.00	4,030.00	4,030.00	4,030.00
OVACION	3,973.38	4,319.20	4,319.20	4,319.20	4,319.20
COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA	88,360.00	113,440.00	130,071.80	147,081.80	153,831.60
RESERVACIONES A FONDO DE OBRA D.	34,440.00	34,432.00	43,051.80	34,328.00	74,084.30
COSTO DE MANO DE OBRA INDIRECTA	33,360.00	71,780.00	93,888.00	131,374.40	137,434.72
RESERVACIONES A FONDO DE OBRA IN.	16,340.00	21,338.00	27,348.40	34,348.33	47,397.03
COSTO DE SERVICIOS	33,080.00	34,789.80	27,888.00	29,888.00	33,437.60
ALQUILA	10,880.00	11,388.80	11,888.00	13,288.00	14,817.60
ENERGIA	12,000.00	13,440.00	13,888.00	14,800.00	17,440.00
COSTO DE MANO DE OBRA INDIRECTO	3,800.00	4,380.00	7,990.00	7,970.00	8,443.60
RESERVACIONES Y FORTALECIMIENTO	43,384.00	43,384.00	43,384.00	43,384.00	43,384.00
UTILIDAD FIJADA	2,880,000.00	3,600,000.00	3,600,000.00	3,600,000.00	3,600,000.00
COSTO UNITARIO	0.41	0.48	0.34	0.38	0.63
VALOR POR VENTAS	1,234,400.00	1,333,740.00	1,333,000.00	2,089,900.00	1,273,340.00
COSTOS OPERATIVOS	497,978.00	498,840.00	499,778.00	300,494.00	301,340.00
COSTO DE VENTAS Y DISTRIBUCION	88,374.00	88,740.00	89,174.00	89,484.00	89,880.00
COSTOS ADMINISTRATIVOS	488,360.00	410,080.00	410,600.00	411,900.00	411,880.00
UTILIDAD BRUTA	687,997.00	877,407.01	877,822.92	1,097,214.63	1,130,344.28
IMPORTE BRUTO LA BRUTA	194,334.74	346,310.84	419,083.43	444,030.14	470,344.60
UTILIDAD NETA	271,238.28	308,896.06	378,777.35	613,184.49	649,799.68
VALOR POR PRODUCTIVO	313,722.34	331,180.00	437,011.35	633,468.48	687,083.60

VALOR POR PRODUCTIVO 313,722.34
 VALOR POR PRODUCTIVO 687,083.60

Una vez realizado la determinación de los flujos netos de efectivos se procede a la determinación del valor presente neto (VPN) y de la tasa interna de retorno (TIR), por medio de la siguiente fórmula:

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5}{(1+i)^5} + \frac{VS}{(1+i)^5}$$

en donde:

P.-Inversión inicial.

FNE.-Flujos netos de efectivo en cada periodo.

VS.- Valor de salvamento

i.-Tasa mínima aceptable de retorno, establecida por la TMAR.

TMAR= índice inflacionario promedio esperado + premio al riesgo.

Para el presente proyecto:

Índice inflacionario promedio esperado = 23 %

Premio al riesgo = 15 %

Para la determinación de la TIR se considero que este valor es la tasa que iguala los flujos descontados a la inversión inicial, esto es:

$$P = \frac{FNE_1}{(1+i)} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5}{(1+i)^5} + \frac{VS}{(1+i)^5}$$

Los valores obtenidos para cada tabla son los siguientes:

TABLA	VPN	TIR
E-1	157631.89	0.51
E-2	439700.81	0.78
E-3	593027.70	0.94
E-4	691478.47	1.04

Como se puede observar en todos los casos considerados el

**ANÁLISIS DE DEMANDABILIDAD
VARIACION EN EL VOLUMEN DE VENTAS**

CONCEPTO	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
FACTOR DE PRODUCCION	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
CAPACIDAD	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00	72,000.00
COSTOS DE PRODUCCION	152,833.50	163,321.87	173,810.25	184,298.62	194,787.00
COSTOS DE MATERIA PRIMA	41,953.50	52,441.87	62,930.25	73,418.62	83,907.00
RESINA DE SUSPENSION	35,328.00	44,160.00	52,992.00	61,824.00	70,656.00
ANTIBIOTICO KN	1,008.00	1,260.00	1,512.00	1,764.00	2,016.00
LOXROL G-13	129.60	162.00	194.40	226.80	259.20
LOXROL G-78	20.22	25.27	30.33	35.38	40.44
PARALOID 733	1,728.00	2,160.00	2,592.00	3,024.00	3,456.00
PARALOID K-334	432.00	540.00	648.00	756.00	864.00
BAROSTAB M-170	1,620.00	2,025.00	2,430.00	2,835.00	3,240.00
UVARSOB	1,687.68	2,109.60	2,531.52	2,953.44	3,375.36
COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA	88,800.00	88,800.00	88,800.00	88,800.00	88,800.00
PRESTACIONES A MANO DE OBRA D.	26,640.00	26,640.00	26,640.00	26,640.00	26,640.00
COSTO DE MANO DE OBRA INDIRECTA	55,200.00	55,200.00	55,200.00	55,200.00	55,200.00
PRESTACIONES A MANO DE OBRA IN.	16,560.00	16,560.00	16,560.00	16,560.00	16,560.00
COSTO DE SERVICIOS	22,080.00	22,080.00	22,080.00	22,080.00	22,080.00
AGUA	10,080.00	10,080.00	10,080.00	10,080.00	10,080.00
ELECTRICIDAD	12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00	12,000.00
CONSUMO DE MANTENIMIENTO	5,880.00	5,880.00	5,880.00	5,880.00	5,880.00
DEPRECIACION Y AMORTIZACION	42,284.00	42,284.00	42,284.00	42,284.00	42,284.00
VOLUMEN DE VENTAS (PIEZAS)	1,440,000.00	1,800,000.00	2,160,000.00	2,520,000.00	2,880,000.00
PRECIO UNITARIO	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
INGRESO POR VENTAS	619,200.00	774,000.00	928,800.00	1,083,600.00	1,238,400.00
GASTOS GENERALES	384,720.00	384,720.00	384,720.00	384,720.00	384,720.00
GASTO DE VENTAS Y DISTRIBUCION	68,720.00	68,720.00	68,720.00	68,720.00	68,720.00
GASTOS ADMINISTRATIVOS	316,000.00	316,000.00	316,000.00	316,000.00	316,000.00
UTILIDAD BRUTA	4,006.50	148,318.13	292,639.75	436,941.38	581,253.00
IMPUESTO SOBRE LA RENTA	1,682.73	62,293.61	122,904.50	182,515.38	244,126.26
UTILIDAD NETA	2,323.77	86,024.51	169,735.26	253,426.00	337,126.74
FLUJO NETO DE EFECTIVO	44,607.77	128,308.51	212,009.26	293,710.00	379,410.74
TIR	> 0.38	> 0.38	0.46	0.67	0.72
COSTO DE EQUIPO		294,000.00			
TIRAMA		0.16			

valor del VPN es mayor que cero, por lo que se considera que el proyecto es económicamente rentable, así mismo se ha observado que el caso expuesto en la Tabla E-4 es el que mayo valor de TIR presenta , por lo que es considerado como el caso base.

5.9.2 DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN MÍNIMA RENTABLE.

Con base en el programa de producción y en los presupuestos de ingresos y egresos, adoptados en el caso base presentado en el punto anterior, previsiblemente la producción mínima económica durante los primeros años de operación sería la que se muestra en la tabla de producción mínima económica. De acuerdo con los resultados de esta tabla cuando se utiliza el 80 % de la capacidad nominal, se estaría produciendo 1.64 veces la producción mínima económica y en el quinto año de operación, período durante el cual se estaría aprovechando el 100 % de la capacidad se lograra 2.16 veces la producción mínima económica de la planta.

5.9.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD:

El propósito de llevar a cabo un análisis de sensibilidad es el de determinar que tan sensible es la TIR ante cambios en determinadas variables del proyecto. Este tipo de análisis no se encuentra encaminado a modificar todas aquellas variables involucradas en el proyecto para observar su efecto sobre la TIR. De hecho hay variables que al modificarse afectan automáticamente a las otras variables o bien su cambio es compensado inmediatamente. Por ejemplo no sería apropiado el realizar un análisis de sensibilidad el modificar el precio de la materia prima requerida y ver los efectos que esta variación tiene sobre la TIR, ya que esta modificación es rápidamente compensada por el aumento en el precio de venta del producto y mantener así el

margen de utilidad acostumbrado.

A pesar de lo anterior, existen variables que están fuera del control del empresario, y sobre ellas si es necesario el realizar un análisis de este tipo.

En base a lo expuesto anteriormente se realizó el siguiente análisis para determinar cual es el nivel mínimo de ventas que puede tener la empresa para seguir siendo económicamente rentable.

En la tabla de análisis de sensibilidad se muestran los datos obtenidos al simular un disminución en la ventas del perfil. Es conveniente aclarar que los únicos costos que se ven afectados por una disminución en el volumen de ventas son los costos de producción.

Una vez obtenidos los flujos netos de efectivo para cada caso se determino la tasa interna de retorno haciendo uso de la siguiente formula:

$$P=A(P/A, i, n) + VS(P/F, i, n)$$

En donde:

P=Inversión inicial.

A=Flujos netos de efectivo para cada caso.

n=Número de periodos.

VS=Valor de salvamento.

En base a los resultados obtenidos se puede afirmar que:

43 200K Kg anuales es el límite mínimo necesario para que el proyecto sea económicamente rentable.

CAPITULO VI

ANALISIS Y ADMINISTRACION DEL RIESGO

VII ANÁLISIS Y ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO

6.1 GENERALIDADES

El objetivo de el presente capítulo es el de determinar con alguna medida cualitativa, cual es el riesgo al realizar la inversión monetaria requerida por el proyecto y administrar el riesgo de tal forma, que pueda prevenirse la banca rota de la empresa.

En el estudio de mercado realizado en el capítulo IV se anotaron una serie de pronósticos sobre la inflación proporcionados por el Banco de México. Ante tal situación, el inversionista puede poner en duda los resultados de el estudio de factibilidad, pues si las condiciones económicas bajo las cuales la inversión ha sido declarada rentable económicamente, cambian drásticamente con el tiempo, es probable que la rentabilidad pronosticada también pueda cambiar, y esto implica un determinado riesgo no contemplado en el estudio de factibilidad.

Es evidente que cualquier inversión para producir bienes lleva u riesgo implícito. Este riesgo será menor entre más se conozca sobre las condiciones económicas, de mercado, tecnológicas, etc., que rodean a el proyecto. Sin embargo no basta, con declarar el proyecto rentable, y con cierto riesgo bajo determinadas condiciones y realizar la inversión, si a corto plazo esas condiciones iniciales cambian, la inversión ya hecha se vuelve no rentable económicamente y la empresa va a la quiebra a los 3 o 4 años de instalada.

El enfoque que se presenta en este capítulo, no solo trata de cuantificar de cierta forma a el riesgo, sino que trata, mediante su administración de prevenir la quiebra de la inversión hecha, anticipando la situación con un tiempo suficiente para evitarla.

6.2 CARACTERÍSTICAS DEL ENFOQUE PROPUESTO.

Para el planteamiento de el enfoque de análisis propuesto se ha contemplado que los únicos datos verídicos y confiables son los obtenidos en el presente. Esta consideración implica, que los únicos datos que se utilizaran, son los datos recientes por lo que no se deberá trabajar con proyecciones.

Al no trabajar con proyecciones se elimina el análisis de todas las condiciones futuras y se evita así tomar decisiones basadas en cálculos de condiciones cambiantes.

Por tanto la filosofía de el enfoque planteado es llevar a cabo el proyecto siempre que las condiciones actuales y conocidas tanto de mercado, tecnológicas y económicas, lo hagan económicamente rentable.

Surge de inmediato la inquietud de que las condiciones futuras inmediatas pueden cambiar la rentabilidad de la inversión, por lo que no es valido dicho enfoque, entonces, se debe aclarar con detenimiento la situación.

El estudio de mercado debe hacerse lo más completo posible con proyecciones multivariables. Si este estudio, arroja como resultado que no hay mercado futuro para el producto bajo análisis, la inversión deberá rechazarse inmediatamente. Su este estudio demuestra que existe un amplio mercado, el nuevo enfoque recomienda simplemente llevar a cabo la inversión por que es rentable económicamente con el mercado actual, sin tomar dichas proyecciones como para pronosticar ventas e ingresos.

En cuanto a el estudio técnico se realiza, recomendando instalar la capacidad de producción de acuerdo a las condiciones de mercado vigente en ese momento,previendo futuras ampliaciones.

Para la evaluación económica cambia totalmente lo expuesto en el capítulo cinco, ya que no tome en cuanta el futuro, entonces la inflación deberá considerarse cero, permitiendo establecer las

siguientes declaraciones:

1.- Si la inversión resulta económicamente rentable bajo las condiciones actuales y conocidas, sin importar el nivel de inflación en el futuro, el proyecto seguirá siendo rentable, siempre que el nivel de ventas se mantenga constante.

2.- La rentabilidad económica se ve incrementada automáticamente si se aumenta el nivel de ventas, siempre que se mantengan constantes las otras condiciones que pueden afectar la rentabilidad.

El empleo de esta técnica de inflación cero implica evaluar el proyecto en condiciones más bien pesimista. Esto es, sin llegar a saturar la capacidad de los equipos.

Por otro lado, la rentabilidad económica, se mide como la diferencia entre la TMAR y la TIR.

Aquí se tiene un primer parámetro para catalogar un proyecto como riesgos; si el nivel de producción es tal que satura la capacidad instalada y, a pesar de esto la TIR supera por muy poco margen a la TMAR, el proyecto es muy riesgoso.

Una inversión no es riesgosa justamente cuando no se ve tan afectada por el nivel de ventas, pues es aquí donde da comienzo la administración de el riesgo, mientras más diferencia exista entre la TIR y la TMAR, más tiempo u oportunidad se tendrá para administrar el riesgo que tiene la empresa de volverse no rentable al disminuir la ventas por debajo de determinado nivel.

6.3 METODO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA QUE ELIMINA EL FACTOR DE INFLACIÓN.

En general este método de evaluación económica se lleva a cabo en la forma tradicional, calculando la TIR para determinar la rentabilidad de la inversión, tal y como se realizó en el capítulo anterior. El único punto de controversia es la

determinación del premio al riesgo. Esta cantidad varía en forma proporcional a la tasa inflacionaria vigente, y aunque la proporción exacta se desconoce, la historia ha mostrado que en países de economía muy estable, el premio al riesgo es bajo, del orden de 4 a 8%, en cambio en países con alta inflación, el premio al riesgo se eleva sin límites, aunque hay que aclarar que una gran parte de este valor se debe a la especulación ya que en situaciones de alta inflación existe control de precios ni precios de referencia, precisamente debido a la especulación, provocando que se dispare el premio al riesgo.

De lo anterior se deduce que la tasa mínima aceptable de retorno (TMAR) es igual a el factor inflacionario más el premio al riesgo, y si se considera que la inflación es cero, la tasa mínima de retorno será igual a el premio al riesgo. Para el caso en estudio TMAR es igual a 15%.

En términos de la expresión del estado de resultados, esto significa que no se considera aumento de costos en ningún año ya que la inflación es cero y tampoco existe aumento en la producción. Así al eliminar el factor inflacionario, lo realmente interesante para la empresa es el nivel de ventas, es decir no importa que la inflación pueda ser de 100 o 200%, si no que tanto afecte este factor a la economía o al poder adquisitivo, pues a pesar de la inflación, si se siguen vendiendo a ciertos niveles, la TIR de la empresa aún será rentable.

6.4 APLICACIÓN DEL ENFOQUE PROPUESTO.

El primer paso para la aplicación del enfoque propuesto es encontrar una variable económica que afecte directamente la demanda (ventas). esta variable queda determinada desde el estudio de mercado, tomándose la variable que presente el mayor valor de índice de correlación. En el caso a analizar la variable

CAPITULO VI

resultante es el Producto Interno Bruto (PIB).

Ahora el problema será determinar como expresar el riesgo que en determinado año la empresa no tenga las ventas mínimas de rentabilidad económica.

Una vez determinada la variable económica que afecte las ventas se procede a realizar los cálculos sobre tres estados supuestos de la economía.

El primer estado se ajusta a los pronósticos realizados en el estudio de mercado, para los próximos cinco años. Los otros dos estados son los extremos positivo y negativo del pronóstico emitido, es decir, en uno de ellos se supone que la economía de el país mejorara en cierto nivel, y en el otro que la situación empeorara.

Los pronósticos de oferta y demanda son:

ANO	DEMANDA (PIEZAS)	PIB
1994	3960 000	1.8
1995	4620 000	2.1
1996	7200 000	3.3
1997	9900 000	4.5
1998	7920 000	3.6
1999	5688 000	2.6

Ahora si se trabaja bajo la suposición de que el PIB aumentara debido a ciertas políticas de el gobierno se tendrá:

AÑOS	DEMANDA (PIEZAS)	PIB
1994	3240 000	1.5
1995	7668 000	3.5
1996	8352 000	3.8
1997	10116 000	4.6
1998	11664 000	5.3
1999	12096 000	5.5

Y por último si se supone que los planes económicos de el gobierno fracasan estrepitosamente y como consecuencia de ello, el PIB baja su valor, los datos de esta situación podrían ser los siguientes:

ANOS	DEMANDA (PIEZAS)	PIB
1994	4392 000	2.0
1995	3960 000	1.8
1996	2880 000	1.3
1997	2160 000	1.0
1998	3240 000	2.3
1999	4608 000	2.1

Con estos datos se calcula la variación de la producción y ventas de la empresa en cada uno de los años, dependiendo de el estado de la economía que se tenga en el país. Para ello puede usarse proporciones de ventas, que deben mantenerse sin importar el estado de la economía que se presente (TABLA 6.1).

ANO	VENTA PLANEADA	DEMANDA	PROPORCION	ECONOMIA DEMANDA	ABCEISO VENTA PROB.	ECONOMIA DEMANDA	DEBICENO VENTA PROB.
1994	300000	300000	0.7272	320000	2356128	4992000	3193000
1995	300000	400000	0.7792	700000	5974005	3960000	3025632
1996	300000	720000	0.5	835200	4176000	2880000	1440000
1997	300000	990000	0.3036	1011000	3678777	2160000	783276
1998	300000	790000	0.4545	1100400	5301200	3240000	2290800
1999	300000	500000	0.6129	1200000	7655550	4000000	2916402

Según las estimaciones anteriores, la producción de la planta cubre una pequeña parte de el mercado potencial. Si la economía marcha bien, la empresa saturara su producción a los dos años de iniciada su operación. Pero, si por el contrario, la economía del país va mal, entonces los años de 1996 y 1997 serán graves para la empresa pues corre el peligro de que sus ventas bajen del nivel de rentabilidad económica.

Esto puede advertir al inversionista que puede haber problemas para de rentabilidad, por lo que debe adelantarse a estos hechos, saliendo del ámbito o sector del que normalmente vende y buscar nuevos contratos que mantengan las ventas a un nivel aceptable de rentabilidad. Esto es preferible a esperar que las ventas caigan y una vez caídas tratar de levantarlas.

Ahora se presenta el problema de como expresar el riesgo con el conocimiento de los pronósticos de ventas. Así sería fácil decir que el riesgo es proporcional a la cantidad vendida, es decir que si el primer año se pronostica vender en condiciones de economía normal 2 880 000 piezas y se venden 2 880 000 piezas, entonces el riesgo es cero, y que si la economía va en ascenso y se pronostica vender 2 356 128 piezas, entonces:
hay $2\ 356\ 128 / 2\ 880\ 000 = 0.81 * 100 = 81\ %$ de seguridad de que se vendan.

Pero si la economía va en descenso, entonces se pronostica vender 3 193 860 y se tiene $3\ 193\ 860 / 2\ 880\ 000 = 1.10 * 100 = 110$ de seguridad de que se cumplan las metas de ventas propuestas.

Si se realiza lo anterior para cada año se obtiene la siguiente TABLA 6.2:

AÑO	VENTA PROMO.	ECONOMIA	ACERBO	ECONOMIA	DESCENSO
		VENTA PROB.	SEGURIDAD	VENTA PROBABLE	SEGURIDAD
1994	288000	2356128	81	3192060	110
1995	300000	397000	165	3085092	83
1996	300000	4170000	116	1440000	40
1998	300000	3070177	102	783376	21
1998	300000	3901200	146	2290000	63
1999	300000	7035559	212	2916402	81

El resultado es claro y directo; si la economía va en ascenso se rebasan los pronósticos de ventas y existe un gran margen de seguridad para cumplir las ventas pronosticadas. Por el contrario con una economía en descenso en 5 de los 6 años existe menos de 100 % de seguridad de cumplir los pronósticos.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

Todo estudio de evaluación sobre un proyecto de inversión tiene tres fases: el estudio de mercado, donde si se concluye que hay cabida para la fabricación del producto en cuestión puede abandonarse. La siguiente etapa es el análisis técnico, donde si existe algún impedimento de tipo tecnológico o de abasto de alguna materia prima también puede desecharse el proyecto. La siguiente etapa es el análisis económico, que no es de decisión, sino de recopilación de datos, para pasar a la última y definitiva etapa, que es la evaluación económica.

El estudio práctico presentado a lo largo de este trabajo ha salvado las tres etapas de decisión; esto es, se determino un mercado aceptable, de el cual se pretende cubrir solo una pequeña fracción, lo cual asegura que se pueden cumplir los pronósticos hechos sobre las ventas.

En la parte técnica se pudo constatar que la tecnología es hasta cierto punto sencilla y de fácil aplicación. Es importante aclarar que la teoría existente para el diseño del tornillo y dado de extrusión es poco aplicable y solo proporciona un punto de partida para el diseño, esto principalmente debido a que la teoría considera fluidos Newtonianos. Así las dimensiones del tornillo y del dado propuestas en este trabajo se obtubieron en base a la experiencia.

Asimismo se pudo constatar que no existen problemas de abasto de materia prima, por lo que tampoco representa un obstáculo en el desarrollo de la empresa.

En la parte definitiva del proyecto, la evaluación económica, se pudo comprobar la rentabilidad económica del

proyecto bajo los parámetros establecidos: ingresos, costos, y TMAR. Este capítulo se encuentra basado en proyecciones de datos, lo cual no es muy recomendable en países con una economía tan inestable como lo es México. Lo anterior propicio el desarrollo del Capítulo VI, que no es más que una crítica al método de evaluación usado en el Capítulo V y el desarrollo de un método que elimine el uso de proyecciones de datos como base de rentabilidad.

Todo lo anterior ha llevado al establecimiento de las conclusiones siguientes:

- 1.- El desarrollo de una planta productora de perfiles de poli(cloruro de vinilo antiestático es económicamente rentable.
- 2.-El diseño del herramental de extrusión (tornillo y dado) se realizar en base a la experiencia.
- 3.-Para el establecimiento de la rentabilidad de un proyecto en México no es recomendable el llevarlo acabo usando métodos que tomen como base proyecciones de datos, debido a la inestabilidad económica existente.

Con esto se pude afirmar que los objetivos planteados para este trabajo han sido llevados acabo.

APENDICE A

CARACTERÍSTICAS DEL MODELO PROGRAMADO.

Los modelos usados para el diseño del tornillo y dado de extrusión han sido programados en lenguaje Fortran y constan de 4 programas descritos ha continuación:

Programa 1: Determinación de los coeficientes de viscosidad

Existen varios desarrollos para la descripción de los valores de viscosidad de el fundido en el proceso de extrusión, pero solo algunos modelos predicen apropiadamente estos valores, uno de estos trabajos fue desarrollado por Muenstedt^(*) en un polinomio cuya estructura es la siguiente:

$$\log \mu = A_0 + A_1 \log D + A_2 (\log D)^2 + A_3 (\log D)^3 + A_4 (\log D)^4$$

Así para la obtención de la viscosidad aparente de el fundido se requiere de el conocimiento de los coeficientes A0, A1, A2, A3 y A4, los cuales pueden ser obtenidos en base a datos reportados de viscosidad aparente vs. esfuerzo cortante.

El programa COE.EXE calcula los coeficientes del polinomio de Muenstedt usando el método de regresión lineal múltiple, las variables utilizadas en este programa son listadas a continuación:

Número de variables	m
Número de datos	n
Esfuerzo cortante aparente	D (s ⁻¹)
Viscosidad aparente	μ (Pa ^s)

El listado de este programa se muestra en la figura A-1

Programa 2: Cálculo de la descarga del extrusor

El conocimiento de el flujo de descarga del fundido es necesario para el diseño de el tornillo de extrusión, para llevar a cabo este cálculo se ha hecho uso de las ecuaciones dadas por M^okelvey^(*). La descarga es determinada para la zona de plastificación haciendo uso de el programa TI.EXE cuyas variables son:

Diámetro del barril	D(mm)
---------------------	-------

Profundidad del canal	H(mm)
Ancho de la paleta	e(mm)
Pitch del canal	s(mm)
Claro	delta (mm)
Longitud axial de la zona	RL(mm)
Número de canales	RN
Velocidad del tornillo	RN1 (RPM)
Presión diferencial	DELP (Bar)
Coefficientes de viscosidad	A0,A1,A2,A3,A4 C1,C2,B1,B2,T,T0
Temperatura de fusión	T (°C)

El listado de este programa se muestra en la Figura A-2.

Programa 3: Modelo simplificado de fusión para el tornillo de extrusión

Otro aspecto de interés para el diseño de el tornillo es el conocimiento de la plastificación dentro de la máquina de extrusión. Un modelo capaz de caracterizar este proceso de plastificación ha sido desarrollado por Tadmor¹³, el cual es descrito ha continuación:

Este modelo parte de la suposición de que la fusión tiene lugar predominantemente en la superficie de la cama sólida adyacente a la pared del barril. La cama sólida se encuentra en la superficie del tornillo.

Como el espesor de la película fundida, δ es muy pequeña comparado con el espesor de la cama sólida ($h-\delta$) es posible considerar que la película esta siempre confinada entre dos placas paralelas infinitas. La placa superior se mueve a la velocidad del barril V_s y se encuentra al a temperatura del barril T_s , mientras que la placa inferior corresponde a la interfase polímero sólido-película que se encuentra a la temperatura de fusión T_f y se mueve con una velocidad constante V_f . Cabe hacer notar que Tadmor no considera gradiente de presión en su análisis de flujo. El objetivo de el modelo propuesto es el de encontrar una expresión que permita evaluar la longitud de el tornillo requerido para fundir el material.

El balance planteado es:

$$-\frac{(d(Rx))}{dz} = \frac{W}{\rho_s V_{ms}}$$

donde W es la rapidez de fusión cuyo valor es desconocido, pero se encuentra en términos de:

$$W = V_{ms} \rho_s X = \frac{1}{2} V_{ms} \rho_s \delta$$

donde V_{ms} representa la velocidad de la cama sólida en la dirección Z, y V_s la componente de la velocidad del barril en la dirección Z.

Tadmor plantea entonces el balance de materia en un incremento de longitud considerando un corte transversal del canal. La ecuación de movimiento plantea entonces que:

$$\frac{d^2 V_j}{dy^2} = 0$$

donde V_j representa la velocidad en la dirección en que se mueve la película, que está definida por la diferencia vectorial de la velocidad de la cama sólida

$$V_j = V_s - V_{ms}$$

La solución de estas ecuaciones involucra entre sus condiciones de frontera el espesor de la película, definida por la diferencia vectorial de la velocidad del barril y de la velocidad de la cama sólida.

Ahora se requiere efectuar el balance de calor en la sección transversal del canal, que considera la ecuación de energía para la película:

$$k_m \frac{d^2 T}{dy^2} + \mu \left[\frac{dV_j}{dy} \right]^2 = 0$$

Así Tadmor supone que tiene un flujo de calor unidimensional

en la dirección de "Y" y a través de una placa semi-infinita que se mueve con una velocidad constante $V_{..}$. Se tiene entonces que:

$$\rho_s C_s V_w \frac{dt}{dy} - K_s \frac{d^2 \rho_s T}{dy^2}$$

El conjunto de ecuaciones anteriores constituyen el modelo unidimensional de Tadmor, el cual predice la forma y la tendencia de el perfil de la cama sólida, sin embargo predice longitudes de fusión mayores y es incapaz de predecir el punto en el que se inicia la fusión así como los efectos de la ruptura de la cama sólida o de las infiltraciones que pudieran existir del material fundido hacia el interior del mismo.

El programa es mostrado en la Figura A-4 y calcula el perfil de la cama sólida x/w y G_s/G' a lo largo del tornillo. Las variables usadas son listadas a continuación:

Densidad del fundido	ρ_w (g/cm ³)
Densidad del sólido	ρ_s (g/cm ³)
Calor específico del fundido	C_{pw} (kJ/kg ^o K)
Calor específico del sólido	C_{ps} (kJ/kg ^o K)
Conductividad térmica	K_m (W/m ^o K)
Calor de fusión	i (kJ/kg)
Punto de fusión	T_m (°C)
Temperatura ambiente	T_r (°C)
Coefficientes de viscosidad	A0, A1, A2, A3, A4 B1, B2, C1, C2, T0
Díámetro del barril	D (mm)
Vuelo del tornillo	WFLT (mm)
Número de canales	RN
Velocidad del tornillo	N (RPM)
Descarga	G (kg/hr)
Temperatura del barril	T_b (°C)
Espesor inicial de la película	δ (mm)
Número de zonas del tornillo	J
Longitud axial del incremento	Delta-Z (mm)

'G. polimero sin fundir, G flujo maxico.

Programa 4: Calculo de la caída de presión , esfuerzo cortante y tiempo de residencia en el dado de extrusión.-El programa esta basado en las relaciones expuestas en el Capitulo IV y utiliza la subrutina UP para la obtención de las constantes n y K utilizadas en la expresión de la ley de potencia.

El programa es mostrado en la figura A-5. Las variables se listan a continuación:

Flujo	m (Kg/h)
Densidad	rho (g/cm ³)
Calor específico	Cp (KJ/Kg·K)
Coefficientes de viscosidad	A0,A1,A2,A3,A4 B1,B2,C1,C2,T0
Temperatura de fusión	T (°C)
Temperatura de referencia	To (°C)
Dímetro en la entrada	D1 (mm)
Dímetro en la salida	D2 (mm)
Longitud del canal	L (mm)

C FIGURA A-1
 C DETERMINACION DEL COEF. DE VISCOSIDAD
 C

```

DIMENSION X(100),D(7),E(6),A(6,7)
WRITE(*,*)'INTRODUSCA M,N,KEEN'
10 READ(*,1000,END=999) M,N,KENN
M1=M+1
M2=M+2
DO 20 I=1,M2
D(I)=0
DO 20 J=1,M1
20 A(J,I)=0
MEIN=M1
IF(KENN.NE.0) MEIN=2
DO 40 K=1,N
WRITE(*,*)'INTRODUSCA EL DATO X',K
WRITE(*,*)'MENSAJE 1'
READ(*,1100)(X(I),I=1,MEIN)
WRITE(*,*)'X(I),I,MEIN',X(I),I,MEIN
X(M1)=FUNKY(X(MEIN))
WRITE(*,*)'X,M1,M2',X(M1),M1,M2
IF(KENN.EQ.0) GOTO 30
X(1)=FUNKX(X(1))
WRITE(*,*)'X(1)',X(1)
DO 25 I=2,M
WRITE(*,*)'X(',I-1,')',X(I-1)
X(I)=X(I-1)*X(1)
WRITE(*,*)'X(',I,')',X(I)
25 WRITE(*,*)'I=',I
30 D(M2)=D(M2)+X(M1)**2
D(1)=A(1,M2)+X(M1)
A(1,M2)=D(1)
WRITE(*,*)'D(',M2,')',D(M2),'D1',D(1)
WRITE(*,*)'A(1,',M2,')',A(1,M2)
DO 40 I=1,M
I1=I+1
WRITE(*,*)'A(1',I1,')',A(1,I1)
WRITE(*,*)'A(',I1,',',M2,')',X(',M1,')',A(I1,M2),X(M1)
A(I1,1)=A(1,I1)+X(I)
A(1,I1)=A(I1,1)
D(I1)=A(I1,M2)+X(I)*X(M1)
A(I1,M2)=D(I1)
WRITE(*,*)'D(',I1,')',D(I1)
DO 40 J=I, M
J1=J+1
WRITE(*,*)'A(',I1,',',J1,')',X(',J,')',A(I1,J1),X(J)
A(I1,J1)=A(I1,J1)+X(I)*X(J)
WRITE(*,*)'A(',I1,',',J1,')',A(I1,J1)
40 A(J1,I1)=A(I1,J1)
A(1,1)=N
DO 50 I=2,M1
WRITE(*,*)'M1',M1
50 E(I)=A(1,I)
DO 110 IS=1,M1
DO 60 IT=IS, M1

```

```

        IF(A(IT,IS).NE.0) GOTO 70
60    CONTINUE
        WRITE(*,3000)
        STOP
70    DO 80 J=1,M2
        WRITE(*,*)'A(',IS,',',J,')',A(',IT,',',J,')',A(IS,J),A(IT,J)
        B=A(IS,J)
        A(IS,J)=A(IT,J)
80    A(IT,J)=B
        C=1/A(IS,IS)
        WRITE(*,*)'A(',IS,',',IS,')',C',A(IS,IS),C
        DO 90 J=1,M2
90    A(IS,J)=C*A(IS,J)
        WRITE(*,*)'A(',IS,',',J,')',A(IS,J)
        DO 110 IT=1,M1
        IF(IT.EQ.IS) GOTO 110
        C=-A(IT,IS)
        WRITE(*,*)'C',C
        DO 100 J=1, M2
        WRITE(*,*)'A(',IT,',',J,')',A(',IS,',',J,')',A(IT,J),A(IS,J)
100   A(IT,J)=A(IT,J)+C*A(IS,J)
110   CONTINUE
        WRITE(*,3100)
        DO 120 IT=1,M1
        I1=IT-1
        WRITE(*,*)'IT,M2',IT,M2
120   WRITE(*,3200) I1,A(IT,M2)
        GOTO 10
999   STOP
1000  FORMAT (3I5)
1100  FORMAT(6E13.0)
3000  FORMAT ('1 FIN DE ITERACION')
3100  FORMAT ('1')
3200  FORMAT ('0A(',I2,')=' ,E16.8)
END

```

```

C
FUNCTION FUNKX(X)
WRITE(*,*)'X',X
FUNKX=ALOG10(X)
RETURN
END

```

```

C
FUNCTION FUNKY(Y)
WRITE(*,*)'Y',Y
FUNKY=ALOG10(Y)
RETURN
END

```

C
C
C

DESCARGA DEL EXTRUSOR

```

10 READ(1,100,end=99) D,H,E,Z,DELTA,RL,RN,RN1,DELP,RHO
   READ(1,100) AO,A1,A2,A3,A4,C1,C2,TO,B1,B2,T
   PI=3.1416927
   DS=PI*D*RN1/(60*H)
   IF(C1.EQ.0..AND.C2.EQ.0..AND.TO.EQ.0) GOTO 20
   AT=10**(-C1*(T-TO)/(C2+T-TO))
   GOTO 30
20 AT=B1*EXP(B2/(T+273))
30 ZWI=ALOG10(AT*DS)
   ETAA=10**((((A4*ZWI+A3)*ZWI+A2)*ZWI+A1)*ZWI+A0+ALOG10(AT))
   PHI=ATAN(Z/(PI*D))
   SINP=SIN(PHI)
   SINCOS=SINP*COS(PHI)
   ZWI=(1-RN*E/Z)*0.5
   QP=-PI*D*H**3*ZWI*SINP**2*DELP/(6*ETAA*RL)
   GP=360*QP*RHO
   QD=PI**2*D**2*RN1*H*ZWI*SINCOS
   GD=6*QD*RHO/1.E5
   A=1E6*H**2*TAN(PHI)*DELP/(PI*D*RN1*ETAA*RL)
   TAU=DELTA/H
   G=6*QD*RHO*(1.-A-TAU)/1E5
   WRITE(3,300) D,H,E,Z,DELTA,RL,RN,DELP,RHO,GP,GD,G
   GOTO 10
99 STOP
1000 FORMAT (8F10.0)
1100 FORMAT (5E13.0,/,6E13.0)
3000 FORMAT (3X,'DIAMETRO DEL BARRIL',F15.5,'(MM)')
3100 FORMAT (3X,'PROF. DEL CANAL',F15.5,'(MM)')
3110 FORMAT (3X,'ANCHO DEL VUELO',F15.5,'(MM)')
3111 FORMAT (3X,'PITCH',F15.5,'(MM)')
3112 FORMAT (3X,'CLARO',F15.5,'(MM)')
3113 FORMAT (3X,'LONGUITUD',F15.5,'(MM)')

```

```

C      FIGURA A-4
C      MODELO SIMPLIFICADO PARA EXTRUSION
C      CON TORNILLO
DIMENSION H(10),IVEK(51),IT(20),RL(20)
10     WRITE(*,*)'INTRODUZCA RHOM,RHOS,CPM,CPS,RKM,R1,TM,TR'
      READ (*,1000,END=999)RHOM,RHOS,CPM,CPS,RKM,R1,TM,TR
      WRITE(*,*)'INTRODUZCA A0,A1,A2,A3,A4'
      READ (*,2000)A0,A1,A2,A3,A4
      WRITE(*,*)'INTRODUZCA B1,B2,C1,C2,T0'
      READ (*,2000)B1,B2,C1,C2,T0
11     CONTINUE
      WRITE(*,*)'INTRODUZCA TK,DB,WFLT,RN,RN1,G,TB,DFE'
      READ (*,1000)TK,DB,WFLT,RN,RN1,G,TB,DFE
      WRITE(*,*)'INTRODUZCA J,KZ,DELZ,RMELT'
      READ (*,*)J,KZ,DELZ,RMELT
      WRITE (*,*)'INTRODUZCA RL(I),H(I)'
      READ (*,*)(RL(I),I=1,J),(H(I),I=1,J)
      PI=3.1416
      PHI=ATAN(TK/(PI*DB))
      COSP=COS(PHI)
      SINP=SIN(PHI)
      WC=0.1*(TK*COSP/RN-WFLT)
      VB=PI*DB*RN1/600
      VBX=VB*SINP
      VSZ=C/(0.36*WC*H(1)*RHOS)
      VJ=SQRT(VB**2+VSZ**2-2*VB*VSZ*COSP)
      T=0.5*(TB+TM)
      XINW=1
      X=0.1*DELZ/SINP
      IT(I)=1
      SL=RL(I)-RMELT
      DO 15 I=2,J
      IT(I)=1
      SL=SL+RL(I)
      IF(H(I-1).EQ.H(I)) GOTO 15
      IT(I)=2
15     CONTINUE
      SZ=RMELT*0.1/SINP
      SL=0
      WRITE(*,4000)
      DO 300 N=1,J
      SL=SL+RL(N)
      DFA=DFE
      K=2
      I=1
20     CAMP1=VJ*10/DFA
30     K=J-K
      IF(B1.EQ.0..AND.B2.EQ.0)GOTO 40
      AT=B1*EXP(B2/(T+273))
      GOTO 50
40     TTO=T-T0
      AT=10**((-C1*TTO/(C2+TTO))
50     ZWI=ALOG10(AT*CAMP1)
      ETAA2=10*10**(((A4*ZWI+A3)*ZWI+A2)*ZWI+A1)*ZWI+A0+ALOG10(AT)
      T=0.5*(TB+TM)+ETAA2*2.39E-8*VJ**2*34.89/RKM

```

```

GOTO(60,70),K
60 DFAC=(RKM/209.34*(TB-TM)+2.39E-8*ETAA2*VJ**2)*WC
DFAC=(DFAC/(VBX*RHOM*(0.239+CPS*(TM-TR)+0.239*R1)))*.5
GAMP1=2*VJ/DFAC
ETAA1=ETAA2
GOTO 30
70 IF(ABS((ETAA2-ETAA1)/ETAA2).LE.0.05) GOTO 80
I=I+1
IF(I.GT.1000) GOTO 100
DFA=DFA+0.01
GOTO 20
80 PHIP=(VBX*RHOM)*(RKM/418.68*(TB-TM)+2.39E-8*ETAA1*VJ**2/2)
PHIP=(PHIP/(0.478*(CPS*(TM-TR)+R1)))*0.5
100 Z=X
IF(RL(N)/DELZ.LT.KZ)THEN
Z=0.1*RL(N)/(KZ+SINP)
GOTO 105
ELSE
Z=X
ENDIF
105 ZNK=0.1*SL/SINP
L=IT(N)
GOTO(110,200),L
110 SZ=SZ+Z
IF(SZ.GT.ZNK) SZ=ZNK
PSI=PHIP*SQRT(WC)/(SQRT(XINW)*G/(H(1)*.36))
XOUTW=XINW*(1-PSI*Z/(.2*H(N)))*2
GSG=(XOUTW+XINW)*.5*H(N)/H(1)
L=1
120 Z1=SZ*10*SINP
Z2=Z1/TR
WRITE(*,6000)Z1,Z2,XOUTW,GSG
I2=I2+1
IVEK(J1)=BLANK
130 IF(GSG.LT.5.E-5)GOTO 10
X1NW=XOUTW
IF(ABS((SZ-ZNK)/SZ).LE.1E-5)GOTO 300
GOTO(110,210),L
200 HB=H(N-1)*.1
HE=H(N)*.1
A=(HB-HE)/ZNK
HIN=HB
DH=A*Z
210 SZ=SZ+Z
IF(SZ.GT.ZNK) SZ=ZNK
HOUT=HIN-DH
HQU=(HIN+HOUT)*.5
PSI=PHIP*SQRT(WC)
PSI=PSI/(SQRT(XINW)*G/(H(1)*.36))
XOUTW=XINW*(PSI/A-(PSI/A-1)*SQRT(HIN/HOUT))*2
GSG=.5*(XOUTW+XINW)*HQU/(H(1)*0.1)
HIN=HOUT
L=2
GOTO 120
300 WC=XOUTW*WC

```

C FIGURA A-5
C DISEÑO DEL DADO DE EXTRUSION
C

```
10 DIMENSION TEXT(120),K(40),DP(500),GAMP(500),TK(500),GL(500)
WRITE(*,*)'INTRODUZCA EL NOMBRE DEL PRODUCTO'
READ(*,1000,END=999) TEXT
WRITE(*,*)'DE CUANTAS SECCIONES CUENTA EL DADO?'
READ(*,*)L
WRITE(*,*)'INTRODUZCA K'
READ(*,*) K
WRITE(*,*)'INTRODUZCA RM,RHO,CP,KL'
READ(*,1400) RM,RHO,CP,KL
WRITE(*,*)'INTRODUZCA A0,A1,A2,A3,A4,T,B1,B2,C1,C2,T0'
READ(*,1300) A0,A1,A2,A3,A4,T,B1,B2,C1,C2,T0
WRITE(*,3000) TEXT
WRITE(*,3001) RM
IF(B1.EQ.0..AND.B2.EQ.0) GOTO 20
AT=B1*EXP(B2/(T+273))
GOTO 30
20 AT=10**(-C1*(T-T0)/(C2+T-T0))
30 Q=RM/(RHO*3.6)
PI=3.1416
PI4=PI*.25
ZWI=42.7*CP*RHO/4.1868
DPC=0
TAG=T
Z5=Q*1E-6
WRITE(*,*)'AT,Q,PI4,ZWI,Z5',AT,Q,PI4,ZWI,Z5
I=0
RLG=0
DO 200 J=1,40
KJ=K(J)
IF(KJ.EQ.0) GOTO 210
GOTO(50,100,150),KJ
```

```
C
C CANAL CIRCULAR
C 50 WRITE(*,*)'INTRODUZCA D1,D2,RL'
READ(*,1200)D1,D2,RL
X=0
DX=RL/10
Z1=(D2-D1)/RL
Z2=32000*Q/PI
Z3=2E-3*DX
DPRL=0
DO 60 N=1,10
X=X+DX
RLG=RLG+DX
I=I+1
GL(I)=RLG
DXI=D1+X*Z1
RXI=.5*DXI
GAMP(I)=Z2/DXI**3
TK(I)=8/(GAMP(I)*DXI)
CALL UP(AT,A0,A1,A2,A3,A4,GAMP(I),RN,RK)
GRL=PI4**RN*(1E-3*RXI)**(3*RN+1)/Z3
```

```

DPX=(Z5**RN/(RK**RN*GRL))*1E-5
DPRL=DPRL+DPX
DPG=DPG+DPX
60 DP(I)=DPG
DTRL=DPRL/ZWI
TAG=TAG+DTRL
WRITE(*,3100) D1
WRITE(*,3110) D2
WRITE(*,3111) RL
WRITE(*,3150) DPRL
GOTO 200

C
C CANAL ANULAR
C 100 WRITE(*,*)'INTRODUZCA D1,D2,D3,D4,RL'
READ(*,1200)D1,D2,D3,D4,RL
X=0
DX=RL/10
PHI1=ATAN(0.5*(D2-D1)/RL)
PHI2=ATAN(0.5*(D4-D3)/RL)
PHI=0.5*ABS(PHI1+PHI2)
WRITE(*,*)'DX,PHI1,PHI2,PHI',DX,PHI1,PHI2,PHI
DZ=DX/COS(PHI)
TP1=2*TAN(PHI1)
TP2=2*TAN(PHI2)
Z1=1/37
Z2=6000*Q
Z3=2E-3*DZ
WRITE(*,*)'DZ,TP1,TP2,Z1,Z2,Z3',DZ,TP1,TP2,Z1,Z2,Z3
DPRK=0
DO 140 N=1,10
X=X+DX
I=I+1
RLG=RLG+DX
GL(I)=RLG
DZ1=D1+TP1*X
DZ2=D3+TP2*X
H=0.5*ABS(DZ1-DZ2)
W=PI*4*ABS((DZ1**2-DZ2**2)/H)
WRITE(*,*)'RLG,GL,DZ1,DZ2,H,W',RLG,GL,DZ1,DZ2,H,W
Z4=H/W
IF(Z4.LE.Z1) GOTO 120
IF(Z4.GT.2) Z4=2
FP=1.008-.7474*Z4+.1638*Z4**2
GOTO 130
120 FP=1
WRITE(*,*)'FP',FP
130 GAMP(I)=Z2/(W*H**2)
TK(I)=6/(GAMP(I)*H)
CALL UP(AT,A0,A1,A2,A3,A4,GAMP(I),RN,RK)
GRK=FP*(1E-2*W/60)**RN*(1E-3*H)**(2*RN+1)/Z3
DPX=(Z5**RN/(RK**RN*GRK))*1E-5
DPRK=DPRK+DPX
DPG=DPG+DPX
WRITE(*,*)'GAMP,TK,RN,RK,GRK,DPX',GAMP(I),TK(I),RN,RK,GRK,DPX
WRITE(*,*)'DPRK,DPG',DPRK,DPG

```

```

140 DP(I)=DPG
    DTRK=DPRK/ZWI
    TAG=TAG+DTRK
    WRITE(*,3200)D1
    WRITE(*,3210)D2
    WRITE(*,3211)D3
    WRITE(*,3212)D4
    WRITE(*,3213)RL
    WRITE(*,3150)DPRK
    GOTO 200
C
C
150 WRITE(*,*)'INTRODUZCA D1,D2,D3,D4,RL,RN1,B'
    READ(*,1200)D1,D2,D3,D4,RL,RN1,B
    RLG=RLG+RL
    I=I+1
    CL(I)=RLG
    RK1=2
    IF(D3.EQ.0) RK1=1
    W=(0.5*PI*(D1+D2+D3+D4)-RN1*B*RK1)/(RN1*RK1)
    H=(D1-D2+D3-D4)/4
    Z4=H/W
    IF(Z4.LE.1/37)GOTO 180
    IF (Z4.GT.2) Z4=2
    FP=1.008-0.7474*Z4+.1638+Z4**2
    GOTO 190
180 FP=1
190 GAMP(I)=6.E3*Q/(W*H**2*RK1*RN1)
    TK(I)=6/(GAMP(I)*H)
    CALL UP(AT,A0,A1,A2,A3,A4,GAMP(I),RN,RK1)
    CDH=FP*(1E-2*W/60)**RN*(1E-3*H)**(2*RN+1)/(2E-3*RL)
    DPH=(Z5**RN/(RK**RN*GDH))*1E-5
    DTH=DPH/ZWI
    DPG=DPG+DPH
    DP(I)=DPG
    TAG=TAG+DTH
    WRITE(*,3200) D1,D2,D3,D4
    WRITE(*,3210) RL
    WRITE(*,3300) RN1,B
    WRITE(*,3150) DPH
200 CONTINUE
210 WRITE(*,3400) DPG
    WRITE(*,3410) TAG
220 IF(KL.EQ.0) GOTO 10
    WRITE (*,3500)
    DO 300 N=1,I
300 WRITE(3,3600) CL(N),DP(N),GAMP(N),TK(N)
    GOTO 10
999 STOP
1000 FORMAT(20A4)
1400 FORMAT(3F10.0,40X,I10)
1300 FORMAT(6E13.5)
1200 FORMAT(7F10.0)
3000 FORMAT('1',20A)
3001 FORMAT(' FLUJO: ',10X,F15.5,'(KG/HR)')

```

```

3100 FORMAT('OD1:',17X,F15.5,'(MM)')
3110 FORMAT('D2:',17X,F15.5,'(MM)')
3111 FORMAT('L:',18X,F15.5,'(MM)')
3150 FORMAT('C.DE PRESION',5X,F15.5,'(BAR)')
3200 FORMAT('OD1:',17X,F15.5,'(MM)')
3210 FORMAT('D2:',17X,F15.5,'(MM)')
3211 FORMAT('D3:',17X,F15.5,'(MM)')
3212 FORMAT('D4:',17X,F15.5,'(MM)')
3213 FORMAT('L:',18X,F15.5,'(MM)')
3300 FORMAT('N:',18X,F15.5,'--')/'B:',18X,F15.5,'(MM)')
3400 FORMAT('CAIDA DE P.TOTAL',4X,F15.5,'(BAR)')
3410 FORMAT('TEMP.SALIDA',9X,F15.5,'(C)')
3500 FORMAT('LONGITUD CAIDA DE P.T. ESP CORTANTE T. RES')
3600 FORMAT(F5.1,F18.2,F12.2,F12.2)
      END

```

```

SUBROUTINE UP(AT,A0,A1,A2,A3,A4,GAMP,RN,RK)

```

C
C
C

```

      DETERMINACION DE N Y K

```

```

      ZWI=ALOG10(AT*GAMP)
      ETAA=10**(((A4*ZWI+A3)*ZWI+A2)*ZWI+A1)*ZWI+A0+ALOG10(AT)
      RN=(4*A4*ZWI+3*A3)*ZWI+2*A2)*ZWI+A1+1
      RK=GAMP/(ETAA*GAMP)**(1/RN)
      RETURN
      END

```

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA:

- 1.-EDWARD MILLER."PROPERTIES MODIFICATION BY USE OF ADITIVES". CALIFORNIA STATE UNIVERSITY, LONG BEACH.
- 2.-JOEL FRODOS."PLASTICS ENGINEERING HANDBOOK", VAN NOSTRAND REINHOLD NEW YOR 1976.
- 3.-ROBERT M. PARKS,"PLASTIZERS,VERSALITES, NECESSARY RESIN MODIFIERS". MONSANTO CHEMICAL Co., St. LOUIS, Mo.
- 4.-WILLIAMS R. RICHARD, Jr. "STABILIZERS KEYS TO AGELESS PLASTICS?" HYDROCARBON PROCESSING &PETROLEUM REFINER, MARCH 1962, VOL 41, pp. 123-126.
- 5.-ENGINEERED MATERIALS HANDBOOK VOL2,"ENGINEERING PLASTICS", ASM INTERNATIONAL 1988 USA. pp. 475-477.
- 6.-IRVIN RUBIK."HANBOK OF PLASTICS MATERIAL AND TECHNOLOGY", WILEY INTERSCIENCE NEW YOR, USA 1990. pp 549-563.
- 7.-JAMES W. SUMMERS, ELVIRA B. RABINOVITCH.
B.F.GOODRICH Co,"POLYVINYL CHORIDES (PVC)", J. VINYL TECHNOL., VOL 7 (No1) 1985, pp. 32.
- 8.-"ENCYCLOPEDIA OF PHISICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY", VOL 14, ACADEMIC PRESS, INC 1987 USA, pp. 307-314.
- 9.-"MODERN PLASTICS GUIDE TO PLASTICS BY THE EDITOR OF MODERNS PLASTICS ENCYCLOPEDIA, M*GRAW HILL 1981 NEW YORK,
- 10.-"MANUAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PLÁSTICOS ", INSTITUTO MEXICANO DEL PLÁSTICO INDUSTRIAL S.A., MEXICO 1989.
- 11.-J.A.BRYDSON,"PLASTIC MATERIAL" VAN NOSTRAND REINHOLD,1970
- 12.-"MODERN PLASTIC ENCYCLOPEDIA" M* GRAW HILL, NEW YORK 1987
- 13.-ALBRIGHT L.F. VINYL CHORIDE PROCESSES, CHEM. ENG MAR 27,1967, pp 123-130
- 14.-ALBRIGHT L.F. MANUFACTURE OF VINYL CHLORIDE, CHEM. ENG. APR.10 1967. pp 219-226
- 15.-PEGGION E., TESTA F. AND TALAMIN G. A. KINETIC STUDY OF THE EMULSION POLYMERIZATION OF VINYL CHLORIDE, MAKROMOLEKULARE CHEMICS. 71, 173 (1964).
- 16.-SMITH W.M., "VINYL RESINS" REHINHOLD, NEW YORK 1958.
- 17.-HARKINS. W.D."A GENERAL THEORY OF THE MECHANICS OF EMULSION POLIMERIZATION", J ACS., 69, 1428-1444 (1947).

- 18.-"EXTRUSION DE PLÁSTICOS", E.G. FISHER, COMPANIA EDITORIAL CONTINENTAL S.A. MEXICO 1970.
- 19.-B.H. MADDOK SPE JOURNAL, 15(MAY),383,(1959)
- 20.-J.F. CARLEY AND R.A STRUB,"BASIC CONCEPTS OF EXTRUSION".IND. ENG. CHEM. 45, 890,(1953).
- 21.-J.F CARLEY, R.S MALLOUK, AND J.M. McKELVEY."SIMPLIFIED FLOW THEORY FOR SCREW EXTRUDERS". IND. CHEM. 45, 974, (1953).
- 22.-J.F. CARLEY AND R.A STRUB. "APPLICATION OF THEORY TO DESING OF SCREW EXTRUDERS". IND. CHEM. 445, 978,(1953).
- 23.-J.M McKELVEY. "EXPERIMENTALL STUDIES OF MELT EXTRUSION". IND. CHEM. 445, 982, (1953).
- 24 .-R.S. MALLOUK AND J.M. McKELVEY."POWER REQUIEREMENTS OF MELT EXTRUDERS". IND. CHEM. 445,987,(1953).
- 25.-J.F. CARLKEY AND J.M McKELVEY."EXTRUDER ESCALE-UP THEORY AND EXPERIMENT". IND. CHEM. 445, 989, (1953).
- 26.-C.H. JEPSON."FUTURE EXTRUSION STUDIES". IND. CHEM. 445, 978, (1953)
- 27.-CROMPTON THOMAS ROY, "ADDITIVES MIGRATION FROM PLASTICS", OXFORD: PERGAMON
- 28.-WEBBER THOMAS g. "COLORING OF PLASTICS", NEW YORK. J. WILEY
- 29.-RAYMOND B. SEIGMOUR, "PIOONER IN POLYMER SCIENCE", DORLDRECHT: KLUMER ACADEMIC.
- 30.-PETER A. GRANDILLI,"THECNICAL HANBOOK OF PLASTICS" NEW YORK: VAN NOSTRAND REINHOLDS.
- 31.-SOCIETY OF THE PLASTICS INDUSTRY." PLASTIC ENGINNERING HANDBOOK OF THE SOCIETY OF THE PLASTICS IND., NEW YORK: VAN NOSTRAN REINHOLDS.
- 32.-WILLIAMS E. BROWN. "PLASTIC IN PACKING, PROPERTYES, DESING, AND FABRICATION" NEW YORK : MARCEL.
- 33.-R. W. DYSON ,"ENGINEERING POLIMERS", GLASGOU: BLAKIE
- 34.-MICHAEL AND IRENE ASH, "POOLIMERS AND PLASTICS", LONDON: E. ARNOLD.
- 35.-LOSZXEX A, ULTRAKI, " POLYMER ALLOYS AND BLENDS: "THERMODINAMICS AND REHOLOGY", MUNICH: HANSER.
- 36.-MUNSTEDT, H.: KUNSTSTOFFE 68 (1978), p.92
- 37.-TADMOR Z[POLYMRS ENGINEERING AND SCIENCE 7 (1966). p. 185