



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

“LA EXTRUSION DE P.V.C.”

MEMORIA DE DESEMPEÑO PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO QUIMICO PRESENTA:

LEOPOLDO ALBINO GRANADOS RAMIREZ ASESOR: DR. ADOLFO OBAYA VALDIVIA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2001

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de:

La memoria de desempeño profesional: " La extrusión de PVC "

que presenta el pasante: Leopoldo Albino Granados Ramirez
con número de cuenta: 8707529-2 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

A T E N T A M E N T E.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 28 de mayo de 2001

PRESIDENTE

I.O. Ariel Bautista Salgado

VOCAL

I.O. M. Rafael Samore Morales

SECRETARIO

Dr. Adolfo Obaya Valdivia

PRIMER SUPLENTE

I.O. Graciela Delgadillo García

SEGUNDO SUPLENTE

I.O. Gilberto Atlano Amaya Ventura

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN CAMPO 1

MEMORIA DE DESEMPEÑO PROFESIONAL: LA EXTRUSION DE PVC

ALUMNO: LEOPOLDO ALBINO GRANADOS RAMÍREZ

NÚMERO DE CUENTA: 87057529-2

CARRERA: INGENIERÍA QUÍMICA

MAYO DEL 2001.

INDICE

	Página
Carátula.....	
Indice.....	
Objetivo.....	1
Introducción.....	2
Capítulo 1 Cloruro de polivinilo (PVC)	
1.1 Introducción.....	3
1.2 Breve historia.....	4
1.3 Obtención.....	5
1.4 Clasificación.....	15
1.5 Composición.....	15
1.6 Propiedades.....	16
1.7 Aplicaciones.....	28
1.8 Medio ambiente.....	29
Capítulo 2 Extrusión de PVC	
2.1 Generalidades.....	37
2.2 Descripción del proceso.....	38
2.3 Descripción del equipo.....	39
2.4 Clasificación.....	45
Capítulo 3 Reporte de resultados de la extrusión de una moldura de PVC flexible.....	52
Capítulo 4 Aportaciones prácticas en la extrusión de PVC.....	53
Conclusiones.....	57
Anexos	
1. Obtención del PVC.....	
2. Tipos de aditivos.....	
3. Tipos de pigmentos.....	60
4. Normas SSA.....	60
Bibliografía.....	61

OBJETIVO

El objetivo de la presente memoria de desempeño laboral titulada " La extrusión de PVC " , es el de participar con una serie de conocimientos teóricos y experiencias prácticas del ramo de la transformación de los plásticos y en particular de uno de los procesos de transformación más importante: la extrusión.

El segundo material plástico más importante procesado por extrusión es el PVC, el cual actualmente se encuentra siendo utilizado en gran variedad de productos y aplicaciones, ya sea de manera independiente o conjugado con otros materiales (como con el ABS para perfiles utilizados en la industria automotriz) con la firme intención de hacerlo cada vez más útil.

El presente documento analiza de manera sencilla al PVC, sus propiedades y comportamiento durante el proceso de extrusión y expone una serie de resultados y comportamiento para la fabricación de un producto muy sencillo, intentando dar a conocer y relacionar los procesos de Ingeniería que se encuentran relacionados con el tema.

INTRODUCCION

El objetivo principal de un equipo para extruir PVC o cualquier otra resina, es producir una masa fundida uniforme, que se pueda moldear adecuadamente para obtener un artículo de calidad en forma y apariencia.

Este es el trabajo principal del husillo del extrusor, su configuración y características operativas son los principales parámetros para controlar la temperatura de la masa fundida, viscosidad y productividad de la máquina.

El nivel de conocimientos aquí presentados es de ingeniería por lo que se recomienda al usuario del mismo tenga conocimientos básicos del comportamiento de los plásticos.

En el capítulo 1 se presenta toda la parte química requerida para entender la obtención del PVC manifestando las reacciones requeridas, las condiciones y ventajas de cada una para la producción comercial de este producto.

El capítulo 2 presenta todo el desarrollo teórico necesario para entender el proceso de extrusión y el funcionamiento coordinado de cada una de las partes de la máquina, de igual forma incluye las operaciones unitarias presentes en dicho proceso.

Los capítulos 3 y 4 presentan las experiencias y conocimientos prácticos obtenidos a lo largo del tiempo en la extrusión de perfiles de PVC, los parámetros más importantes a controlar, las inestabilidades y el comportamiento del proceso dentro de un periodo de tiempo considerado como el adecuado para definir conclusiones.

CAPITULO 1

CLORURO DE POLIVINILO (PVC)

1.1 Introducción

Se denomina PVC (del ingles polyvinyl chloride, cuya traducción en español es cloruro de polivinilo), al polímero resultante de la asociación molecular del monómero cloruro de vinilo.

El PVC es un polímero termoplástico, capaz de modificar su forma y estructura al cambiar la temperatura, es el mas versátil del mundo ya que puede ser transformado por varios procesos en una infinidad de productos útiles. Por consumo ocupa mundialmente el segundo lugar detrás del polietileno.

El PVC es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus materias primas provienen del petróleo (en un 43%) y de la sal común (en un 57%).

Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, fabricado a partir de cloro y etileno. Esta polimerización se realiza por cuatro procedimientos: microsuspensión, suspensión, emulsión y masa.

Las excepcionales propiedades del PVC, junto con su interesante precio y gran versatilidad, hace que sea el segundo plástico de mayor consumo en el mundo, con una cifra actual en torno a los 23 millones de toneladas al año, de los que cerca de 6 millones se consumen en Europa occidental. Alemania, con 1.500.000 toneladas de pvc, es el país de Europa con mayor consumo.

La fabricación de la cadena del polímero (dicloroetano-cloruro de vinilo-polícloruro de vinilo) emplea, en Europa, aproximadamente a 28,000 personas. Si se integran las producciones de cloro y de etileno, la cifra aumenta a 47,000 personas.

El consumo específico de PVC en estados unidos, Japón y Europa es, respectivamente del orden de 21,16 y 15 kg. / habitante / año, cifras altas si se las compara con los 4 kg. / habitante / año del resto del mundo. En la península ibérica, la cifra es de 11 kg. / habitante / año, por lo que el consumo de PVC presenta un gran futuro.

Consumo Mundial de PVC Datos del año 1997, en miles de toneladas

Europa occidental(UE + Noruega + Suiza)	5.600
Japón	2.000
USA + Canadá	6.400
Latinoamérica(Brasil y México)	1.200
Alemania	1.500
España	446
Estimación consumo mundial año 2000	25.000

El PVC, producto de gran desarrollo industrial y comercial, ha alcanzado un nivel de utilización difícilmente igualable, lo cual, como suele suceder, ha traído consigo las críticas más variadas.

Dada la falta de rigor y de base científica de ciertas afirmaciones por parte de grupos ecologistas, es posible que el PVC sea el gran desconocido. Una de las misiones de este documento es contribuir a clarificar conceptos.

1.2 Breve historia

El monómero cloruro de vinilo se obtuvo por primera vez en 1835, por el francés Regnault, al tratar dicloruro de etileno con una solución alcohólica de hidróxido de potasio, mediante la siguiente reacción química:



En 1835, el francés Regnault obtuvo el monómero cloruro de vinilo, al tratar dicloruro de etileno con una solución alcohólica de hidróxido de potasio, pero también en esas mismas fechas en Alemania el investigador Justus Von Liebig obtuvo el mismo monómero mediante igual reacción.

En 1872, Bauman logro la polimerización del monómero, al exponer a la luz del sol un tubo de vidrio sellado, conteniendo cloruro de vinilo, descubriendo la formación de un precipitado o polvo blanco que no era afectado por una amplia gama de solventes.

La elaboración del PVC se patentó en 1913, y en 1914 se reporta el uso de peróxidos orgánicos como aceleradores de la polimerización en vez de la catálisis por luz solar.

Waldo Semon, en 1920 al calentar pvc con fosfatos de tritolilo a 150° c obtuvo la formación de masas tipo caucho que permanecían homogéneas a temperatura ambiente, iniciándose así la comercialización del PVC.

En 1928, surgen las patentes de los copolímeros (cloruro de vinilo - acetato de vinilo), es decir surge la copolimerización.

En 1929 Kyorioes patenta el uso del D-1,2 etil hexil ftalato (DOP) como plastificante para resinas de PVC y por lo tanto surgen aplicaciones de artículos flexibles para este material.

Posteriormente, durante los años de 1931 a 1933 Waldo Semon descubrió que el PVC también se plastificaba con sustancias como ftalato de dibutilo, el fosfato de tricresilo y el éter orto dinitro fenílico, ampliando este descubrimiento el número de patentes existentes para el desarrollo de compuestos de PVC plastificado.

Durante la segunda guerra mundial el PVC presenta un crecimiento considerable, empleándolo como recubrimiento de alambre y cable, desarrollando para este fin la compañía General Electric formulaciones especiales con retardantes a la flama.

En 1947 se realizan desarrollos de estabilizadores térmicos que combinan bario, cadmio, zinc y por otro lado, hace su aparición en México el PVC, como un producto que se comercializa pero que todavía no se produce dentro del país.

Finalmente en 1952 se instala la primera planta en México para producir PVC tipo homopolímero por el proceso de polimerización en suspensión.

En 1953 otra compañía produce el PVC en forma de copolímero y 8 años más tarde esta misma compañía fabrica PVC por emulsión.

De 1967 a 1972 se instala otra compañía que se dedica a la elaboración de PVC por el proceso de masa, contribuyendo a formar el soporte de la industria transformadora de PVC mexicana y de esta forma proveer de materia prima a la industria en sus tres principales formas de polimerización.

1.3 Obtención

1.3.1 Reacciones de síntesis.

Los polímeros son el resultado de la modificación de productos naturales o bien de reacciones de síntesis de materias primas elementales.

Las reacciones de síntesis son reacciones químicas que se llevan a cabo con un catalizador, luz o calor, en las que los monómeros se combinan para formar un polímero que puede ser diseñado por las reacciones iniciales del mismo y/o por reacciones posteriores con otros reactivos o estímulos como luz, calor u otros medios.

Estas reacciones se pueden clasificar en:

- Polimerización por adición.
- Polimerización por condensación.
- Copolimerización.

Además de este tipo de polimerizaciones, que son las más comunes y más conocidas existen otro tipo de reacciones de polimerización, que en menor medida también son utilizadas en la fabricación de polímeros comerciales, como son:

- Polimerización por transferencia de grupos.
- Polimerización por apertura de anillos.
- Polimerización por acoplamiento oxidativo.

Finalmente existen reacciones de modificación, donde los polímeros previamente generados se pueden someter a diferentes reacciones químicas para obtener otras propiedades:

- Modificación de polímeros.
- Hidrólisis.
- Copolimerización.
- Sistemas multipolímeros.

a) Polimerización por adición.

La reacción de adición se caracteriza porque el esqueleto del polímero formado está compuesto solamente de átomos de carbono y el número de átomos en la unidad repetitiva es igual al número de átomos en el monómero precursor:



La polimerización por adición también es conocida como vinílica.

Este importante método de polimerización industrial involucra la unión de moléculas insaturadas, denominadas monómeros, a través de enlaces múltiples.

No hay una diferencia esencial entre la posición relativa de los átomos en los monómeros que intervienen y la posición que ocupan en la unidad estructural del polímero final. Esta polimerización es una reacción en cadena. Los electrones π del doble enlace de una molécula del monómero se une a los electrones π del doble enlace del otro monómero.

Los monómeros utilizados tienen todos un doble enlace o varios. Los compuestos insaturados más comunes que polimerizan a través de sus enlaces múltiples contienen dobles enlaces carbono-carbono y son derivados del etileno.

Sin embargo, la polimerización por adición puede emplear estructuras vinílicas y estructuras de dienos.

Esta polimerización por adición se puede llevar a cabo en tres formas:

a.1) Radicales libres.

La polimerización por adición vía radicales es un proceso que consta de cuatro tipos de reacciones, las reacciones cuales ocurren a diferentes velocidades:

a.1.1) Reacción de iniciación. Consiste en la formación de especies activas, las cuales son capaces de iniciar la polimerización de los monómeros vinílicos que de otra manera no serían reactivos. Las especies activas pueden ser de tres tipos diferentes: radicales libres, aniones o cationes. La iniciación por radicales libres, por ser la más común, es la que se discute en este punto.

El proceso de iniciación de radicales puede ser inhibido por sustancias como el oxígeno. Este reacciona preferentemente con los radicales libres formando peróxidos o hidroperóxidos. Por lo tanto, no se inicia la polimerización y no se forma polímero, o, en el mejor de los casos, solo se forman cadenas oligoméricas. Para monómeros que son muy sensibles a esta condición, por ejemplo, estireno y metil metacrilato, la reacción de iniciación es llevada a cabo en atmósfera libre de oxígeno, usualmente de nitrógeno.

En la polimerización por radicales libres, la reacción de iniciación puede ser llevada a cabo por calor o luz; sin embargo, más comúnmente se realiza por la adición de un iniciador, un material que, por la acción del calor u otro estímulo, se descompone en radicales libres. Un radical libre es una molécula orgánica que contiene átomos con electrones desapareados.

Entre los iniciadores más utilizados están: peróxidos, hidroperóxidos, peróxidos de dialquilo, peróxido de diario, perésteres, compuestos azoicos y sistemas redox.

a.1.2) Reacción de propagación.

En esta etapa, el crecimiento de las cadenas se efectúa por fijación sucesiva del monómero sobre los centros activos. El radical monómero formado en el anterior proceso de iniciación, se adiciona a otras moléculas de monómeros en una sucesión rápida, denominada propagación para formar la cadena polimérica.

En esta propagación, el centro activo se mantiene localizado continuamente en el extremo de la cadena creciente. La propagación continúa hasta que el crecimiento de los radicales de cadena larga es desactivado por alguno de los siguientes procesos.

a.1.3) Reacción de transferencia de cadena.

La desactivación o terminación del crecimiento de las cadenas de polímero puede ocurrir por un proceso denominado transferencia de cadena.

Esta, a menudo origina la formación de cadenas de polímero de menor tamaño, es decir menor peso molecular, debido a que el proceso involucra la formación de nuevas especies de radicales libres las cuales pueden tener menor reactividad. La ecuación general de transferencia de cadena es:



Donde AB puede ser monómero, polímero, solvente o un modificador que se adiciona.

Los mercaptanos, tales como dodecil mercaptano y los solventes clorados, tales como el cloroformo, son agentes de transferencia de cadena usualmente empleados. Dependiendo de su reactividad, el nuevo radical libre formado (B^*) puede o no iniciar el crecimiento de otra cadena polimérica.

Los agentes de transferencia de cadena son usados con frecuencia para limitar el peso molecular del polímero.

a.1.4) Reacción de terminación.

Durante esta etapa, la polimerización se completa cuando el crecimiento de las largas cadenas de radical se desactivan completamente.

Esto puede ocurrir por diferentes vías:

a.1.4.1) Adición.

También denominada por acoplamiento o por combinación, consiste en la unión de dos cadenas largas de polímero radical.

Los electrones desapareados de dos radicales en crecimiento se combinan de nuevo de nuevo para formar un enlace covalente.

a.1.4.2) Dismutación.

En este caso, el hidrógeno final de uno de los radicales en crecimiento y su electrón libre se fijan sobre un segundo radical.

Entonces se obtienen dos cadenas macromoleculares, una terminada por una extremidad saturada y, la otra, terminada por un doble enlace.

Durante la polimerización, pueden operar los dos mecanismos anteriores juntos, o puede operar uno excluyendo al otro, de tal forma que el modo final en que ocurre la terminación depende de las condiciones experimentales y de los monómeros involucrados en la reacción.

En la polimerización por adición vía radicales libres, el peso molecular del polímero y de la temperatura de la reacción. De manera general, un incremento en la concentración del iniciador y en la temperatura,

usualmente origina un polímero de peso molecular promedio menor ya que el grado de polimerización es inversamente dependiente de la raíz cuadrada de la concentración del iniciador.

En ciertas polimerizaciones industriales por radicales libres, por ejemplo polímeros de látex de acrílico, las cadenas de radical de monómero libre pueden estar presentes al final del ciclo del proceso.

A menudo, pequeñas cantidades del iniciador son agregadas en ese momento, bajo la acción del calor, para completar la polimerización. Existen otras polimerizaciones que proceden por vía radicales libres como la inducida por fuentes de radiación.

a.2) Iónica.

Las polimerizaciones iónicas son aquellas en las cuales la parte creciente de la cadena polimérica está constituida por grupos orgánicos iónicos o cargados. En la polimerización llamada aniónica, intervienen carbaniones y en la catiónica, intervienen iones de carbono.

Los mecanismos de la polimerización aniónica no han sido tan claramente entendidos como los del proceso via radicales libres. Los sistemas de reacción son a menudo heterogéneos o multifase, envolviendo catalizadores inorgánicos y monómeros orgánicos. Esta polimerización origina frecuentemente polímeros de muy alto peso molecular a velocidades extremadamente altas, lo que hace difícil obtener los datos cinéticos, así como resultados reproducibles.

La iniciación de la polimerización iónica normalmente involucra la transferencia de un ión o de un electrón hacia o desde el monómero, con la consecuente formación de un par iónico.

El contra-ión de este par se mantiene cercano al extremo de la cadena creciente durante el tiempo de vida que esta tenga, particularmente en medios de reacción de baja constante dieléctrica.

Algunas estructuras posibles, como pares iónicos enlazados o en contacto, pares iónicos solvatados o separados por el disolvente y de manera extrema, iones libres, pueden ser distinguidos algunas veces de manera experimental, o incluso, pueden convivir en equilibrio.

En contraste con la polimerización via radicales libres, en la terminación de una polimerización iónica nunca se presenta la reacción entre dos cadenas crecientes, sino que se presenta normalmente la reacción unimolecular de una cadena con su contraión, o una reacción de transferencia que genera especies demasiado débiles o poco reactivas como para propagarse.

Un agente que retarda la polimerización via radicales, como el oxígeno, a menudo tiene muy poca influencia en la polimerización aniónica.

Sin embargo, impurezas que neutralizan al catalizador, inhiben la reacción, de forma que muchos compuestos aromáticos, heterocíclicos, olefínicos o acetilénicos retardan o terminan la polimerización iónica.

Además de las diferencias anteriores, la polimerización iónica puede ser distinguida de la polimerización via radicales libres por las velocidades de reacción tan extremadamente altas y las bajas temperaturas de reacción utilizadas, que son usualmente por debajo de 0°C.

a.2.1) Aniónica

La polimerización de ciertos dienos por metales alcalinos en polvo finamente dividido se desarrolló a principios del siglo. En 1956 se desarrolló la polimerización del isopreno con litio para producir un

elastómero semejante al hule natural. De entonces a la fecha, la polimerización aniónica constituye un método para la obtención de polímeros monodispersos y de copolímeros en bloque injertados.

La iniciación de la polimerización aniónica puede presentarse en dos formas: por medio de bases o por transferencia electrónica.

a.2.2) Catiónica

En 1866 se reportó la polimerización de estireno por acción del ácido sulfúrico. Otros estudios importantes se realizaron con catalizadores y se realizaron trabajos sistemáticos mucho tiempo antes de los de la polimerización aniónica, aunque los resultados actualmente son menos avanzados, debido a las dificultades teóricas para interpretar la gran variedad de resultados obtenidos.

El isobutileno o isobuteno puede ser polimerizado fácilmente en forma catiónica utilizando catalizadores tipo ácidos de Lewis, es decir aceptores de electrones. La polimerización se desarrolla en pocos segundos a -100°C y es extremadamente exotérmica, produciendo un polímero con peso molecular en el orden de varios millones y completamente lineal.

a.3) Coordinación.

Las olefinas por ejemplo propileno y los dienos como el butadieno o isopreno, pueden ser polimerizados utilizando sistemas de catalizadores de coordinación desarrollados por Ziegler y Natta. Estos catalizadores son típicamente combinaciones de tetracloruro de titanio y compuestos de alquil aluminio, tales como el trietil aluminio.

Estos catalizadores coordinan al monómero y en un proceso por pasos, se propagan y producen polímeros de alto peso molecular. Las especies iniciales son un complejo metal-alquilo y los monómeros se propagan insertándose uno tras otro en el enlace carbono-titanio polanzado.

Los polímeros formados por esta técnica son estereoespecíficos así como cristalinos. En el caso del propileno, un caso de estereoespecificidad, es la obtención del propileno isotáctico, en el cual la orientación espacial de la estructura del polímero es tal, que los medios laterales de la cadena polimérica presentan una configuración idéntica y repetitiva a lo largo de la misma.

En la polimerización por adición, muchos monómeros son capaces de polimerizar por más de un mecanismo. La polaridad del monómero y la fuerza ácido-básica del ion formado gobiernan la tendencia que tenga dicho monómero a formar polímeros por un mecanismo determinado.

b) Condensación.

La reacción de condensación se caracteriza porque en el esqueleto principal del polímero que se sintetiza se encuentran otros tipos de átomos diferentes de carbono, por ejemplo, de oxígeno y nitrógeno; además el número de átomos de la unidad repetitiva es menor que el encontrado en los monómeros precursores debido a que durante la reacción, algunas moléculas, como agua, alcohol o amoniaco, se forman como subproductos.

En este tipo de polimerización, la reacción se realiza por pasos entre pares de grupos funcionales asociados con dos diferentes moléculas o compuestos. Necesariamente entonces, todas las moléculas reactivas deben tener por lo menos dos grupos funcionales reactivos.

Se produce entonces una secuencia de reacciones de acoplamiento y se forma la cadena polimérica. Las unidades estructurales del polímero contendrán entonces grupos en los cuales, el arreglo de los átomos no es el mismo que se encuentra en los monómeros iniciales.

Esta polimerización se puede realizar en dos formas:

b.1) Con generación de subproductos.

En la polimerización por condensación, prevalecen las siguientes consideraciones:

-Pares de reactivos en los cuales cada constituyente tiene una funcionalidad de uno, por lo tanto solo pueden formar moléculas pequeñas o poliméricas.

-Cuando cada constituyente es bifuncional, sólo se forman polímeros de cadena lineal, estos polímeros son solubles y termoplásticos, no importa cuan largas lleguen a ser las cadenas formadas.

-Los pares de reactivos en los cuales al menos una pareja es bifuncional y la otra trifuncional, generan polímeros altamente ramificados, los cuales forman, finalmente, redes tridimensionales, que convierten al polímero en un material termoestable, el cual no funde y es insoluble en la mayoría de los solventes.

Por la técnica de polimerización por condensación se obtienen, entre otros, poliésteres, polímeros alquídicos, poliamidas, policarbonatos, polímeros fenólicos, polímeros aminicos como son las melaminas y las ureas, polisulfuros y poliimidas.

Desde el punto de vista del avance de la reacción, una diferencia fundamental entre las reacciones de polimerización por adición y por condensación, consiste en que si se interrumpe la reacción de poliadición, además de las moléculas de monómero que no han reaccionado, también se encuentran moléculas que ya han alcanzado su grado de polimerización definitivo. Por el contrario, si se interrumpe una reacción de policondensación, se detecta la presencia de macromoléculas, cuyo grado de polimerización aumenta continuamente con el grado de avance de la reacción.

Prácticamente, todas las moléculas puestas en juego participan en la reacción de policondensación desde su principio y el peso molecular de las macromoléculas podría alcanzar teóricamente un valor extremadamente grande, en función únicamente de la duración de la reacción y del desplazamiento de los equilibrios de eliminación, por ejemplo, del agua formada.

b.2) Sin generación de subproductos.

Este tipo de polimerización es un caso especial en la cual, no se eliminan moléculas, como subproductos durante la reacción. Los monómeros reaccionan unos con otros a través de la transferencia de átomos u otras partes activas de un monómero a otro, enlazándolos dentro de la cadena polimérica. Por esta razón, también se denomina como polimerización por transposición.

En algunas ocasiones también se considera que este tipo de polimerización es de un tipo de adición. De ahí que los polímeros fabricados mediante este mecanismo de reacción se denominen poliaductos, porque además de realizarse una especie de poliadición, quedan enlaces reactivos que generan puentes y convierten al polímero en un termofijo, el cual posee entrecruzamientos y no queda en forma lineal como sucede con una poliadición común donde se generan termoplásticos.

El ejemplo clásico de este tipo de polimerización, es la reacción de materiales polihidroxílicos con diisocianatos para formar los poliuretanos.

c) Copolimerización.

Por copolimerización se entiende a la polimerización conjunta de dos o varios monómeros diferentes, por lo que la macromolécula del copolímero obtenido contiene como unidades estructurales los monómeros participantes.

La copolimerización entre dos monómeros ha sido objeto de muchos estudios, mientras que las mezclas de tres o más compuestos polimerizables, provocan grandes dificultades de cálculo, debido al número de variables, sin embargo, también se producen técnicamente terpolímeros, a partir de tres monómeros.

Un copolímero tiene diferentes propiedades de aquellas que presenta la mezcla de los dos homopolímeros. En muchos casos, estas mezclas ni siquiera son posibles por la incompatibilidad intrínseca de los homopolímeros.

La flexibilidad de los homopolímeros amorfos, que poseen una elevada Tg puede ser incrementada incluyendo un monómero disponible con menor Tg en la cadena polimérica por la técnica de copolimerización.

Algunos polímeros vinílicos tienen una pobre adherencia a diferentes superficies cuando son aplicados como homopolímeros, por ejemplo el PVC. Esta propiedad puede ser mejorada por copolimerización con pequeñas cantidades de monómeros que tengan grupos polares.

El anhídrido maléico ha sido muy útil para este propósito, es por ello que la introducción de cantidades tan pequeñas como el 1% molar en el polímero de PVC origina una mejoría en lo referente a adherencia de este polímero a superficies metálicas.

Los pares de monómeros para copolimerizar deben ser escogidos con mucho cuidado con la finalidad de lograr el diseño propio en el copolímero. El anhídrido maléico prácticamente no homopolimeriza, pero copolimeriza fácilmente con estireno y cloruro de vinilo.

Se sabe que los monómeros varían en su tendencia a formar homopolímeros comparada a su tendencia a formar copolímeros con otros monómeros.

Los copolímeros pueden ser de bloque el cual consiste de cadenas de unidades monoméricas A enlazadas a cadenas de unidades de B.

También los copolímeros pueden ser injertados o de Graft que se obtienen fijando sobre una cadena macromolecular de un polímero -AAAA- cadenas laterales de un homopolímero -BBBB-. Dentro de los polímeros injertados existe cierta clasificación de acuerdo al mecanismo por el que fueron activadas las cadenas:

- Transferencia de cadenas.
- Fotoquímico.
- Radioquímico.
- Peróxidos.
- Policondensación.
- Poliadición.

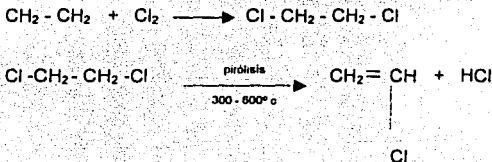
1.3.2 Procesos de Polimerización.

Las materias primas para la producción de PVC son, como se ha señalado, el petróleo y la sal común o cloruro sódico.

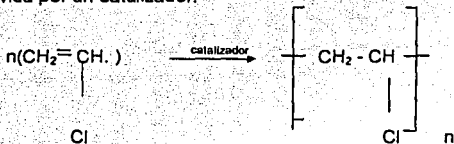
La refinación del petróleo da lugar a una fracción, las naftas, que, por medio de un proceso denominado cracking, producen, entre otras sustancias gaseosas, el etileno, una de las bases para la fabricación de pvc. Paralelamente el cloruro sódico se descompone por electrólisis, obteniéndose cloro y además hidróxido sódico e hidrógeno. Aproximadamente el 35% del cloro obtenido en este proceso se destina a la producción de PVC.

La reacción del etileno y cloro da lugar al monómero cloruro de vinilo (vcv), obteniéndose previamente el producto intermedio dicloroetano (edc). Mediante la polimerización del monómero vcv en reactores, en condiciones adecuadas de presión y temperatura, se obtiene el polímero policloruro de vinilo (PVC). En este proceso de polimerización las moléculas de monómero se agrupan en largas cadenas denominadas polímeros.

En México, la obtención del PVC se inicia a partir de la refinación del petróleo del que se extrae el etileno que al clorarlo directamente produce 1,2, dicloro etano, el cual al someterlo a una pirólisis entre 300 y 600°C se descompone en cloruro de vinilo y ácido clorhídrico, según las reacciones:



El monómero cloruro de vinilo se polimeriza, mediante una reacción química vía radicales libres, promovida por un catalizador:



La obtención del PVC, como resina, se lleva a cabo mediante cualquiera de los cuatro procesos básicos de polimerización:

- Suspensión
- Masa
- Emulsión
- Solución

a) Polimerización por suspensión

Este proceso utiliza al peróxido de laurilo como catalizador de la reacción, el cual es soluble en el monómero cloruro de vinilo y emplea agua (desionizada y deaerada) como fase continua. El monómero cloruro de vinilo se dispersa en un agente de suspensión, alcohol polivinílico por ejemplo, soluble en agua,

para reducir la aglomeración de partículas durante la polimerización, incrementando la viscosidad del agua y dilatando el proceso de unión de las gotitas formadas.

Los agentes de suspensión son solubles en agua pero insolubles en el monómero.

Para efectuar la reacción se emplean reactores de acero inoxidable, encaquetados, provistos de baffles que permiten mejorar la agitación y diseñados para soportar fuertes presiones internas.

La formulación para efectuar la polimerización en suspensión es la siguiente:

Monómero de cloruro de vinilo	100 partes en peso
Agua desionizada y deareada	200 partes en peso
Peróxido de laurilo	0.1 partes en peso
Alcohol polivinílico	0.1 partes en peso
Tiempo de reacción	de 20 a 21 horas
Grado de conversión de la reacción	95%

Cuando finaliza la reacción, previa recuperación del monómero residual, la suspensión pasa a centrifugación al vacío o decantación para separar el agua, continuando con el secado y enfriado de la resina para reducir el contenido de humedad. A continuación la resina se tamiza y finalmente se empaqueta.

Por este proceso se obtienen perlas duras con un tamaño entre 100 y 200 micrones que sedimentan en la fase acuosa o que se mantienen en suspensión, por medio de una acción mecánica, o con ayuda del agente de suspensión. El tamaño y porosidad de la resina dependerá del tipo y cantidad del agente de suspensión, de la agitación, de la temperatura y de la relación agua - monómero.

El control de temperatura se complica por la naturaleza inestable de la suspensión; la agitación es crítica, por lo que a medida que la viscosidad aumenta dentro de las perlas, la rapidez de la reacción aumenta de repente, y esto lleva a una oleada de calor. Por otra parte la viscosidad de la fase continua no cambia durante la reacción.

Por medio de este tipo de polimerización se obtienen homopolímeros y copolímeros.

b) Polimerización en masa

En este proceso el monómero cloruro de vinilo se polimeriza sin la presencia de agua, no se emplean agentes de suspensión ni emulsificantes, presentando las ventajas de un alto grado de pureza y simplificación en el secado del producto.

La polimerización en masa a escala industrial se realiza en dos etapas. En la primera se efectúa una prepolimerización obteniendo un grado de conversión del 10%, al comenzar la reacción existen dos fases: la del monómero líquido y la fase sólida del polímero formado, a medida que avanza la reacción la fase líquida del monómero va desapareciendo hasta permanecer la mitad del mismo. La segunda fase de la polimerización se efectúa trasladando la carga a un segundo reactor para completar el grado de conversión deseado de la reacción controlando la cantidad de masa necesaria para evitar subir la temperatura de la reacción.

Se obtiene como producto una esfera maciza con un tamaño de 800 a 200 micras, clasificada con tamices, además es muy porosa y por lo tanto tiene un alto valor de plastificantes.

Las variables importantes a controlar, durante el proceso, son la temperatura (50-60°C) y la agitación, por este proceso se obtienen únicamente resinas de tipo homopolímero.

c) Polimerización por emulsión

Es el proceso industrial más antiguo para la obtención de resina de PVC. En este proceso el polímero se dispersa en agua desionizada y deareada mediante el uso de agentes emulsificantes.

La presencia de agua como fase continua, durante la polimerización, permite una eficiente eliminación de calor.

Como emulsificantes se emplea una gran variedad de jabones y agentes tensoactivos como el sulfato de sodio laurilo, esteres sulfonados, estereato de amonio aceite de castor sulfonado, así como simples jabones de sales de los ácidos laurilo, mirístico, palmítico y esteárico.

La formulación de una polimerización en emulsión es la siguiente:

Monómero cloruro de vinilo	100 partes en peso
Agua	150 - 250 partes en peso
Jabón o agente tensoactivo	2 - 5 partes en peso
Catalizador soluble en agua	0,1 - 0,4 partes en peso

La reacción de polimerización por emulsión, requiere de un tiempo entre 12 y 18 horas para obtener un grado de conversión alto.

La temperatura de operación es de 40 a 55° C. A temperaturas de operación mas altas, se tendría un PVC con peso molecular más bajo y más inestable térmicamente.

Al finalizar la reacción, el monómero que no reacciona es desalojado por una bomba de vacío, y el polímero es secado por aspersion. En este proceso se prefieren los catalizadores solubles en agua, como el peróxido de laurilo.

El producto final es una emulsión de polímero en agua, y se obtienen resinas con tamaño de partículas extremadamente finas de 1 a 5 micras que pueden ser aplicadas en la fabricación de plastisoles y organosoles, pero también se pueden obtener partículas de 0.2 micras que se emplean para la producción de látex.

Por este proceso de polimerización se obtienen resinas de tipo homopolímero y copolímero, que generalmente se utilizan en la fabricación de plastisoles.

d) Polimerización en solución

También conocido como polimerización por precipitación resulta la menos comercial, que los procesos anteriores, debido a sus elevados costos de producción y a sus inconvenientes en la purificación de las grandes cantidades de solvente.

Este proceso consiste de un solvente en donde se encuentra disuelto el monómero (miscible), y durante la polimerización el polímero obtenido precipita a causa de que es insoluble en el solvente.

Como solvente el mas utilizado es el n-butadieno, pero se puede emplear el benceno, alifáticos clorados, ciclohexeno y tetrahidrofurano.

La ventaja de utilizar un solvente volátil radica en que el control de la temperatura es más fácil, porque el diluyente ayuda a sacar el calor producido en la polimerización por evaporación, es decir que actúa como un abatidor de calor.

El catalizador que se emplea es el peróxido de benzoilo al 0.005% en peso. El proceso se emplea para producir copolímeros con 10-25% de acetato de vinilo y 90-75% de cloruro de vinilo. El copolímero obtenido contiene pocas impurezas, ya que no existen emulsificantes o tensoactivos. El tamaño de partículas es de aproximadamente 0.2 micras.

Este proceso encuentra su mayor aplicación en disoluciones (barnices) para recubrimientos de envases metálicos de gran calidad y uniformidad.

Los métodos de obtención de PVC están representados en el anexo 1.

1.4 Clasificación

Las resinas de PVC se clasifican en homopolímeros y copolímeros:

Homopolímeros.- Se obtienen, por la asociación de monómeros iguales de cloruro de vinilo. Como estos no pueden ser procesados en estado fundido a temperaturas en que ocurren altas tasas de descomposición, para modificar sus propiedades es que se hace uso del proceso de copolimerización.

Copolímeros.- Combinando el monómero cloruro de vinilo con una cierta cantidad de otro monómero diferente llamado comonómero se obtienen los copolímeros, que pueden procesarse a altas temperaturas, son menos afectados por las operaciones de proceso, mejoran la calidad de la resina en cuanto a su flexibilidad y su ilimitada solubilidad en solventes.

Entre los principales copolímeros tenemos al acetato de vinilo y al acetato de vinildieno.

Los copolímeros actúan como plastificantes internos mejorando las propiedades que la de los plastificantes externos, debido a que estos incrementan la flexibilidad, pero no son adecuados para los requerimientos de solubilidad.

Combinando el monómero cloruro de vinilo con otro monómero como el acetato de vinilo, se obtiene un copolímero, que puede procesarse a menor temperatura.

Si en la primera etapa de la reacción de polimerización para obtener copolímeros, se usa un comonómero, es decir, otro monómero que participe en la polimerización y que tenga una velocidad de reacción mayor al cloruro de vinilo, se obtiene un polímero rico en contenido de comonómero.

Para obtener un copolímero de composición uniforme, debe dosificarse paulatinamente el comonómero en la polimerización a la misma velocidad que se esté consumiendo por la reacción.

Un PVC rígido no contiene plastificantes que modifiquen la flexibilidad del material, mientras que para obtener la flexibilidad requerida, es necesario aplicar el plastificante en la proporción necesaria.

1.5 Composición.

Si se usa un comonómero que tenga una velocidad de reacción mayor al cloruro de vinilo, se obtiene un polímero rico en el comonómero durante la primera etapa de la reacción, pero en la última parte de la reacción solamente se tiene una pequeña parte del comonómero y prácticamente pvc puro. Los

comonómeros que reaccionan así, con el cloruro de vinilo son: cloruro de vinilidieno, esteres acrílicos y esteres maléicos.

Para obtener un copolímero de PVC de composición uniforme deberá irse dosificando el comonómero dentro de la polimerización a la misma velocidad a la que se está consumiendo por la reacción. Entre los comonómeros que reaccionan tenemos así al:

Acetato de vinilo.- Su contenido en el copolímero varía de 2-20%. El copolímero con un contenido de 2% se usa para calandreo y los de 20% de acetato se usan para aplicaciones de solución, fabricación de discos fonográficos y losetas para pisos.

Además de la copolimerización existe otro método para modificar las propiedades de la resina de pvc, sobre todo de resistencia a la temperatura, que recibe el nombre de post-coloración.

Post-coloración.- Consiste en aumentar el contenido de cloro en las moléculas, en un 20% aproximadamente, y el producto recibe el nombre de cloruro de polivinilo clorado (cpvc).

La molécula de pvc normalmente contiene 57% de cloro y al efectuarse la post-coloración se eleva al 65%. Esto se obtiene al tratar dicha molécula, con cloro o cloroformo, llevándose a cabo una sustitución de hidrógeno por cloro.

La resina de PVC, tanto homopolímero como copolímero, se obtiene en forma de polvos.

Existe otra clasificación para las resinas de pvc, y es aquella referida a su peso molecular. Es decir, que hay resinas de peso molecular alto (pma), peso molecular medio (pmm), y peso molecular bajo (pmb). Las primeras (pma) se destinan para elaborar productos flexibles como mangueras y zapatos. Las segundas (pmm) se usan para fabricar tubería y perfiles rígidos y por último las terceras (pmb) se utilizan en la producción de películas, botellas y conexiones de partes eléctricas.

1.6 Propiedades

Al igual que la mayoría de los plásticos, el pvc no se degrada, ni se disuelve en agua, ni se pudre, lo cual es una ventaja, pues le permite ser un material idóneo para aplicaciones de media y larga duración (88%), en concurrencia ventajosa con otros materiales que tampoco son degradables.

Es ligero, químicamente inerte y completamente inocuo.

Resiste al fuego y a la intemperie, es impermeable y aislante (térmico, eléctrico, acústico), de elevada transparencia, protege los alimentos, es económico (relación calidad / precio), fácil de transformar (por extrusión, inyección, calandrado, termoformado, prensado, recubrimiento y moldeo de pastas), y totalmente reciclable.

El PVC no propaga la flama. Está clasificado como material no propagador de la llama, tanto por las compañías de seguros como por organismos europeos y norteamericanos.

Su comportamiento ante el fuego es mejor que el de otros materiales alternativos. En caso de combustión, los gases producidos por el pvc son fundamentalmente CO₂ y HCl. El HCl desprendido nunca ha sido considerado de elevado riesgo, ya que su fácil detección por vía olfativa le hace actuar ciertamente como alarma. Y en ningún caso es comparable, por ejemplo, al monóxido de carbono (CO), que es incoloro e inodoro y resulta mortal en dosis mínimas.

El PVC no es, ni puede ser, cancerígeno, a causa de su inercia química. Esta afirmación está avalada por diversos estudios, especialmente, por citar los más completos, los últimos experimentos a gran escala realizados por el Dr. Maltoni, cuyos resultados se presentaron en el simposium de Trieste en julio de 1993.

Precisamente por su inocuidad es empleado comúnmente en sectores que requieren un alto grado de pureza y calidad, tales como el alimentario y el sanitario-hospitalario, donde sus presentaciones tienen una amplia acogida.

Una de las muchas propiedades del PVC es su larga duración. Por este motivo, se utiliza a nivel mundial en un 55% del total de su producción en la industria de la construcción. El 64% de las aplicaciones del PVC tienen una vida útil entre 15 y 100 años, y es esencialmente utilizado para la fabricación de tubos, ventanas, puertas, persianas, muebles, etc.

Un 24% tiene una vida útil entre 2 y 15 años (utilizado para electrodomésticos, piezas de automóvil, mangueras, juguetes, etc.).

El resto (12%) es usado en aplicaciones de corta duración, como por ejemplo, botellas, tarimas, film de embalaje, etc., y tiene una vida útil entre 0 y 2 años. La mitad de este porcentaje (un 6%) es utilizado para envases y embalajes, razón por la que el pvc se encuentra en cantidades muy pequeñas en los residuos sólidos urbanos (rsu): tan sólo el 0,7%. Esta cantidad de envases y embalajes de PVC presente en los rsu, unido a la composición cualitativa de los mismos (no presencia de metales pesados), permite convenientemente la recuperación por valorización energética (incineración), además de la recuperación por reciclaje mecánico.

En resumen, las propiedades del PVC, que hacen que ocupe un lugar privilegiado dentro de los plásticos, son las siguientes: ligero; inerte y completamente inocuo; resistente al fuego -no propaga la llama-; impermeable; aislante (térmico, eléctrico y acústico); resistente a la intemperie; de elevada transparencia; protector de alimentos y otros productos envasados, incluidas las aplicaciones médicas (por ejemplo, plasma y sangre); económico en cuanto a su relación calidad-precio; y reciclable.

1.6.1 Propiedades del PVC como resina.

Se requiere establecer las características o propiedades del pvc como resina, para poder delinear la fórmula que permita someterla a los diversos procesos para su transformación y obtener los productos finales deseados.

Es un polvo blanco, inodoro e insípido, fisiológicamente inofensivo. Es un material amorfo, con un contenido teórico de 57% de cloro, es difícilmente inflamable y no arde por sí mismo. La estructura de la partícula a veces es similar a la de una bola de algodón. El diámetro varía dependiendo del proceso de polimerización.

Después del proceso de suspensión y masa se obtienen partículas de 80-200 micras, mientras que por emulsión se obtienen partículas de 0.2-5 micras, y por el proceso de solución las partículas tienen un diámetro de 0.2 micras.

La configuración de las partículas de PVC varía desde esferas no porosas y lisas hasta partículas irregulares y porosas.

El PVC que se produce para emplearlo con características flexibles debe poseer suficiente y uniforme porosidad para absorber plastificante rápidamente, debido a que a menor porosidad se obtiene mayor densidad aparente.

Peso molecular.- en las resinas de PVC, el rango de peso molecular varía de 50,000 hasta 150,000. Este valor influye en las propiedades mecánicas y físicas del polímero. A medida que el peso molecular del pvc aumenta se mejoran las propiedades físico-mecánicas: tensión, elongación, compresión, impacto, aumenta la resistencia química a los solventes, álcalis y, ácidos, la estabilidad térmica, el punto de fusión, la resistencia al envejecimiento, la viscosidad de fundido y las temperaturas del proceso pero, disminuye su procesabilidad y la solubilidad.

Conforme disminuye el peso molecular, las temperaturas de procesamiento de las resinas serán mas bajas y más fácilmente procesables; las propiedades físicas en el producto terminado, tales como la tensión y resistencia al rasgado son mas pobres; el brillo y la capacidad de aceptación de carga será mejor y la fragilidad a baja temperatura será mayor.

El peso molecular de la resina de pvc se mide indirectamente, es decir, determinando valores de viscosidad de una solución que contiene resina disuelta en un solvente. Los solventes más usados son la ciclohexanona y el nitrobenzeno.

Se determina viscosidad específica cuando la solución de resina contiene 0.4% de nitrobenzeno como solvente y se determina viscosidad inherente en soluciones al 0.5% de ciclohexanona.

La viscosidad relativa se determina por la formula:

$$V_{rel.} = V_1 / v_2 \quad \text{donde } V_1 \text{ viscosidad cinemática de la solución} \\ V_2 \text{ viscosidad cinemática del solvente}$$

A partir de los datos de la viscosidad relativa, y empleando la ecuación de Fikentscher se obtiene un valor "k", que es el de referencia para el peso molecular:

$$\text{Log. } V_{rel.} = ((75 k^2 \cdot 10^{-6}/1 + 1.5 k \cdot c \cdot 10^{-3}) + (k \cdot 10^{-3})) \cdot c$$

c= concentración (g/100 ml.)

1.6.2 Propiedades de la formulación

Para formular una resina de PVC se requiere de la adición de aditivos y se denominan compuestos de PVC cuando la resina base es de suspensión o masa, plastisoles cuando la resina base es de emulsión y organosoles cuando la resina base es de emulsión o solución y lleva un contenido de solventes.

La integración de los aditivos adecuados a las resinas, ayudan a estas, a mejorar su procesamiento, su presentación y a aumentar su resistencia a medios externos

Los aditivos se incorporan a la resina antes y durante su transformación y son de dos tipos: de proceso y funcionales.

Aditivos de proceso.- Facilitan el procesamiento de los plásticos evitando la adhesión de este a las partes metálicas de las máquinas, como ejemplo de estos tenemos a los estabilizadores térmicos, lubricantes, antioxidantes, modificadores de flujo, modificadores de viscosidad y agentes deslizantes.

Aditivos funcionales.- Sirven para modificar o aumentar las propiedades ya existentes en los plásticos y para proteger a los mismos de factores externos como la luz solar, fuego, microorganismos, etc. Dentro de los aditivos funcionales están los plastificantes, absorbedores de luz u.v., modificadores de impacto, fungicidas, retardantes a la flama, supresores de humo, cargas, pigmentos, desactivadores de metales, blanqueadores ópticos, aromatizantes y los agentes de acoplamiento, entrecruzamiento, nucleantes, antiestáticos, antibloqueo y finalmente los espumantes.

Los aditivos deben cubrir como mínimo los siguientes requisitos:

Tener facilidad de dispersión en el plástico. Estar debidamente aprobados por la SSA en México (ver algunos ejemplos en el anexo 4), FDA en USA o por la BGA en Alemania, cuando vayan a ser empleados en la manufactura de productos finales y en contacto con alimentos, que puedan desarrollar efectos secundarios, alterando el plástico en su color, olor, etc., y que esto provoque problemas de salud al usuario de dicho producto; y por último que sean económicos.

La cantidad de aditivos, para formular, suele referirse en función de cien partes de resina (pcr), por la facilidad de manejo de estas cantidades.

- **Propiedades de los aditivos.**

Fundamentalmente en su transformación y utilización ninguna materia plástica puede ser utilizada sin aditivos. Tampoco el pvc puede emplearse en estado puro. La razón por la que el pvc utiliza, proporcionalmente, más aditivos que otras materias plásticas, radica en su gran polivalencia, que permite usarlo en multitud de aplicaciones: rígidas o flexibles, transparentes u opacas, compactas o espumadas. La incorporación de los aditivos permite transformar la resina en un producto acabado. Entre los aditivos utilizados en el PVC hay que destacar, por su importancia, los estabilizantes, los lubricantes internos y externos, los plastificantes, los modificadores de impacto, las cargas y pigmentos. Los estabilizantes y los lubricantes son indispensables en la fabricación de pvc. El resto de los aditivos intervienen en función de las propiedades deseadas.

El papel de los principales aditivos es el siguiente:

- Estabilizantes: protegen al PVC contra la degradación por el calor y la luz.
- Plastificantes: dan al PVC una cierta flexibilidad.
- Lubricantes: los internos reducen la viscosidad del pvc fundido. Los externos impiden la adherencia y retardan la gelificación.
- Cargas: mejoran las propiedades mecánicas y disminuyen el precio del compuesto.
- Pigmentos: dan al pvc la coloración deseada, la opacidad y la protección contra los rayos u.v.

Los aditivos son compuestos orgánicos e inorgánicos que mezclados con la resina de pvc le imparten propiedades y la protegen de factores externos facilitando su procesamiento.

Aditivos de proceso.- Ayudan a un mejor procesamiento del PVC, evitan que el PVC se adhiera a las partes metálicas de las máquinas de transformación y con su aplicación, se obtiene una mayor velocidad de producción y, reducción de los desperdicios de materias primas.

Los aditivos de procesos se clasifican en:

a) Resinas de PVC.- En el mercado existe una gran variedad de ellas, para identificarlas se recurre a su valor k, que es una forma práctica de presentar su viscosidad inherente. Comercialmente los valores k van de 43 a 84 unidades.

Al aumentar la viscosidad aumenta su valor k. Sus propiedades físicas cambian conforme a su peso molecular o viscosidad inherente.

Para formular un compuesto de PVC se requiere escoger la resina conforme a los requerimientos en propiedades físicas finales como flexibilidad, procesabilidad y aplicación para un producto determinado.

b) Estabilizadores al calor.- El PVC es un termoplástico muy sensible al calor, cuya descomposición se manifiesta por un cambio de color, olor desagradable y disminución de sus propiedades. Por tanto, requiere de estabilizadores que retarden su degradación deteniendo el rompimiento de sus moléculas.

La degradación térmica del pvc se inicia, a una temperatura aproximada de 93° c, con el desprendimiento de ácido clorhídrico (concentración menor al 0.1%), el cual es neutralizado por el estabilizador a medida que es liberado por el polímetro.

Por tanto el estabilizador debe reunir los siguientes requisitos:

- Inhibidor del inicio de la degradación por calor.
- Ser aceptor del ácido clorhídrico.
- El producto de la reacción del ácido clorhídrico con el estabilizador debe ser insoluble y neutro.
- Compatible con la resina y los demás aditivos de la formulación.
- No toxico.

La característica principal de este tipo de estabilizador es que neutralizan el ácido clorhídrico y sustituye el cloro liberado en la molécula para evitar pérdida de propiedades del PVC.

Estos únicamente neutralizan el HCl liberado. El PVC requiere de estabilizadores con una concentración de 1 a 4 partes por cien de resina (pcr).

c) Lubricantes.- Se emplean para modificar las características de la superficie y la fracción interna del PVC, ayudándolo a un mejor y rápido procesamiento. Se clasifican como sigue:

Internos.- Que disminuyen el coeficiente de fricción entre las partículas y son compatibles con la misma. Ejemplo: los estereatos de ácidos grasos (ácido esteárico), alcoholes grasos (alcohol de estéril), amidas de ácidos grasos (etileno-bis-esteramida).

Externos.- Evitan la adhesión de la masa fundida a las partes metálicas y, son incompatibles con la resina. Como por ejemplo las ceras polietilénicas y a los aceites y grasas parafínicas.

Internos / externos.- Controlan el calor generado internamente en el material fundido, formando una película entre el material y las partes metálicas de la maquinaria, consiguiendo que se deslice sin que exista fricción. Dentro de estos tenemos a los ésteres de cera montánica (ceras de alto punto de fusión) y, los estereatos metálicos (estereato de calcio y plomo).

El PVC utiliza un nivel de lubricación y tipo de lubricante como se muestra a continuación:

Interno	Acido esteárico	0.2 a 0.8 pcr
Externo	Cera parafínica	0.3 a 0.8 pcr
Interno / externo	Ceras montánicas	0.2 a 0.6 pcr

d) Antioxidantes.- Son los encargados de inhibir o retardar el mecanismo de oxidación-degradación del PVC, provocado por altas temperaturas de procesamiento, velocidades de producción, radiación u.v. y temperaturas del medio ambiente.

Con el uso de estos aditivos, en la formulación del PVC, se evita el fenómeno de envejecimiento que se traduce en una decoloración de material (oxidación, se pone amarillo) y, en una pérdida de propiedades mecánicas como alta rigidez, alta elongación, mayor resistencia a la tensión, y baja resistencia al impacto.

El mecanismo de oxidación es el siguiente:

d.1) Iniciación



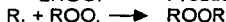
d.2) Propagación



d.3) Ramificación de cadena



d.4) Terminación



e) Modificadores de flujo.- Estos aditivos aumentan la resistencia durante el proceso de la masa fundida protegiendo las aristas de los perfiles de extrusión.

Son conocidos como ayudas de proceso, aceleran el proceso de fusión, mejoran la fluidez y dan cohesión a las moléculas para mejorar la resistencia al impacto.

Se emplean entre 1.0 y 5.0 pcr. Par el PVC se usa el polimetil metacrilato (pmma) con 0.8-2.0 pcr.

f) Modificadores de viscosidad.- Son compuestos que pueden disminuir o aumentar la viscosidad del polímero, para facilitar su procesamiento y aplicación.

Dentro de los que disminuyen la viscosidad y, por tanto aumentan la fluidez, están los ácidos grasos etoxilados, que adicionados a los plastisoles los hace útiles para el proceso de aspersión aumentando la velocidad de producción.

Por otro lado los que aumentan la viscosidad y, disminuyen la fluidez, como el estereato de aluminio o sílica, por ejemplo; adicionando a una resina poliéster insaturada, evitan el escurrimiento del material cuando se aplican manualmente.

Un buen control de la viscosidad permite obtener excelentes acabados del producto final.

g) Agentes deslizantes.- Este tipo de compuestos proporcionan lubricación en la superficie de las películas de PVC, evitando la adherencia de la película con la maquinaria, es decir permite que el

producto después de que sale de la extrusora se deslice bien sobre otros equipos, como calandrias, anillos, enfriadores y, otros, aumentando la velocidad de llenado y empacado.

El principal agente deslizante utilizado para PVC es la estereamida con una concentración recomendada de 0,05 pcr.

Aditivos funcionales.- Le imparten o aumentan las propiedades del PVC, tales como resistencia mecánica y térmica. La protegen del fuego y de los microorganismos, en general con la aplicación de este tipo de aditivos se obtiene un pvc más resistente y de mejor presentación.

a) **Plastificantes.**- Son ésteres de elevado punto de ebullición, proporcionan flexibilidad blandura y elongación del PVC.

Los plastificantes primarios poseen la facultad de solvatar al PVC haciéndose totalmente compatibles con el, aún en el envejecimiento. Pueden usarse como únicos en una formulación.

Los plastificantes secundarios presentan poca solubilidad y compatibilidad con el PVC por lo que no pueden ser usados como plastificantes únicos en una formulación.

Los plastificantes se utilizan para formular compuestos de PVC, en concentraciones de 5 a 60%.

b) **Absorbedores de luz U.V.**- Son compuestos químicos que evitan la foto-degradación del PVC, causada por la radiación u.v. de la luz solar. Es decir, que absorben la luz u.v., protegiendo el plástico de los efectos de la radiación.

Los absorbedores mas usados son las benzofenonas, benzotriazoles, salicilatos, aminas poliméricas, malonatos, benzoatos, oxalínicos y compuestos de níquel.

Un absorbedor de luz U.V. mezclado con bióxido de titanio forma una película doble llamada barrera, mejorando la estabilidad a la luz solar.

c) **Modificadores de impacto.**- Estos aditivos mejoran o aumentan la resistencia al impacto del polímero, sin impartir blandura o flexibilidad, es decir, que proporcionan características elásticas con la capacidad de absorber choques o sacudidas sin fractura.

d) **Cargas.**- Son materiales orgánicos e inorgánicos. Se utilizan para mejorar las propiedades físicas y químicas de los compuestos de PVC. El más utilizado para este polímero es el carbonato de calcio con 0,07 a 50 m. De tamaño. También se utilizan para bajar costos. En el anexo 1 se presenta la clasificación de estas cargas.

e) **Agentes de acoplamiento.**- Actúan como un enlace entre la parte orgánica del polímero con la carga que normalmente es inorgánica.

Las cargas se incorporan a nivel molecular, aumentando lógicamente el porcentaje de carga total pero sin modificar las propiedades mecánicas del material.

También, mejoran la dispersión de las películas aglomeradas y, aumentan las propiedades mecánicas y de procesamiento.

Los de mayor aplicación son los titanatos y pueden usarse en concentraciones del 0.2 al 2.0 pcr de acuerdo a las propiedades finales que requiera el producto. Los utilizan todos los plásticos que son formulados por cargas.

f) Agentes de entrecruzamiento.- Son compuestos químicos que enlazan las moléculas del polímetro, formando una malla que lo vuelve mas estable, aumenta sus propiedades mecánicas y le mejora la resistencia al medio ambiente.

Los agentes de entrecruzamiento se utilizan en el PVC en un rango de concentraciones del 5 al 8%.

g) Agentes antiestáticos.- El PVC tiende a mantener las cargas estáticas acumuladas en su superficie, ya que no es conductor eléctrico, provocando atracción de polvo, adhesión con otros materiales y generación de chispas eléctricas capaces de generar un incendio.

Los agentes antiestáticos disipan las cargas electrostáticas del polímetro, evitando los problemas antes descritos. Se adicionan al plástico durante su procesamiento y después de un tiempo migran a la superficie ejerciendo su función. Estos pueden ser internos o externos.

La concentración requerida por la formulación de pvc de agentes antiestáticos internos es de 0.5 a 1.5 pcr generalmente de alquilsulfonato de sodio.

Los externos se aplican sumergiendo los productos moldeados en la solución, para generar una película que hará las veces de antiestático. Esta cubierta es temporal, ya que con el paso del tiempo, cae y hay que aplicarla nuevamente.

h) Agentes antibloqueo.- Se emplean para reducir o impedir la adhesión entre películas delgadas, laminillas (foil) o láminas, cuando son sujetas a una presión e incremento de temperatura. La adhesión se presenta principalmente en los rollos o pilas de películas plásticas bajo presión.

Los agentes antibloqueo se agregan en la tolva de alimentación en forma de polvo, integrados a la carga total del material, para que una vez procesados, la película salga modificada con estos aditivos.

Dentro de este tipo de aditivos tenemos al silicato de calcio, y a las ceras de aminas.

Para PVC, el silicato de calcio debe tener una concentración de 0.1 pcr y si se emplea la cera de amina entonces su concentración será de 1.0 pcr.

i) Deactivadores de metales.- Son compuestos químicos que se emplean para neutralizar la descomposición de los plásticos por la presencia de los metales. Para PVC, se utilizan en su porcentaje del 0.05 al 0.2 pcr.

j) Pigmentos y colorantes.- Sirven para impartir color a los plásticos dándoles una apariencia agradable. Se caracterizan por ser sustancias sólidas muy finas e insolubles, que con un vehículo adecuado, desarrollan color. Se conocen como pigmentos aquellos que forman aglomerados y colorantes los que no los forman.

Se dice que se trata de pigmentos cuando se encuentran en forma de partículas insolubles en el polímetro y de colorantes o tintas cuando sí se solubilizan en el polímetro y por lo tanto este no pierde su transparencia.

El efecto típico de los pigmentos se basa en la absorción de la luz, siendo que el índice de refracción de los pigmentos difiere apreciablemente de un plástico a otro.

Cada uno de los pigmentos presenta diferentes propiedades y de acuerdo a estas se define su uso.

Existen pigmentos orgánicos que presentan las siguientes propiedades: excelente brillo y buena transparencia, baja estabilidad al calor, alto precio, tendencia a migrar y facilidad de dispersión. Los diferentes pigmentos orgánicos se muestran en el anexo 3.

Los pigmentos inorgánicos presentan las propiedades siguientes: resistencia al calor, estabilidad a la intemperie, facilidad de dispersión, resistencia al sangrado, alta opacidad y bajo precio. Los pigmentos inorgánicos se presentan en el anexo 4.

La concentración de pigmentos no tiene un intervalo de uso, ya que se aplica en los materiales de acuerdo al tono deseado, aplicándolo en polvo, líquido o master batch.

Existen en el mercado distintas preparaciones de pigmentos, a saber:

a) Tintas: donde el pigmento se encuentra en forma totalmente dispersa, con el fin de asegurar la distribución homogénea en el plástico. Ejemplo típico son las partes plastificadas para la coloración del PVC.

b) Concentrados de pigmentos sólidos: donde el pigmento se encuentra totalmente en un portador sólido, es decir, la resina con una compatibilidad adecuada, y distribuido homogéneamente.

c) Mezclas de pigmentos especiales: son combinaciones preparadas para ser dispersadas en pigmentos inorgánicos y/o cargas con pigmentos orgánicos de baja dispersabilidad.

La clasificación de los pigmentos especiales es:

c.1) Pigmentos fluorescentes: Tienen como principal característica la capacidad de convertir la luz ultravioleta en color, resultando una elevada reflexión de luz, que conduce a tonalidades muy fuertes.

Con excepción de la naftaldazina, son colorantes fluorescentes depositados en plásticos como resultado de su insolubilidad.

Ellos difieren de los pigmentos convencionales por su poder de hinchamiento y por el hecho de que su resistencia al solvente no es óptima.

c.2) Pigmentos metálicos: Empleados para dar aspectos metálicos decorativos a las piezas de plástico.

Están constituidos por polvo o laminillas de aluminio, cobre o zinc, así como mezclas de cobre y zinc. Durante la transformación, el mismo sistema las coloca de forma conveniente. Son muy sensibles a los ácidos y oxidantes; el brillo obtenido es función de la posición de las partículas metálicas en el polímero, y cuando las laminillas se encuentran perpendicularmente orientadas al eje de visión, se alcanza el máximo efecto.

En caso de desear la adición del color, se recomienda usar aluminio en combinación con pigmentos transparentes o colorantes.

c.3) Pigmentos perlescentes o nacarantes: Basados en partículas de mica recubiertas con dióxido de titanio. Son transparentes y poseen un elevado índice de refracción. Para conseguir matices que van desde el plata al rojo, pasando por el amarillo oro, se añaden óxidos metálicos al acabado con dióxido de titanio.

Durante el procesamiento debe evitarse someterlos a grandes fuerzas de cizallamiento por la posible fractura de laminillas, así como lograr una buena distribución del pigmento en la matriz polimérica, no obstante debe tenerse cuidado en el uso de ellos porque suelen dejar marcas de flujo en los productos.

Las principales aplicaciones de estos pigmentos son en pinturas y recubrimientos para automóviles, artículos domésticos, botellas, pisos, películas, juguetes, bisutería y muebles para jardín.

El PVC es uno de los materiales que presenta mayores cuidados en su procesamiento debido a la baja resistencia térmica y a la gran cantidad de aditivos que contiene: por esta razón existe la posibilidad de reaccionar el pigmento con el compuesto.

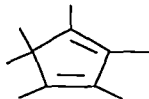
Los pigmentos deben tener resistencia al HCl, ácido clorhídrico en caliente y es necesario evaluar la naturaleza del pigmento para evitar reacciones con los aditivos, eliminando los formados por zinc, tungsteno, magnesio, cobalto, cloro, hierro y azufre. Las aplicaciones de PVC flexible son más fáciles de pigmentar que el PVC rígido. En este último caso se presentan variaciones de color por el uso de cargas y pierde cierta estabilidad química con los pigmentos perlescentes.

Las concentraciones para PVC son de .01 pcr para entonar y hasta 20 pcr para interperie.

El colorante para botella de PVC, debe tener 0.002% de pigmento.

k) Retardantes a la flama.- Son aditivos que ayudan al plástico a inhibir su flamabilidad cuando arde y en el PVC incrementan su propiedad de autoextinguible, eliminando al oxígeno de la reacción de combustión.

El hexacloro ciclopentadieno es el retardante a la flama, usado para PVC flexible en niveles de 7 al 20% y como segunda opción el polietileno clorado.



La alumina trihidratada tiene efectos de retardar la flama cuando el material se calienta arriba de los 200° c, momento en el cual libera el agua en forma de vapor provocando la extinción de fuego. Se requiere de una alta concentración de 20 a 30% de este aditivo para conseguir el efecto de retardo cuando se aplica al PVC flexible.

Los fosfatos orgánicos presentan una aceptable retardancia a la flama, sus desventajas son impartir su plastificación al producto y ciertos problemas de migración. Se usan niveles, para PVC flexible, que van del 5 al 20%.

Los productos flexibles con más de 30 pcr de plastificante requieren retardantes a la flama adicionales como el óxido de antimonio, hidrocarburos, clorados o bromados.

l) Supresores de humo.- Son aditivos que tienen como finalidad reducir el humo liberado durante la combustión del plástico, provocando la precipitación de las moléculas de carbono suspendidas en el aire.

Para PVC las concentraciones de estos aditivos van de 2 a 6%.

m) Agentes espumantes.- Son compuestos químicos que se utilizan para producir espacios en el material reduciendo el peso y costo, aumentando la resistencia mecánica, el aislamiento acústico y térmico.

En general, se logran plásticos con otra apariencia y mejora de propiedades.

La espumación física se presenta cuando se manejan materiales de alta volatilidad, por lo que al mezclarse con el PVC y aumentar la temperatura durante el procesamiento se libera el gas y genera celdas en el material.

Los espumantes químicos son los de mayor uso. Durante el procesamiento, se descomponen con la temperatura generando un gas que da lugar a celdas en el material, y dependiendo de la cantidad de agente espumante será la firmeza de la celda.

n) Fungicidas.- Estos aditivos evitan la proliferación de microorganismos y el ataque de estos al plástico cuando este se encuentra con el agua o en ambientes húmedos, es decir que protegen al plástico contra los hongos y el moho. Su selección depende de la estabilidad al calor, toxicidad, compatibilidad e intemperismo y, se utiliza para pvc en diferentes concentraciones de acuerdo al tipo de fungicida utilizado.

o) Blanqueadores ópticos.- Estos aditivos se utilizan en la formulación del compuesto de pvc para ocultar el amarillamiento, incrementar el brillo y la intensidad de los colores en los productos termoplásticos ya terminados.

El PVC puede utilizar, a la fenil cuumarina o benzoxasola, en un nivel de concentración de 50 hasta 500 ppm.

p) Aromatizantes.- Poseen la propiedad de impartir olor a los plásticos, ya sean de frutas, vegetales, animales o esencias. Son concentrados que comercialmente, se encuentran en forma de pellets, líquidos o en base master batch.

El concentrado está elaborado a base de polietileno, polipropileno o etilen-vinil-acetato (eva), por lo que presenta una compatibilidad limitada con el PVC.

El nivel de concentración a utilizar de este concentrado para PVC es de 0.2 a 1.0%.

1.6.2 Propiedades del PVC como compuesto

- o Propiedades físicas.

Densidad. - El valor típico para la resina de PVC tipo homopolímero es de 1.4 g/cm³

Los compuestos modifican su densidad al adicionar cargas o plastificantes (aditivos). El plastificante reduce la densidad del compuesto. Por cada 10 partes de DOP se reduce en 0.02 g/cm³ aproximadamente, mientras que la carga aumenta en función del tipo que se trate.

- o Propiedades térmicas.

Estabilidad térmica.- Durante su procesamiento las resinas se degradan al recibir calor y luz. La degradación provoca un empobrecimiento de sus propiedades mecánicas, así como un amarillamiento. Para evitar esto se adicionan los estabilizadores dentro de los cuales tenemos a los primarios, como los compuestos de estaño: maleato dibutil estaño; sales de bario, calcio, zinc; jabones y sales de plomo y los secundarios como los epoxilados, aceite de soya epoxidado y los fosfitos, fosfito de fenil dodecilo. Para PVC se requieren estabilizadores con una concentración de 1 pcr.

Temperatura de fusión.- La temperatura de fusión de los homopolímeros es de 170° c aproximadamente y de 130° c de los copolímeros. Al ser formuladas las resinas, con los modificadores, los plastificantes y en general los aditivos, la temperatura de fusión varía.

- o Propiedades reológicas

Quando se obtienen resinas de suspensión y masa, en forma de polvo, y estas se procesan, gradualmente se transforman en un líquido viscoso, de características no newtonianas, la temperatura óptima de operación debe ser de 160 a 180° c, a la cual la masa fundida tiene las propiedades de flujo más adecuados para realizar el proceso de transformación.

Quando se obtienen resinas de emulsión, en forma de plastisol, sus principales propiedades son: la viscosidad, la dilatación y el esfuerzo mínimo de deformación.

Al aplicar calor a un plastisol su viscosidad se eleva gradualmente y el material se transforma en sólido después del enfriamiento. Mediante la apropiada viscosidad se controlan los espesores y velocidad de aplicación y las características del producto terminado. La temperatura óptima de fusión de los plastisoles es de 175° c con la que se obtienen las propiedades óptimas de elongación y tensión así como un flujo con características no newtonianas.

La dilatación del plastisol ocurre cuando la viscosidad aparente se reduce al aumentar la fuerza cortante (series paralelas): a menor cantidad plastificante mayor dilatación.

El esfuerzo de deformación es la fuerza inicial mínima para comenzar el movimiento de un plastisol. Este esfuerzo debe controlarse para cada tipo de formulación de la resina.

El esfuerzo mínimo de deformación es la fuerza inicial mínima para comenzar el movimiento de un plastisol. Este esfuerzo debe controlarse para cada tipo de formulación de la resina.

- o Propiedades químicas

La resina de PVC es soluble en ciclohexanona y tetrahidrofurano. Cuando forma el copolímero, con el acetato de vinilo o cloruro de vinilideno, se reduce su temperatura de fusión. El PVC puede postclorarse para formar el cpvc elevando su temperatura de distorsión. Resiste bien a ácidos y bases fuertes, también regularmente a solventes orgánicos y tiene una buena resistencia a los efectos del medio ambiente, principalmente al ozono.

- o Propiedades eléctricas

El PVC posee un gran poder de aislamiento eléctrico, que se mejora notablemente usando estabilizadores y cargas como aditivos. Para medir cuantitativamente este aislamiento se emplea el método de resistividad volumétrica.

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

Los tipos de aditivos, pigmentos, estabilizadores, protectores, etc., están representados en el anexo dos.

1.7 Aplicaciones

Algunos ejemplos que se señalan a continuación muestran las múltiples aplicaciones de este plástico que, debido a su gran versatilidad, es utilizado en numerosos y diversos sectores; en algunos de ellos, este material es imprescindible.

Construcción: tubos para distribución de agua potable y evacuación; ventanas; puertas; persianas; suelos, láminas para impermeabilización de tejados y piscinas; revestimientos murales; perfiles rígidos para cables eléctricos, etc.

Envase y embalaje: botellas (agua mineral, aceites comestibles, zumos, etc.), taminas, envases farmacéuticos, cosméticos, detergentes, etc.

Medicina: bolsas para suero, plasma y sangre, catéteres para transfusiones y diálisis, y guantes quirúrgicos. De hecho, según la conferencia presentada por G. Voituron en Davos (Suiza) en abril de 1992 con el título "Soft pvc in medicals applications", el uso del pvc como material de envasado y conservación de la sangre humana y el plasma permite prolongar en un 30% la vida útil de estas sustancias biológicas.

Automóvil: paneles de puertas, tableros de mandos, perfiles embellecedores, cables eléctricos, juntas de ventanas, tapicerías, etc.

Electricidad y electrónica: cables eléctricos para uso doméstico e industrial, cajas de distribución, perfiles rígidos para cables, tubos, enchufes, etc.

Agricultura: láminas para impermeabilización de balsas y canales para riego; tubos para riego y drenaje; mangueras; films para invernaderos, etc.

Juguetes: muñecas, pelotas, artículos hinchables, etc.

Mobiliario: de jardín, oficina, etc.

Marroquinería: bolsos, maletas, carpetas, tapicerías, etc.

Artículos de papelería: carpetería, forro para libros, etc.

Jerseys hechos a partir de botellas de PVC recicladas: una firma francesa ha desarrollado una tecnología para producir fibra a partir de botellas usadas de PVC, como por ejemplo, las de agua mineral. Partiendo de estas botellas de PVC, procedentes de la recogida selectiva y una vez lavadas y molidas en una planta de reciclaje, se somete a un proceso por el que se obtiene una fibra para fabricar tejidos muy aislantes y con propiedades ignífugas, idóneas para la fabricación de jerseys. Otra aplicación de este tejido puede ser el tapizado de butacas de cine y teatros, que debe realizarse con materiales resistentes al fuego. Para confeccionar uno de estos jerseys tan sólo se necesitan 27 botellas de PVC.

Persianas y losetas de pvc reciclado: el material procedente de las botellas de PVC usadas es utilizado por una firma inglesa como relleno de perfiles destinados a la confección de persiana orientable. La técnica se basa en la coextrusión de una capa de pvc denso sobre un sustrato de pvc espumado. También una firma española fabrica losetas para suelos de pvc reciclado con material procedente de la recuperación de cables eléctricos.

Pista de esquí de PVC: Barcelona dispone desde hace unos años de la primera pista de esquí urbana hecha de PVC. Tiene una superficie de 70 metros de longitud y 15 de ancho. Los filamentos de pvc reproducen bajo los pies una sensación muy parecida a la del esquí sobre la nieve.

Sombreros de PVC: Diversos modelos famosas han desfilado por las pasarelas de todo el mundo luciendo un original sombrero de PVC. La idea del diseñador Philip Tracy, que ha colocado el pvc entre los materiales de más alto nivel, ha conseguido el reconocimiento internacional y ha sido aplaudida por diseñadores de moda tan famosos como Valentino, Lagerfeld o Versace.

Cubierta del "Stade de France" del mundial de fútbol 98: la membrana de PVC usada para la cubierta de este emblemático estadio francés, cubre una superficie total de 50.000 m² y pesa 75 toneladas, es decir, tan solo el 6 por 1.000 del peso total de la estructura de 13.000 toneladas. Este estadio se ha construido sobre un anterior emplazamiento industrial cuyo subsuelo está contaminado con sustancias gaseosas. La colocación de una lámina impermeabilizante de PVC (22.000 m²) a la profundidad de 1 metro, evita las emanaciones de estos gases, que originaban olores desagradables.

En Europa sus aplicaciones más importantes se destinan a los siguientes sectores:

Construcción	51%
Envases	3%
Alimenticio	11%
Otros	6%
Agricultura	10%
Bienes de consumo	8%
Cables	7%
Automotriz	3%
Usos médico	4%

1.8 Medio ambiente

Los análisis del ciclo de vida (acv) realizados hasta el momento sitúan al PVC como un material favorable al medio ambiente, tal como han establecido los ecobalances realizados por las siguientes instituciones:

- Universidad de Berlín (1988).
- Österreichisches forschungsinstitut für chemie und technik (1990).
- Buwal (Suiza 1991).
- Österreichische initiative wetwolle kunststoffe (1991).
- Eco-bilan s.a (Francia 1992).
- Vito (Bélgica 1994)
- Apme (1994)

El ecobalance de cualquier producto o material se cuantifica siguiendo los siguientes criterios:

1. Efluentes gaseosos

Se comparan los diversos contaminantes con los niveles mik (máxima concentración a nivel de inmisión) y se considera la cantidad de aire necesaria para que cada uno de dichos contaminantes respete los mik

establecidos. En caso de que para un contaminante dado no exista un valor máx, se toma el valor máx (concentración máxima admisible en los lugares de trabajo).

2. Efluentes líquidos

Según el mismo criterio que para el aire, pero respetando la normativa correspondiente a los vertidos líquidos y utilizando el agua como elemento de dilución.

3. Efluentes sólidos

Se determina el volumen teórico que ocupará en el vertedero tomando como base su peso específico.

En cuanto a las materias primas del PVC, hay que señalar que la sal, de la que proviene el PVC en un 57%, es un recurso inagotable.

El 86% del consumo mundial de petróleo se quema y únicamente el 4% se emplea en la producción de plásticos. Del total, tan sólo un 0,25% se emplea para la producción del PVC.

El consumo total de energía para la producción de 1 kg de pvc es de 65 megajulios (media europea). Esta cifra es significativa si se tiene en cuenta que con 1 kg de pvc se fabrican 25 botellas de 1,5 litros de agua.

Aspectos medioambientales

Para realizar un análisis más detallado de la relación del PVC con el medio ambiente, hay que tener en cuenta distintos aspectos:

a) El PVC en el proceso de producción

Las fábricas de PVC se cuentan entre las más seguras de la industria química, debido a que sus unidades de producción están sometidas a una continua mejora y modernización, tanto de las instalaciones como de los procesos. Los sistemas de medida y control en la producción de PVC se han multiplicado, son sumamente rigurosos y capaces de minimizar cualquier posible riesgo a valores ínfimos y compatibles con los estándares de calidad de vida, seguridad y respeto del medio ambiente.

Los sistemas de seguridad de las fábricas de pvc están diseñados para reaccionar automáticamente ante el mínimo problema. Estas instalaciones cuentan con sistemas de detección del ambiente industrial, encargados de medir la cantidad de monómero en la atmósfera de la planta. La medida utilizada son los ppm —partes de sustancia por millón—.

La ley determina una concentración máxima en las plantas de 3 ppm. Las fábricas de PVC de España y Portugal se encuentran por debajo de 1 ppm.

Las fábricas de PVC están dotadas de las mejores tecnologías disponibles y permiten la minimización y el control de las emisiones, que actualmente se consideran totalmente inocuas.

Respecto al transporte, el PVC no plantea ningún problema, ya que es un material sólido e inocuo, químicamente inerte, no propaga la flama y no está catalogado como mercancía peligrosa. En general, el PVC se obtiene "in situ", es decir, en la misma plataforma industrial donde se produce el monómero vcm. De hecho en Europa tan sólo se transporta un 6% de toda su producción. En tal caso, el transporte de vcm está sujeto a severas normas de seguridad.

b) El PVC como material del propio envase

Los envases de pvc son inocuos y no alteran la calidad ni las características organolépticas de los productos que contienen. Como envase, es equiparable al de vidrio y no presenta ninguna contraindicación. La inocuidad del pvc en este aspecto ha sido demostrada por muchos estudios. Entre ellos, uno de los más completos que hasta el momento se ha realizado sobre toxicología y carcinogénesis ha sido el llevado a cabo por el Dr. Maltoni, del instituto de oncología "F. Addani" de Bolonia (Italia).

Este experimento se basó en 2.000 roedores que fueron alimentados con agua mineral —tanto con gas como sin él— embotellada en vidrio y en pvc. Estos animales fueron controlados hasta su muerte espontánea. Al analizar los tejidos —unos 120.000 estudios histológicos— los resultados confirmaron que no había diferencias en lo que respecta a la supervivencia, peso, estado de salud durante el experimento y la tipología y, sobre todo, la incidencia de los tumores. Toda la conclusión del estudio se resume en que el pvc "es equiparable al vidrio como material de envasado para el agua mineral, y no presenta ninguna contraindicación".

Otros estudios que han aportado conclusiones son los realizados por:

- Coll & Coll y publicado en Science (vol.258 del 9-10-92).
- TNO (instituto de nutrición e investigación alimentaria de Holanda) a petición del ministerio holandés de sanidad y publicado en noviembre de 1996.
- El instituto de la grasa de Sevilla, del CSIC, terminado a finales de 1996, en el que se confirma que el PVC es un material adecuado para el envasado de aceite de oliva.

El instituto de agroquímica y tecnología de los alimentos, del CSIC, julio de 1997, que evalúa la migración en envases de PVC, utilizado para el envasado de agua mineral.

c) Gestión de los residuos de PVC

Disposición final del PVC

El porcentaje de PVC en los vertederos es mínimo, ya que aún en el caso de que los rsu se depositaran íntegramente en éstos, su participación se limitaría a un 0,85% del total. Debido a su inercia química, la presencia de residuos de PVC tanto en los vertederos controlados como si son abandonados en la naturaleza garantiza la no contaminación de las capas freáticas del suelo.

Reciclaje del PVC

gracias a su facilidad de transformación y a su termoplaticidad, el PVC se recicla, y existen dos métodos para ello:

- Químico: actualmente en fase de desarrollo. Los residuos de los diversos plásticos se someten, sin separación entre ellos, a procesos químicos para descomponerlos en productos más elementales.
- Mecánico: es el sistema más practicado y está promocionado por organismos estatales y autónomos.

Hay que considerar dos tipos de pvc que se reciclan: el procedente del proceso industrial (anterior al consumo) y el procedente de los rsu (post-consumo).

a) El procedente del proceso industrial:

El reciclaje de los recortes industriales de pvc es la práctica más usual en las plantas, llevado a cabo desde casi los orígenes de la fabricación de este material. Los recicladores aprovechan recortes y coladas producidas por los transformadores.

El reciclaje del pvc industrial está respaldado por numerosas industrias recuperadoras que recogen, seleccionan, trituran, lavan, granulan y micronizan el pvc para su posterior reventa a los industriales de la transformación.

b) El procedente de los rsu

Existen dos alternativas para su reciclaje:

-Reciclarlos todos mezclados, tal y como se recogen.

-Reciclarlos separadamente por familias. Este sistema es más interesante desde el punto de vista ecológico, ya que permite aprovechar mejor los recursos naturales -reduce el consumo de materias primas- y energéticos.

Para el reciclaje de residuos de pvc procedentes de los rsu se necesita la implantación de sistemas de recogida selectiva de los materiales. Estos sistemas están implantados en algunos países de la unión europea y ya se están llevando a cabo en diversas ciudades de España, como Madrid, Barcelona, Pamplona, Tarragona, Reus, etc.

Como ya se ha comentado anteriormente, la cantidad de pvc en los rsu es de tan sólo el 0,85%, por lo que su incidencia en los vertederos, cuando no hay reciclaje, es muy pequeña.

El PVC recuperado y reciclado se emplea para la fabricación de tubos coextruidos, tubos eléctricos, cubre cables, tubos de evacuación, losas, suelos, refuerzos para calzados, etc.

Recuperación de la energía mediante la incineración.

La incineración de los desechos es una solución eficaz y complementaria y no necesita aporte de combustible o energía, ya que permite recuperar la contenida en los residuos y puede ser utilizada en la calefacción o en la producción de electricidad. En el caso de los plásticos, esta energía recuperada es mayor debido a su procedencia del petróleo. En Europa hay más de 500 plantas incineradoras con capacidades que van desde algunos millares hasta cerca de un millón de toneladas al año.

En la actualidad, la tecnología aplicada a la incineración ha alcanzado muy altos niveles de sofisticación y eficacia, lo que permite que las incineradoras modernas funcionen sin impacto para la salud ni el medio ambiente.

d) Valorización energética del PVC

La lluvia ácida

La falta de información ha creado gran confusión en temas tales como la posible relación de la presencia de PVC en la incineración de rsu con la "lluvia ácida" o la producción de dioxinas.

La "lluvia ácida" es debida principalmente al SO₂ y NO_x, producidos tanto por fuentes

naturales (volcanes, pantanos, turberas, incendios forestales, etc.), como por las actividades humanas (industrias, transportes, calefacciones domésticas, etc.).

El ácido clorhídrico representa sólo un 2% de la lluvia ácida y sólo el 0,25% sería atribuible a la incineración del PVC, "en caso de que ninguna planta incineradora llevase sistema de neutralización de humos", según han demostrado en un estudio, titulado "Hydrochloric acid emissions attributable to the incineration of pvc wastes in western europe" (1986), p.j. Lightowlers y j. Neil cape, pertenecientes al Institute of Terrestrial Ecology.

La influencia del pvc en estos fenómenos es, según estos expertos, insignificante, concretamente el tratamiento del ácido clorhídrico proveniente de la combustión de la fracción del pvc, presente en los rsu, no implica un mayor coste directo de la incineración, incrementando el coste indirecto en tan solo un 1 ó 2%.

Actualmente, las directivas europeas obligan a las plantas de incineración a equiparse con sistemas de neutralización de gases, necesarios independientemente de que exista o no pvc en los rsu.

No existe relación entre dioxinas y PVC

la denominación "dioxina" abarca a varias familias de compuestos orgánicos halogenados, esencialmente clorados, que tienen una configuración molecular similar. Las dioxinas se originan cuando están presentes conjuntamente materia orgánica y productos halogenados (orgánicos y minerales) a una temperatura comprendida entre 300° y 500°c aproximadamente.

Pueden producirse en procesos tan corrientes como incendios, fuegos naturales, motores de gasolina, humo de tabaco, producción de "compost" vegetal en la naturaleza., etc.

De los más de doscientos tipos de dioxinas, sólo 17 son merecedores de interés por su toxicidad. El 2,3,7,8 tcdd (dioxina seveso) es el más tóxico, los demás se refieren a él mediante factores de equivalente tóxico (teq). Los tipos producidos en el proceso de producción de vcm, octoclorodibenzofuranos (ocdf), no se consideran peligrosos y no se han establecido efectos adversos sobre la salud humana. En principio, el teq asignado era cero, y sólo por razones de precaución se les ha elevado a 0,001.

En general, existe poca evidencia de los supuestos efectos tóxicos de las dioxinas. En el hombre, el único efecto tóxico claramente establecido de estos compuestos es una forma aguda de acné, llamada cloracné, que se observa después de la exposición accidental al 2,3,7,8 tcdd.

Las críticas a las plantas de pvc sobre presuntas emisiones de dioxinas carecen de base científica por dos motivos:

- La tecnología actual que se aplica a las plantas de pvc reduce cualquier tipo de contaminación a límites muy por debajo de los establecidos por las reglamentaciones actuales más exigentes. Permite que estas plantas no constituyan ningún riesgo medioambiental.
- En segundo lugar, suele confundirse los diferentes tipos de dioxinas con la dioxina de seveso, que nada tiene que ver con la fabricación de PVC.

En los últimos 45 años no se ha producido ningún accidente mortal ni intoxicación en los alrededores de dichas plantas de producción en Europa.

Durante el proceso de incineración

al principio se consideró que el PVC era el responsable de la formación de dioxinas en la incineración de residuos urbanos. Sin embargo, más de 190 estudios posteriores han demostrado que la misma cantidad de dioxinas era emitida por las incineradoras tanto si había PVC como si no lo había.

Respecto a los ataques que recibe el pvc sobre la producción de dioxinas en la incineración de rsu, hay que afirmar que no existe ninguna relación con la presencia de PVC. Esta aseveración está igualmente avalada por numerosos estudios.

Así, por ejemplo, los ensayos realizados por las incineradoras municipales de París, Estocolmo, Hamburgo, Milán, Roma, Pittsfield (Massachussets), etc., han demostrado que la generación de dioxinas es independiente de la presencia de PVC en los rsu, incluso si la presencia de PVC se incrementa hasta cinco veces la cantidad habitual.

A estas mismas conclusiones han llegado profesores universitarios, como Rappe (de la Universidad de Umea, Suecia), Vogg (Karlsruhe, Alemania) y Louw (Universidad de Leiden, Holanda), entre otros.

En sus estudios se verificó que "ni un aumento del 300% en la presencia de pvc, ni la completa retirada de este material, mostraron diferencias con pruebas realizadas con anterioridad".

El grupo de trabajo estadística medioambiental de la universidad libre de Berlín elaboró un informe en abril de 1991 titulado "coordinación, registro y valoración de las mediciones de dioxina en las instalaciones de incineración de residuos". En este estudio concluyen que "la combustión de ciertas fracciones de residuos, así como la variación en el porcentaje de pvc o en el contenido de metales pesados en la carga no produce ninguna modificación en las emisiones de dioxinas y furanos pcdd/pcdf".

En línea con estas conclusiones, el ministerio federal alemán del medio ambiente ha asegurado que "la concentración de dioxinas halogenadas y furanos en las incineradoras puede ser perfectamente controlada a valores inferiores a 0,1 nanogramo teq/nm³, lo que no constituye ningún riesgo para la salud", y la comisión consultiva de la sociedad alemana de farmacología y toxicología considera que las emisiones de dioxinas por las incineradoras de rsu son totalmente inofensivas.

La incineración de rsu es un proceso reductor de dioxinas, puesto que destruye las de los materiales constitutivos de la carga de alimentación con eficacia hasta el 80%, según un estudio realizado por el Dr. Frank E. Mark.

Por tanto, en contra de los ataques continuos a los que se ha sometido el sistema de incineración, utilizado en todo el mundo, es preciso señalar que, según estos estudios,

- La incineración de rsu reduce considerablemente el volumen de residuos, pudiendo llegar hasta el 90% en volumen o el 70% en peso.

- Permite regular, a concentraciones muy bajas, las emisiones de dioxinas, según el profesor K. Nilsson de la universidad de Lund (Suecia).
- En el curso de la incineración, los compuestos minerales son transformados en compuestos inertes y neutros.
- Las incineradoras se completan actualmente con unidades de recuperación de energía, pudiendo ser consideradas como centrales cuyo combustible proviene esencialmente de fuentes orgánicas.

Por tanto, con la tecnología actual, a través del control analítico de las emisiones y de las condiciones de operación, es posible garantizar el total respeto al medio ambiente y a la seguridad. Las directivas comunitarias recogen en sus textos la descripción de la mejor tecnología disponible en la actualidad.

Decisiones a favor del PVC

Ciertas acusaciones de grupos radicales, que los medios de comunicación han venido recogiendo -en muchas ocasiones sin una tarea contrastada- pueden ser calificadas de mensajes tergiversados.

En estos momentos, algunos organismos y grandes empresas se han mostrado favorables al uso del pvc, después de que se hubiera demostrado que las acusaciones contra uno de los plásticos de mayor mercado en el mundo no tienen fundamento:

- La comisión de expertos designada por el ministerio de medio ambiente. Tras 10 meses y medio de estudio del pvc como material de envasado, esta comisión, constituida por numerosas instituciones científicas de reconocido prestigio, concluyó en mayo de 1998 que "no existen razones para dar al pvc un tratamiento discriminatorio con respecto a otros materiales de envase".
- El informe elaborado por el Moptma en 1995, que asegura que "el sector del pvc es un sector industrial puntero en cuanto a su política y gestión ambiental".
- El instituto de investigación de plásticos de Holanda (TNO) afirma que "no pueden señalarse riesgos ni para la salud ni para el medio ambiente en las diferentes etapas del ciclo de vida del PVC".
- El centro de investigaciones científicas e industriales de Australia (CSIRO) que señala que "no existe ningún material alternativo al PVC en sus principales aplicaciones en la construcción que tenga un menor impacto medioambiental".
- El tribunal de apelaciones de la "Dutch foundation for publicity codes" (Holanda) ha confirmado el juicio previo de la publicity codes commission (veredicto del 4/6/93), en el que el ministerio holandés de control del medio ambiente no pudo sostener su tesis para prohibir el PVC por razones medioambientales. De esta forma, el tribunal considera engañosa cualquier publicación en este sentido y, por tanto, improcedente.
- La cadena Suiza de supermercados Migros, después de haber intentado suprimir el embalaje de pvc, reconoce nuevamente que este plástico es uno de los materiales más adecuados para los embalajes e imposible de sustituir en múltiples aplicaciones.

- El gobierno alemán, después de un estudio exhaustivo, publicó en septiembre de 1994 un informe sobre el impacto medioambiental de varios productos y procesos industriales; dicho informe concluye que el pvc no debe ser sustituido por otros materiales si no existe una razón económica o ecológica bien fundada y que, por otra parte, deberían desarrollarse más los sistemas de reciclaje ecológicamente válidos.
- La ciudad alemana de Bielefeld, una de las primeras en excluir el pvc de los edificios públicos, ha revocado su decisión por diversos motivos: esfuerzo de reciclaje realizado por la industria, la disminución del uso de estabilizantes de cadmio y el reconocimiento científico de que el pvc no constituye una fuente significativa de dioxinas en caso de incendio o de incineración de residuos.
- La Dutch Ecolabel Shoes (Holanda) ha aceptado y calificado el pvc como material apto para la etiqueta ecológica. Holanda es el país responsable de la etiqueta ecológica para el calzado en la UE.
- El ministerio de medio ambiente noruego aprobó en agosto de 1993 la construcción de una planta de pvc tras realizar un estudio exhaustivo de los datos de producción, uso e impacto ecológico del PVC.
- La agencia sueca de protección del medio ambiente ha rechazado la propuesta presentada por un comité político del parlamento sueco sobre la eliminación progresiva del PVC plastificado para el año 2000. Recomienda asimismo que las conversaciones sobre pvc se integren en el "plan de actuación sobre residuos" programado para 1996.
- En Australia, la Worldwild found of nature —una de las organizaciones para la defensa de la naturaleza con más representación en el mundo— se ha inclinado por apoyar el reciclaje del pvc. WWF ha permitido a un fabricante de PVC utilizar como logotipo el panda gigante para el PVC reciclado. El fabricante podrá a su vez facilitar el uso de dicho logo a sus clientes en los productos que utilicen pvc reciclado.
- La firma de automóviles BMW ha abandonado la idea de fabricar un automóvil sin PVC por dos motivos principales: la dificultad técnica de sustituir el pvc por otros materiales y la realidad de que el PVC no es un problema para el medio ambiente.
- La cadena de supermercados "Marks & Spencer" en el reino unido ha escogido el pvc como uno de los materiales más respetuosos con el medio ambiente.

Todos estos ejemplos demuestran que el PVC es considerado como uno de los materiales más idóneos tanto para el envase y embalaje como para otras muchas aplicaciones.

CAPITULO 2

EXTRUSION DE PVC.

2.1 Generalidades.

En la actualidad, sería difícil comprender el funcionamiento y dinamismo de la industria de los plásticos sin la existencia del proceso de extrusión, por ser el que presenta el mayor consumo global de materias primas y por generar la película, el producto plásticos de mayor difusión en nuestra civilización. Además de lo anterior, otros procesos como la inyección y el soplado se apoyan en la extrusión para la elaboración de compuestos.

La extrusión se clasifica como un proceso continuo que durante la transformación, la resina alimentada es fundida por la acción de temperatura que proviene normalmente de resistencias eléctricas y por la fricción de un elemento giratorio denominado husillo. En este estado de fusión, el plástico es forzado a pasar por un dado que le proporciona una forma definida y de sección transversal constante, para finalmente ser enfriada para evitar deformaciones posteriores.

Se fabrican por este proceso: tubos, perfiles, películas, manguera, lámina, filamentos y pellets.

La extrusión es el proceso de transformación primario, donde el plástico se funde y plastifica por medio de un husillo, que, además, es impulsado a salir bajo presión a través de una matriz metálica o dado el cual confiere una forma útil, para finalmente recibir un enfriamiento que provoca su solidificación y proporciona estabilidad a la figura obtenida. Normalmente la materia prima son pellets o gránulos de plástico, aunque los polvos, hojuelas compactadas y molindas son utilizados también de forma exitosa.

La extrusión presenta alta productividad y es el proceso más importante de obtención de formas plásticas en volumen de consumo. Su operación es de las más sencillas, ya que una vez establecidas las condiciones de operación, el proceso continua sin problemas de forma constante con alta productividad. El costo de la maquinaria de extrusión es moderado, en comparación con otros procesos como inyección, soplado o calandreo, y con una buena flexibilidad para cambios de productos sin necesidad de hacer inversiones mayores.

La característica principal es que los productos obtenidos por extrusión deben tener una sección transversal constante en cualquier punto de su longitud o periódica.

La mayor parte de los productos obtenidos de una línea de extrusión requieren de procesos posteriores con el fin de habilitar adecuadamente el artículo, como en el caso del sellado y cortado, para la obtención de bolsas a partir de película tubular o la formación de la unión, cople o campana en el caso de tubería.

La extrusión es uno de los procesos que nacen como necesidad del hombre para encontrar métodos de producción de artículos en altos volúmenes, consistentes en características y con bajos costos.

Para el año de 1845, se tienen datos de los primeros intentos de desarrollo de la maquinaria de extrusión para transformación de gutapercha, cuando Bewley diseña un extrusor para la fabricación de tubos. Independientemente del grado tecnológico que pudiera tener esta máquina, porque entonces no se contaba con motores eléctricos, elementos de calefacción o sistemas electrónicos como los que se tienen en la actualidad, es notable este desarrollo por sentar las bases y la inquietud para futuros investigadores sobre la mejora y optimización de este proceso continuo.

Es hasta 1879 que M. Gray patenta el primer extrusor, ya con diseños más adecuados y con muchos de los elementos que tienen las extrusoras actuales. Se utilizó un husillo denominado "Arquimedeano" que prácticamente continua usándose en múltiples modificaciones a la fecha.

Este concepto proviene del diseño generado por Arquímedes para bombear agua con un tornillo sin fin dentro de un tubo en embarcaciones dañadas por los combates. Es también en 1879 cuando Francis Shaw contruye formalmente el primer extrusor comercial en Inglaterra. Un año después en 1880, John Royle & Sons, producen el primer extrusor de husillo en Norteamérica para la producción de tubería de hule.

En 1890 de nueva cuenta, John Riley & Sons construyen el primer extrusor de husillo para forro de alambre y cable necesario para cubrir las expectativas de productos de la época. En la primera mitad de este siglo se muestra un crecimiento importante del proceso de extrusión, principalmente modificando la máquina con motores eléctricos, construcciones más robustas del cañón y equipo en general, modificaciones de los husillos para los primeros materiales termoplásticos como polietilenos, poliestirenos y otros, lo que origina mayor incursión de productos extruidos.

En 1941 se produce en Estados Unidos por parte de la empresa Plax Corp. la primera lámina biaxialmente orientada, que representaría un gran avance en la utilización de PS para aplicaciones de envase.

En el auge del desarrollo de nuevos materiales, Du Pont inicia en 1948 las pruebas de producción de polietileno sobre papel, sin encontrar inicialmente una aplicación real a su desarrollo, que en nuestros días representa una aplicación prácticamente insustituible en el sector de envase.

Un par de sucesos ocurre antes de terminar la primera mitad del siglo y que prácticamente marcan el inicio de un crecimiento sorprendente tanto del proceso de extrusión, como del consumo de plásticos en general.

El primero: la aparición de la máquina extrusora de película tubular, por parte de la empresa alemana Reifenhauer, que con una producción de 25 kg/hr, iniciaría el camino para convertir a este producto en el número uno de consumo de nuestra civilización actual; y el segundo: la aceptación social del material por sus ventajas y como sustituto de materiales tradicionales por su amplia gama de coloridos y versatilidad de producción, características plenamente en el hula hoop, diversión de moda que obligó a los fabricantes de tubería a trabajar más que nunca.

A partir de entonces, los últimos 50 años se han caracterizado por la mejora tecnológica de los equipos para encaminarlos al perfeccionamiento, utilizando los avances que en equipos eléctricos y electrónicos se han desarrollado a una velocidad enorme, teniendo la posibilidad de contar en el fin del siglo XX con equipos dotados de moleros de alta eficiencia y confiabilidad; controles térmicos y de velocidad; dispositivos medidores de espesores automatizados, etc. En combinación con el equipo, los desarrollos en estudios reológicos de los diferentes materiales han promovido el desarrollo de diversos tipos de husillo, adecuados para trabajar con cada tipo de plástico de acuerdo al proceso que se esté manejando.

Los procesos de transformación se pueden clasificar de acuerdo al tipo de materia prima que manejen, de tal forma que siendo el PVC un termofijo, puede ser transformado en diversos productos y formas mediante la extrusión.

2.2 Descripción del proceso

En este proceso se alimentan los pellets a la tolva, de donde pasan a la cavidad de la extrusora. Este cañón posee a su alrededor resistencias eléctricas que calientan el material y en su interior un husillo o

eje metálico central con alabes helicoidales que girara para plastificar al material, comprimirlo y forzarlo a transportarse a lo largo del cañón.

Al final del cañón existe un plato rompedor con orificios o portamallas, en el que se colocan mallas metálicas para aumentar la presión del material, homogeneizarlo y filtrar cualquier impureza que hubiera llegado a esta parte del proceso. Alineado al portamallas existe el dado que será la parte que le proporcionara la forma final al material.

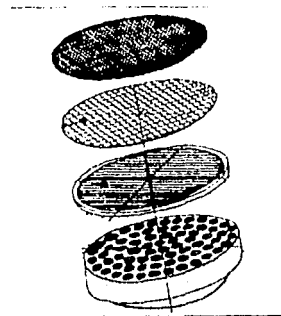


Figura 1. Portamallas.

De acuerdo a lo anterior y siguiendo el proceso descrito se deben de controlar las siguientes variables de operación:

- o Velocidad del husillo
- o Temperaturas del cañón
- o Presión del cabezal
- o Potencia del motor

2.3 Descripción del equipo

Las partes más importantes del proceso de extrusión son: el husillo y el dado.

El primero porque de acuerdo a sus características será el material que se pueda trabajar, ya que cada polímero requiere de diferentes esfuerzos para su plastificación. De hecho cada husillo se diseña para trabajar a un material en particular y es difícil que un solo husillo pueda trabajar con diferentes materiales. Por otro lado, el segundo es el que define la forma final a obtener.

A pesar de haber mencionado la importancia de los componentes anteriores, es relevante describir cada una de los componentes del equipo.

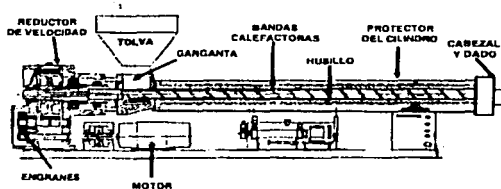


Figura 2. Partes de extrusor.

2.3.1 Tolva

La tolva es el depósito de materia prima en donde se colocan los pellets del material plástico para la alimentación continua del extrusor.

Debe tener dimensiones adecuadas para ser completamente funcional; los diseños mal planeados, principalmente en los ángulos de bajada de material, pueden provocar estancamientos del material y paros en la producción.

En materiales que se compactan fácilmente, una tolva con sistema vibratorio puede resolver el problema, rompiendo los puentes de material formados y permitiendo la caída del material a la garganta de alimentación.

Si el material a procesar es problemático aun con la tolva en vibración, la tolva tipo Cramer es la única que puede forzar el material a fluir, empleando un tornillo para lograr la alimentación.

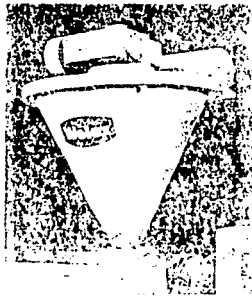


Figura 3. Tolva Cramer

Las tolvas de secado son usadas para eliminar la humedad del material que está siendo procesado, sustituyen a equipos de secado independientes de la máquina.

En sistemas de extrusión con mayor grado de automatización, se cuenta con sistemas de transporte de material desde contenedores hasta la tolva, por medios neumáticos o mecánicos.

Otros equipos auxiliares son los dosificadores de aditivos de la tolva y los imanes o magnetos para la obstrucción del paso de materiales ferrosos, que puedan dañar el husillo y otras partes internas del extrusor.

2.3.2 Barril o cañón

Es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión. El barril debe tener una compatibilidad y resistencia al material que este procesando, es decir, ser de metal con la dureza necesaria para reducir al mínimo cualquier desgaste.

La dureza del cañón se consigue utilizando aceros de diferentes tipos y cuando es necesario se aplican métodos de endurecimiento superficial de las paredes internas del cañón, que son las que están expuestas a los efectos de la abrasión y la corrosión durante la operación del equipo.

El cañón cuenta con resistencias eléctricas que proporcionan una parte de la energía térmica que el material requiere para ser fundido.



Figura 4. Resistencias para el cañón.

El sistema de resistencias, en algunos casos va complementado con un sistema de enfriamiento que puede ser por un flujo de líquido o por ventiladores de aire.

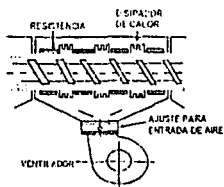


Figura 5. Enfriamiento por ventilación.

Todo el sistema de calentamiento es controlado desde un tablero, donde las temperaturas de proceso se establecen en función del tipo de material y del producto deseado.

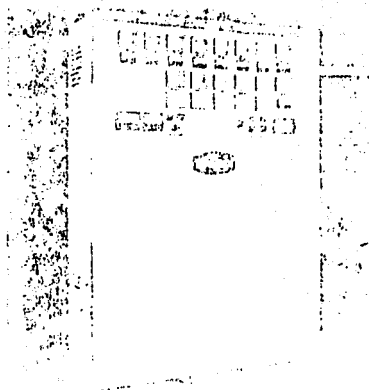


Figura 6. Tablero de control.

Para la mejor conservación de la temperatura a lo largo del cañón y prevenir cambios en la calidad de la producción por variaciones en la temperatura ambiente, se acostumbra aislar el cuerpo del canon con algún material de baja conductividad térmica como la fibra de vidrio o el fieltro.

Para extruir PVC, el equipo puede tener ligeras variaciones, dependiendo si el compuesto está o no plastificado, debido a que el PVC flexible está clasificado como moderadamente corrosivo, mientras que el rígido se considera corrosivo. En ambos casos, para el cilindro se aconseja una estructura base de acero inoxidable con elevado contenido de cromo. Para el tratamiento superficial, se utiliza el cromado, en conjunto con nitrurado.

El diseño del barril no debe tener zonas de estancamiento o cambios de dirección bruscos para evitar la degradación en el material.

2.3.3. Husillo

Gracias a los intensos estudios sobre el comportamiento del flujo de los polímeros, el husillo ha evolucionado ampliamente desde el auge de la industria plástica hasta el grado de convertirse en la parte que contiene la mayor tecnología dentro de una maquina de extrusión. Por esto, es la pieza que en alto grado determina el éxito de una operación de extrusión.

**EVIS CON
FALLA DE ORIGEN**

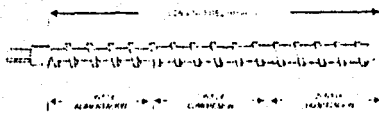
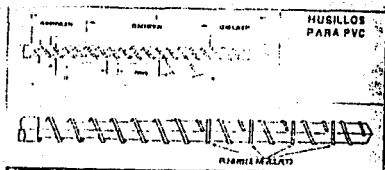


Figura 7. Husillos

Las partes más importantes del husillo son:

a) Alabes o filetes.- Los álabes o filetes, que recorren el husillo de un extremo a otro, son los verdaderos impulsores del material a través del extrusor. Las dimensiones y formas que estos tengan, determinará el tipo de material que se pueda procesar y la calidad de material que se pueda procesar.

b) Zonas de los husillos.- Los husillos se dividen en tres zonas, de acuerdo a la variación de la profundidad del filete.

Estas tres zonas son:

1) Alimentación.- Su función es tomar el material en forma de pellets, transformarlo, comprimirlo y alimentarlo a la zona de compresión.

La profundidad del filete en la zona de alimentación, es la distancia entre el extremo del filete y la parte central o raíz del husillo. En esta parte, los filetes son muy pronunciados con el objeto de transportar una gran cantidad de material sin fundir y aire que está atrapado entre el material sólido.

2) Compresión o transición.- Es así llamada porque aquí se efectúa la transición del polímero de su estado sólido a un estado viscoelástico. De esta forma el material logra estar lo suficientemente viscoso y deformable para que se mezcle homogéneamente y se transporte a la zona de mezclado libre de puntos no fundidos.

3) Mezclado o descarga.- Esta zona mantiene el estado viscoelástico del material y termina de homogeneizarlo para enviarlo al dado dosificado y a una presión constante.

La profundidad del filete en la zona de descarga o dosificación en la mayoría de los casos; es mucho menor a la profundidad de filete en la alimentación. Ello tiene como consecuencia la reducción del volumen en que el material es transportado, ejerciendo una compresión sobre el material plástico. Esta compresión es útil para mejorar el mezclado del material y para la expulsión del aire que entra junto con la primera materia prima alimentada.

c) Relación de compresión.- Es la proporción de cuantas veces cabe la altura del primer filete en la altura del último filete. Debido a que el husillo no presenta paredes paralelas sino que estas inician una inclinación hacia la punta del husillo por lo que van dejando un menor espacio entre el husillo y el cañón; de tal forma que al principio se comprime el material para fundirlo y al final se deja un menor espacio para dejar paso al material plastificado.

Las r.c. más comunes son: 3:1 y 3.5:1, pero puede llegar incluso hasta 4.5 en ciertos materiales.

d) Longitud.- Tiene una importancia especial; influye en el desempeño productivo de la máquina y en el costo de esta.

Funcionalmente, al aumentar la longitud del husillo y consecuentemente la del extrusor, también aumenta la capacidad de plastificación y la productividad de la máquina. Esto significa que operando dos extrusores en las mismas condiciones de r.p.m. y temperatura que solo se distinguen en longitud, es posible que el extrusor de menor longitud no tenga capacidad de fundir o plastificar el material después de recorrer todo el extrusor, mientras que el extrusor de mayor longitud ocupará la longitud adicional para continuar la plastificación y dosificará el material perfectamente fundido, en condiciones de fluir por el dado.

Otro aspecto que se mejora al incrementar la longitud es la calidad de mezclado y homogenización del material. De esta forma, en un extrusor pequeño la longitud es suficiente para fundir el material al llegar al final del mismo y el plástico se dosifica mal mezclado.

En las mismas condiciones, un extrusor mayor fundirá el material antes de llegar el material hasta entregarlo homogéneo. Esto es importante cuando se procesan los materiales pigmentados o con lotes maestros (master bach), de cargas o aditivos que requieran incorporarse perfectamente en el producto.

e) Diámetro.- Es la dimensión que influye directamente en la capacidad de producción de la máquina, generalmente crece en proporción con la longitud del equipo. A diámetros mayores, la capacidad en kg/hr es presumiblemente superior.

Al incrementar esta dimensión debe hacerlo también la longitud de husillo, ya que el aumento de productividad debe ser apoyada por una mejor capacidad de plastificación.

f) Relación l/d.- Es la proporción de cuantas veces cabe el diámetro en la, longitud del husillo, coincidiendo en algunas ocasiones con el número de cuerdas o filetes.

Las primeras máquinas de extrusión poseían l/d de 3:1 o 5:1 debido a que eran utilizadas para hules. Actualmente las l/d más comunes son de 20:1, 24:1, 28:1, 30:1 y 36:1, cubriendo la mayor parte del mercado las dos primeras.

Los diámetros más comunes son de 3, 45, 50, 60, 75, 120 y 150 mm. Se considera la longitud del husillo de la primera cuerda hasta la punta del husillo y al aumentar esta longitud se obtiene un mayor rendimiento.

La ventaja de l/d grandes es que se logra una mayor plastificación y un excelente mezclado, además de tener un mejor control de temperaturas.

Aunque cada husillo presenta características definidas, las dimensiones más comunes son:

Relación l/d	20:1 - 30:1
Zona de alimentación	4d - 8d
Zona de compresión	5d - 8d
Zona de mezclado	6d - 10d
Relación de compresión	3:1
Hi	0.10d - 0.15d
Hf	0.30d - 0.45d
Angulo de cuerda	0.1d
Angulo de hélice	17.6°

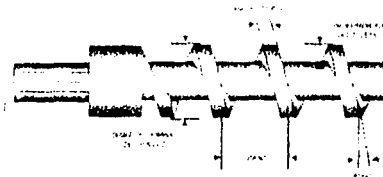


Figura 8. Detalle de husillo

2.4 Clasificación

Las máquinas de extrusión se clasifican en la siguiente forma:

Por tipo de proceso
 Por tipo de husillo
 Por tipo de dado

o *Por tipo de proceso.*

a) Continuo

- ① Extrusores de husillo.- Siguen el principio básico de la extrusión y la clasificación por tipo de husillo se dará a continuación.
- ② Extrusores de disco o tambor.- el material es alimentado por una tolva y cae en el espacio anular que queda entre el rotor y el cañón. Por el movimiento rotacional el material se va plastificando hasta llegar a la parte del dado.

La ventaja que se tiene con este extrusor es que el material muy viscoso si llega a plastificarse y moldearse sin necesidad de forzar la maquina y desgastar el equipo, que es lo que pasaría al utilizar un equipo de husillo.

b) Discontinuo

- ① Ram.- Este tipo de proceso también es llamado de émbolo y es el ideal para adecuarlo al proceso de inyección y soplado. Presenta dos limitantes:

Capacidad limitada de fundido
 Temperatura de fundido no uniforme

Existen dos tipos:

De émbolo simple.- es el ideal para trabajar polietileno de ultra alto peso molecular (uhwmpc) y politetrafluoroetileno (ptfe). Alcanza presiones de 3000 kg/cm² y velocidades de 250 golpes por minuto, para trabajar uhwmpc donde ya no se considera a este proceso uno convencional de extrusión.

En el caso del ptfe sirve para compactar el polvo, formar una pasta y esa pasta llevarla a la extrusión o inyección de la pieza deseada.

De émbolos múltiples.- como se mencionaba en este tipo de extrusor el proceso es discontinuo, pero al cambiar a émbolos múltiples se cambia a un proceso continuo; siguiendo la misma secuencia de compactación, plastificación y empuje del material. Llegando a parecerse mas a la extrusión con las dos limitantes anteriormente mencionadas.

- **Reciprocantes.-** La única diferencia con el ram es que en lugar de poseer un pistón, posee un husillo pero el principio de funcionamiento es el mismo.

El husillo al principio gira en un sentido y retrocede para llenar los espacios de los filetes del material a transformar, después de que se ha llenado completamente gira en el otro sentido y entonces inicia el avance a lo largo del canon por lo que el material se va comprimiendo y plastificando hasta llegar al dado. Finalmente después de haber vaciado el material, el husillo nuevamente cambia el giro para nuevamente alimentarse de material y reiniciar el proceso.

o *Por tipo de husillo.*

- a) **Monohusillo.-** Es la mas importante y común en el sector de la transformación debido a su bajo costo y diseño directo.

En este caso se alimentan los pellets por la tolva, fluyendo por gravedad hasta el cañón donde al caer entre el husillo que gira y el cañón, se comprimen, transportan y plastifican hasta llegar al dado.

- b) **Venteado.-** Este equipo presenta en el cañón orificios por los que se escapan o se extraen volátiles, además de presentar la posibilidad de adicionar aditivos o cargas a lo largo del cañón.

En este caso el diseño del husillo es mas complejo [porque el flujo debe permanecer constante permitiendo la salida de volátiles y la no acumulación de material.

Estos husillos son de dos etapas una de compresión y otra de descompresión de acuerdo a las zonas venteadas, y por ello requieren en ocasiones l/d de 40 o 50:1.

En el caso de que el equipo venteado posea dos husillos, es mas complicado su diseño, pero presenta la ventaja de extraer hasta un 15% de volátiles, mientras que el sencillo solo extrae un 5%.

- c) **Doble husillo.-** Se caracterizan por el corto tiempo de residencia del material y por el bajo perfil de temperaturas que manejan. Estos parámetros son los que se deben cuidar en materiales sensibles al calor o en la elaboración de master batch.

Esto se debe a que se logra una mejor homogenización mediante los 2 husillos y que estos plastifican al material en base a esfuerzos de torque y no en base a aumento de temperatura.

Dentro de este tipo de extrusores se encuentran: con contra - rotación y con co - rotación.

Esta clasificación solo depende del sentido de giro de los husillos, teniéndose el primero para la elaboración de aleaciones con velocidades de 400 a 700 r.p.m.

La co - rotación se utiliza para la elaboración de master batch y de aleaciones en un menor grado, alcanzándose velocidades de 300 a 500 r.p.m.

d) Multihusillo.- En este tipo de extrusor son integrados mas de 2 husillos para lograr amasados especiales o plastificar materiales con sumo cuidado. En esta clasificación se tienen los siguientes tipos:

- ❶ Extrusor planetario.- Su zona de alimentación es muy parecida al equipo de husillo simple, pero después sigue una zona de engranes planetarios donde se colocan 6 o mas husillos mas pequeños alrededor del cañón

Entre estos husillos y el cañón se deja un claro de $\frac{1}{4}$ de mm., para que el amasado resulte efectivo

- ❷ Extrusor con cuatro husillos.- Otro tipo es el extrusor de tambor con 4 husillos que se utiliza generalmente para elaborar compuestos de PVC. Esta máquina es usada para la eliminación de solventes de un 40 a un 0.3%.

Para extruir PVC, la longitud del husillo varía en consideración del tipo de compuesto a procesar y de la presentación, ya que en compuestos previamente pelletizados, relaciones L/D de 20 e incluso de 16:1, pueden funcionar sin problemas.

Mientras que al procesar compuestos en polvo, es adecuado utilizar husillos con L/D mayores a 20:1.

En el diseño del husillo, la mayor zona debe ser la de compresión, que ocupa de un 40 aun 60% de la longitud total, dividiéndose la parte restante por igual para las zonas de alimentación y dosificación.

La razón de una sección de compresión larga, es el amplio rango de fusión del PVC y el cuidado que se debe tener para evitar la degradación del polímero.

Las relaciones de compresión dependen del peso molecular de la resina usada, variando desde 1.5 hasta 2.5:1 al incrementarse l peso molecular.

Para las dimensiones de los álabes del husillo, se pueden utilizar el llamado diseño cuadrado, que significa una separación entre álabes igual al diámetro del husillo. Para lograr esto, el ángulo de inclinación de la hélice será de 17.8°. Un claro entre el husillo y el barril de 0.1 a 0.4 mm. Será adecuado, dependiendo del diámetro del husillo.

Para intensificar la acción plastificante y mejorar el mezclado del material, se han desarrollado diseños especiales de husillos. Uno de ellos es el que tiene de dos a cuatro discos de bujes radiales, separados de 1 a 1.3 mm. Entre sí en las últimas zonas principalmente la de dosificación.

El husillo permite la separación entre el material que se va fundiendo y los pellets o polvos sin fundir.

Estos últimos están en mayor contacto efectivo con el barril para reducir los esfuerzos de corte y las cargas térmicas aplicadas, ayudando a otorgar una mejor estabilidad al material.

o **Por tipo de dado.**

a) General.- Se trata de un dado general cuando este va a ser utilizado para obtener tubería, perfiles, recubrimiento de alambre o cable y monofilamento, es decir que el dado comúnmente va a ser circular.

Por este orificio saldrá el material en forma de barra, pero si se le coloca un centro entonces el material saldrá solo por el espacio anular que deja el centro y el orificio, quedando formado un tubo.

● Tubería.- para obtener este tipo de productos se requiere:

1) Cabezal.- En el cabezal se acopla el dado y se utiliza de preferencia del tipo recto, cuando se utilizan cabezales angulares es porque se va a tener un calibrado interno.

Cuando se trata del cabezal recto, el centro se le llama mandril que se sujeta mediante tornillos.

Como estos tornillos impiden el paso de material, dan lugar a marcas o señales, por lo que es preciso estrechar la forma cónica del mandril y la parte del cabezal o bien, instalar zonas de estrangulamiento en el canal de la masa fundida.

La relación entre el diámetro del mandril en la zona de sujeción y el diámetro de la parte cilíndrica de salida es de 2:1 en los cabezales pequeños, reduciéndose de 15:1 en cabezales grandes.

Para eliminar estas dificultades se han fabricado cabezales tipo araña y con rosca borradora en el mandril, el cual se vera en la parte de película.

Si no se utilizan este tipo de cabezales, se adaptan portamallas de tornillos con ángulos estrechos de coincidencia de 12° y una mayor relación de diámetros de mandril.

2) Sistema de calibrado.- Esta parte de la maquinaria se adapta de acuerdo al cabezal y existen para tubería de pared lisa o corrugada, a su vez, estas se clasifican de acuerdo con su funcionamiento como sigue:

Calibrado exterior utilizando vacío: es el más utilizado y consiste en que el vacío aplicado en la parte externa del tubo ocasiona una diferencia de presiones que hace que el polímero, aun moldeable por la temperatura elevada a que se encuentra, se mantenga en contacto con el tubo formador metálico, que tiene un diámetro interior igual al diámetro que se especifica para el producto.

La inmersión total o aspersión de agua de enfriamiento suministra la estabilidad final para evitar deformaciones posteriores.

Calibrado interno utilizando presión: dentro del mandril existe un orificio por el cual se introduce aire a la tubería, este aire va llenando el tubo por lo que aplicar vacío exterior en la tina de enfriamiento el aire dentro de la tubería tiende a salirse, por lo que redondea en forma perfecta el tubo y llega a calibrar el diámetro interior.

Cuando se trata de tubos de 6 mm. De diámetro exterior o menos, se pueden fabricar sin necesidad de un sistema de calibrado, únicamente haciendo pasar el tubo al baño de agua fría para que solidifique el material fundido.

3) Sistema de enfriamiento.- Una vez logradas las dimensiones del producto, una tina de enfriamiento remueve el calor excedente, evitando cualquier deformación posterior del producto. Antes de la tina de enfriamiento, no es posible aplicar ningún esfuerzo o presión al producto sin correr el riesgo de provocarle alguna deformación permanente.

4) Sistema jalador o tiro.- Para lograr también un espesor definido en la tubería se requiere un sistema de jalado que mantenga constante la salida de material y evite arrugas o deformaciones.

En ocasiones se aprovecha el sistema de jalado para proporcionarle un acabado a la tubería, por lo que en lugar de existir un baño de agua fría a la salida del material lo que existen son orugas para proporcionar corrugado a la tubería.

❶ Perfiles.- para obtener este tipo de piezas únicamente el dado se modifica con otro tipo de abertura para dar forma triangular, rectangular, cuadrada o cualquier geometría a la pieza.

Como un proceso continuo, se enfría el perfil mediante un baño de agua fría, calibrándolo previamente en forma interna o externa y en el momento del jalado en lugar de embobinarlo cortarlo a las dimensiones deseadas.

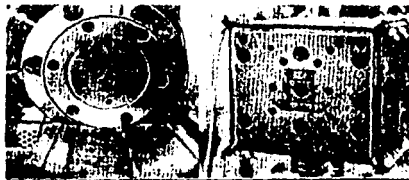


Figura 9. Dado para extrusión de perfil de PVC.

❶ Recubrimiento de alambre y cable.- en este caso se presenta una extrusora que posee un dado circular muy parecido al que se utiliza para obtener una barra, pero este extrusor es acoplado a 90° a una línea que conduce el alambre a recubrir y que va a ser calentado.

Cuando la corriente de material plástico entra en contacto con el alambre caliente se adhiere a este e inicia su solidificación, pero antes de que lo logre totalmente existe un sistema calibrador que le va a proporcionar el espesor deseado al alambre.

Posteriormente se enfría el cable; existe un sistema jalador y se enrolla para finalmente cortarlo.

❶ Monofilamento.- para obtener el monofilamento se cambia el dado tradicional por un dado lleno de perforaciones como una coladera. Posteriormente estos espaguetis que salen de plástico fundido se enfrían, jalan, enrollan y cortan como se realiza con la tubería sin llevar ningún calibrado.

- ③ **Peletizado.**- este proceso es muy parecido que el utilizado para obtener monofilamento con la diferencia que en el centro del dado no se poseen perforaciones.

Se puede realizar en:

Frio: cuando es por este proceso los pequeños espaguetis fundidos son enfriados y después son cortados, por lo que se obtienen pedacitos de plástico en forma rectangular.

Caliente: en este caso acoplado al dado hay una cabeza cortadora que despedaza el espagueti formado, por lo que como el material esta todavía fundido se une consigo mismo formando en lugar de rectángulos, perlas de material.

b) **Dado plano.**- Por este proceso se obtiene: película monorientada, película biorientada, lámina, raffia, coextrusiones y laminaciones.

- ① **Película monorientada.**- En este caso se tiene un dado de anchos hasta de 1.50 metros que solo presentan una abertura por la que sale el material fundido. Para controlar el espesor de la película generada se tienen tornillos calibradores los cuales se ajustan y aprietan para disminuir el espesor. Para lograr una salida homogénea del material en ocasiones se tiene una lámina a mitad de la abertura del dado la cual proporciona un ajuste fino del calibre.

La orientación de la película se logra al dejarla caer en rodillos los cuales jalan, estiran y enfrían la película en sentido de la máquina.

- ② **Película biorientada.**- Cuando se trata de una película biorientada es el mismo proceso que el caso anterior con la diferencia de que después de haber obtenido la lámina se sujeta con mordazas por sus costados y se lleva a una zona de calentamiento para reblandecerla nuevamente, de tal forma que ya reblandecida se estire en forma transversal y se logre una doble orientación.

- ③ **Lamina.**- La diferencia con el proceso de película monorientada es que el producto a obtener resulta de un mayor espesor, llegando a ser hasta de 3 mm.

- ④ **Raffia.**- Para obtener este producto el material fundido que sale del dado plano se deja caer sobre una plancha de metal que posee muchos dientes y que genera la separación entre tira y tira.

Estas tiras son enfiadas y estiradas para embobinarlas posteriormente o si es necesario llevarlas a una máquina torcedora que den lugar el hilo de raffia ya enrollado.

- ⑤ **Coextrusiones.**- en este caso se poseen varios cañones, los cuales estarán plastificando diferentes materiales a diferentes condiciones de operación. Posteriormente la salida de todos los cañones se unirán en un solo cabezal donde darán lugar a estructuras combinadas.

- ⑥ **Laminaciones.**- En este proceso se obtienen laminas a partir de películas obtenidas previamente. Las diferentes películas, que pueden ser del mismo o de diferente material se hacen pasar, simultáneamente, por una serie de rodillos los cuales por acción del calor, logran una unión física de las películas para obtener así una lámina. Todo esto se hace con el fin de aprovechar las propiedades de los diversos materiales, tales como permeabilidad o resistencia a diversos materiales, en forma combinada.

En ocasiones para no utilizar adhesivos que impliquen mas costos para la elaboración de la estructura se aprovecha el extruir por dado plano polietileno de baja densidad en el momento de la laminación, de tal forma que este material funcione como sellante entre película y película de la estructura.

c) Dado tubular

- Película.- por este proceso se obtiene toda la película doble de cualquier material.

Donde se inicia el cambio a otro proceso convencional de extrusión, es donde se ubica el dado y el anillo de aire. En este caso en lugar de poseer un centro cónico llamado mandril posee un centro roscado el cual ayuda a homogeneizar la salida del material.

Después de haber salido el tubo de material se le insufla aire para generar y levantar una burbuja la cual posteriormente se sostiene por medio del aire inyectado en el arranque de la máquina.

Para lograr el enfriamiento de la burbuja alrededor del dado se encuentran localizados sendos anillos de aire y al final de la burbuja existen calandrias las cuales van cerrando la burbuja y jalándola a un sistema embobinador.

- Coextrusiones.- en el caso de estructuras combinadas la única diferencia es que se localizan varios extrusores los cuales llegan a un solo cabezal y dado para conformar una película de varios materiales.

CAPITULO 3

REPORTE DE RESULTADOS DE LA EXTRUSIÓN DE UNA MOLDURA DE PVC FLEXIBLE

Para en análisis siguiente la variable de proceso a considerar es la temperatura de las diversas zonas del extrusor.

Producto: TB -17 negro	Material: PVC flexible	Extrusor: National Rubber Machinery Co.
	Mezcla: 80% virgen 20% molido	Capacidad del motor: 15 / 7 hp.
	Densidad: 1.33 +/- .02 g/cm ³	Rpm: 1855 / 460
	Dureza: 41 +/- 3 shore a	Relación de compresión: 3.5:1
	Tamaño de grano: 3 +/- 1 mm.	Relación l/d: 20:1
	Estabilidad térmica: 60 min.	Capacidad: 25 kg./hr máx. 18 kg/hr mín.
	Esfuerzo a la tensión: 1.5 kg/mm ²	
	Color: negro	

Tabla de resultados

Hora / día	1						2					
	Temperaturas (°C)						Temperaturas (°C)					
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5 cuello	Z6 dado	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5 cuello	Z6 zona
8:00	157	164	163	165	164	146	163	164	165	164	170	156
9:00	157	164	163	165	164	147	163	164	165	164	170	156
10:00	157	164	163	165	164	177	163	164	165	164	170	156
11:00	157	164	163	165	164	176	163	164	165	164	170	156
12:00	157	164	163	165	164	176	163	164	165	164	170	156
13:00	157	164	163	165	164	176	163	164	165	164	170	156
14:00	157	164	163	165	164	176	163	164	165	164	170	156
15:00	157	164	163	165	165	176	163	164	165	164	170	156
16:00	157	164	163	165	165	176	163	164	165	164	170	156
17:00	157	164	163	165	165	176	163	164	165	164	170	156
18:00	157	164	163	165	165	176	163	164	165	164	170	156
19:00	157	164	163	165	165	176	163	164	165	164	170	156

La temperatura ambiente en el día 1 fue de 26° C y para el día 2 fue de 22° C.

El perfil de temperaturas de procesamiento recomendado para la extrusión de este material es: 150-160-160-165-170.

CAPITULO 4

APORTACIONES PRÁCTICAS EN LA EXTRUSIÓN DE PVC.

Al hablar de perfiles estamos hablando de los productos extruidos más difíciles de definir, ya que su variedad de formas y dimensiones son innumerables e infinitas. Esto, combinado con los diferentes materiales y modificaciones posibles hace de los perfiles un producto que requiere de amplia experiencia para su fabricación.

Cuando se habla de dados para tubería y perfil, las variaciones son considerablemente mayores que aquellas observadas en otros procesos de extrusión. Para fabricar perfiles es necesario contar con la habilidad propia del diseño de los mismos, así como de la manufactura de los dados, ya que un perfil puede tener un sinnúmero de formas y complicaciones que hacen de cada proyecto un problema en particular.

Normalmente la salida del dado no tiene las dimensiones exactas que desean del artículo final. La razón principal es porque existen diferentes factores que tienden a alterar las dimensiones del extruido al salir por la ranura.

● Hinchamiento del extruido.

En el instante que el plástico fundido abandona el metal, se manifiesta un efecto de incremento de volumen o hinchamiento, como resultado de la liberación de presión existente en el cabezal. Este hinchamiento obviamente afecta las dimensiones del producto en esta etapa y es variable en función de parámetros como la velocidad de extrusión, la temperatura o tipo de material.

Para contrarrestar dicho factor, será necesario que desde el diseño del dado se considere una salida de hasta un 10% menor en la dimensión de salida del dado. De la misma manera, el hinchamiento se controla modificando la temperatura de salida del dado o la velocidad que se da al jalador o unidad de tiro.

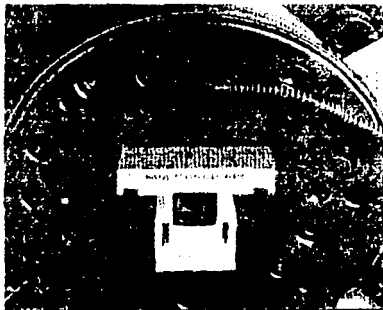


Figura 10. Hinchamiento del extruido.

④ Encogimiento del plástico.

Un efecto que se manifiesta durante el enfriamiento del material es conocido como contracción. La contracción depende de la naturaleza del plástico y las condiciones de operación.

Es importante tener cuidado que el herramental utilizado sea el diseñado para PVC al igual que un adecuado control en el flujo y temperatura del agua y aire aplicado a la salida del material del dado, empleados para enfriar y dar las dimensiones y características de apariencia requeridas por el producto.

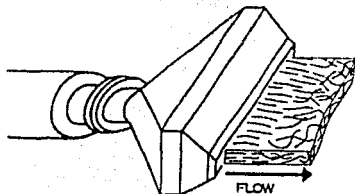


Figura 11. Encogimiento del material.

⑤ Estiramiento por jalado.

Mientras mayor sea el estiramiento, mayor será la reducción de dimensiones. El efecto de estiramiento se reflejará en el espesor del producto. Para contrarrestar el efecto mencionado se debe disminuir la velocidad de estiramiento o aumentar el flujo de material, siendo esto peligroso debido a que se disminuye el tiempo de residencia del material dentro del barril provocando la falta de "trabajo" del mismo el cual se refleja en un producto cristalizado que se rompe con cualquier contacto de fuerza normal.

⑥ Porosidad en el extruido.

En algunas ocasiones los materiales extruidos muestran porosidad originada por gases atrapados en el plástico fundido por evaporación de aditivos o productos generados por la degradación o descomposición del material plásticos dentro del barril. Para evitar esto se puede utilizar u husillo con una zona de descompresión o al reducir la velocidad de extrusión. El problema de porosidad es usualmente más serio cuando se alimenta al plástico en forma de polvo.

⑦ Apariencia y brillo.

Para el caso de nuestro perfil analizado, es necesario controlar las características de apariencia y brillantez, para lo cual necesitamos controlar la temperatura del dado, es decir, a mayor temperatura mayor brillantez.

Por otro lado, la presentación de grumos o irregularidades originadas por el pobre mezclado y homogenización del plástico lo cual se combate adicionando una malla más en el plato rompedor, con lo que incrementamos la presión dentro del barril, de la misma manera se puede disminuir la temperatura alrededor de la zona de dosificación y la entrada del dado.

③ Acumulación de aditivos (Plate out).

El plate out es un fenómeno que se presenta por la acumulación de aditivos los cuales se depositan en la parte delantera del husillo o interior del cabezal o dado. Al disminuir la temperatura en el dado y cabezal, disminuir la velocidad de extrusión y modificar la formulación, este fenómeno desaparece.

Lo mencionado en los párrafos anteriores refleja únicamente el comportamiento más habitual durante el proceso de extrusión, sin embargo como se ha venido revisando a lo largo de este trabajo, la relación entre las operaciones unitarias presentes en el proceso hacen que existan metodologías de control para el mismo.

Dentro del mismo concepto de extrusión, mi experiencia maneja productos los cuales tienen un alma de película de aluminio y los que manejan cintas decorativas en base vinil, poliéster y mylar. Estas cintas propician que el proceso de extrusión de perfiles sea más interesante ya que es necesario "laminar" estas cintas para que se adhieran al producto lo cual implica una serie de elementos llamados laminadores que, por estar incluidos en el proceso de fabricación, implican el control de otra variable más ya que la posición en la que estos se colocan tiene que ver con las características finales del producto.

En el proceso de extrusión existen infinidad de factores a considerar para lograr que el producto obtenido cumpla con las especificaciones acordadas con el cliente, además de las citadas anteriormente, el contar con el mismo tipo de resistencias dentro de las zonas de calentamiento, el efectuar las rutinas de lubricación de manera periódica, la purga de la máquina cuando se cambia de material, la limpieza de la misma, el monitoreo constante de las medidas entre canón e husillo y el desgaste de los mismos por la acción del PVC y la fricción, el uso de la maquinaria, el manejo de materiales, etc., son factores de los cuales tienen que estar pendiente el operador.

El contar con procedimientos de arranque, montaje y alineación de herramientas; indicadores de temperatura ambiente, distancias dado-tina, temperatura y flujo de agua y aire de enfriamiento, temperatura y flujo de agua de enfriamiento para la garganta del motor, amperaje del motor, temperatura de las zonas y condiciones del herramienta, garantizarán el desarrollo estable del proceso.

Lo anterior es útil manifestarlo en un estándar de fabricación y procedimientos de trabajo. Así mismo, el adecuado mantenimiento y calibración de los indicadores, la constante capacitación y práctica del personal y el mantenimiento del equipo son factores determinantes en la organización y buen fruto del proceso.

El compartir toda la experiencia adquirida en la práctica de cualquier actividad requiere del mismo mecanismo de auxilio (la práctica misma) para poder complementar esta serie de conceptos y pequeñas aportaciones conocidas.

Para concluir con el presente trabajo, deseo manifestar los problemas más comunes registrados en mi trayectoria dentro del proceso de extrusión de PVC para que sean considerados por los interesados en el tema:

- ◆ Contaminación de materias primas:
 - a) Limpieza inadecuada de los contenedores de los materiales.
 - b) Desconocimiento en el manejo de materiales.
 - c) Negligencia.
 - d) Materiales no protegidos o bien cerrados dentro de sus empaques.

- ◆ Contaminación de productos terminados:
 - a) Limpieza inadecuada de los contenedores de los materiales y de la maquinaria.

- b) Desgaste del barril y husillo presentando lugares idóneos para incrustaciones de materiales ajenos al PVC.
- c) Agua dentro del barril.
- ◆ Destrucción de husillos:
 - a) Arranque de la máquina sin que se haya llegado a la temperatura indicada en el estándar de producción.
 - b) Arrancar la máquina con el barril cargado con material.
- ◆ Destrucción de herramientas:
 - a) Limpieza inadecuada presentando material carbonizado y que corroe al metal.
 - b) Montaje inadecuado.
 - c) Manejo inadecuado.

CONCLUSIONES

La importancia comercial del PVC como uno de los plásticos, que debido a sus características, es empleado en la fabricación de una gran variedad de productos, ha desencadenado una diversidad de formulaciones del mismo.

Su composición química, el peso molecular y su distribución, su capacidad de reacción; hacen del PVC un material generoso para su procesamiento mediante la extrusión. Por la diversidad en sus formulaciones, el PVC es considerado como un material que genera la utilidad requerida bajo un estudio costo / beneficio debido a diversidad de mercados en los que interviene, así como por los procesos por los cuales puede ser transformado.

Su larga vida manifiesta otra de las ventajas a la industria al igual que su mínima participación dentro de la problemática ambiental, lo cual asegura su permanencia en los mercados de consumo por mucho tiempo.

Es interés de todos comprender el comportamiento del PVC durante su procesamiento via extrusión, en donde factores como la presión y temperatura trascienden de manera notable en la obtención de los productos, además una adecuada instalación y funcionamiento de los elementos de calefacción, un diseño adecuado del dado y el resto de los componentes del herramental, el arreglo y combinación de las mallas, los flujos y temperaturas de agua y aire, el equipo periférico y el mantenimiento de los equipos; complementan a los factores que deben ser considerados durante un proceso de extrusión de PVC.

El desgaste y del sistema cañón/husillo representa, quizás, una de las variables más difíciles de controlar. Lo anterior tiene sustento en el hecho de que al contar con el resto de las variables bajo el control necesario; este sistema proporciona una serie de incógnitas y variaciones que resolver. La tabla de resultados que se presenta es un claro ejemplo de ello, dado que aun cuando se mantienen bajo control la temperatura, presión y velocidad; el desgaste del sistema cañón/husillo provoca una serie de ajustes en estos parámetros que en alguna medida hacen parecer ilógico el comportamiento de la extrusión.

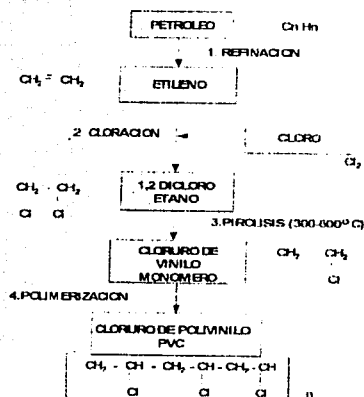
Aún con lo dicho anteriormente, la extrusión de PVC continua siendo uno de los procesos en los que los conocimientos en operaciones unitarias y flujo no newtoniano son indispensables. Por otra parte la virtud en la continuidad y desarrollo del mismo proceso permite que cada día se fabriquen productos altamente especializados con materiales de ingeniería nuevos y maquinarias diseñadas para recibir a tales materiales.

Obviamente que el proceso de extrusión no puede ser empleado para fabricar cualquier tipo de producto de plástico, pero si forma parte importante, como proceso primario, de otros procesos como el termoformado y el soplado, de gran auge actualmente.

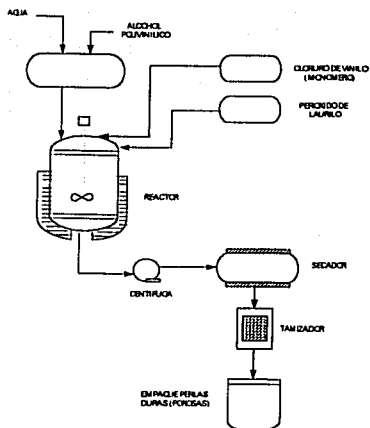
El ámbito de estudio que presenta la memoria no pretende brindar una cátedra teórica de reacciones químicas y sus mecanismos de reacción, sino la de atraer la atención a un proceso de transformación de plástico que forma parte importante dentro de la vida diaria del ser humano y que en realidad, y de acuerdo a mi experiencia personal, ha tenido cierto opacamiento por otros procesos los cuales necesitan o surgen finalmente, de las mismas bases teóricas del proceso de extrusión.

ANEXOS

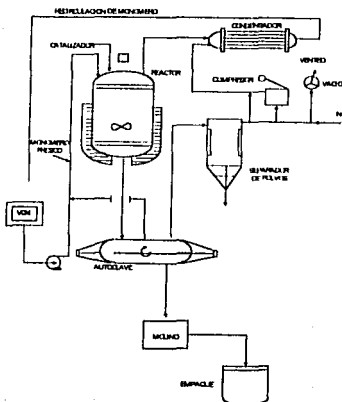
1. OBTENCION DEL PVC



1.1 POLIMERIZACION POR SUSPENSION



1.2 POLIMERIZACION EN MASA



2. TIPOS DE ADITIVOS

● Clasificación de los aditivos para PVC

De proceso

Resinas de pvc
Estabilizadores térmicos
Lubricantes
Anti - oxidantes
Modificadores de flujo
Modificadores de viscosidad
Agentes deslizantes

Funcionales

Plastificantes
Absorbedores de luz u.v.
Modificadores de impacto
Cargas
Agentes de acoplamiento
Agentes de entrecruzamiento
Agentes antiestáticos
Agentes antibloqueo
Deactivadores de metales
Pigmentos
Retardantes a la flama
Supresores de humo
Agentes espumantes
Fungicidas
Blanqueadores ópticos
Aromatizantes

3. TIPOS DE PIGMENTOS.

COLOR	INORGANICOS	ORGANICOS
Blanco	Bióxido de titanio.	
Amarillo	Amarillo de: Cromo, Mercadmio. Oxido de cromo.	Amarillo de: Toluidina, Bencidina. Diazo de condensación. Tetracloro iso-indolina. Pirazolona.
Naranja	Naranja de: Cromo, Cadmio, Mercadmio.	Naranja de: Di-nitro-anilina, bencidina, dianilida.
Verde	Verde de cromo hidratado. Oxido de cromo.	Verde de ftalocianina.
Rojo	Rojo de: Cadmio, Mercadmio Oxido de hierro.	Rojo de: toluidina, mono-azo lacados, quinacridona, Diceto-Pirrol-Pirrol. Diazo de condensación, tio-indigo.
Azul	Azul de: hierro, cobalto, ultramar, manganeso.	Azul de ftalocianina.
Negro	Oxido de hierro, complejo cromoso.	Negro de humo.
Metálicos	Aluminio, bronce.	
Violeta	Ultramarino, manganeso.	Violeta de: Dioxacina, quinacridona
Marrón	Sulfuro de mercurio, cadmio.	Quinacridona, Tio-indigo.

4. NORMAS SSA

CODIGO	DESCRIPCION
NOM-155-SSA1-2000	Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones sanitarias de la cánula para traqueostomía de cloruro de polivinilo.
NOM-096-SSA1-1994	Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de los guantes de cloruro de vinilo para exploración (examen) en presentación estéril y no estéril.
NOM-041-SSA1-1993	Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias.
NOM-113-SSA1-1994	Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.
NOM-117-SSA1-1994	Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, Cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

BIBLIOGRAFIA

1. Modern Plastics
Mc Graw Hill Companies
Octubre de 1995 Vol. II
Pág. 13, 48-51, 65-69
2. Modern Plastics
Mc Graw Hill Companies
Febrero de 1995 Vol. I
Pág. 40-56, 96
3. Ramos del Valle, Luis Francisco
Principios básicos de extrusión de plásticos
Ed. Limusa
1ª. Edición
México, 1993
Pág. 7-134
4. DuBois, Harry
Plastics
Ed. Van Nostrand Reinhold Company
6ª. Edición
Canadá, 1981
p.p. 1-38, 80-84, 175-215
5. Al-Malidika, S.
Chemistry and technology of polymer additives
Ed. Blackwell science
1ª. Edición
USA, 1999
p.p. 90-182
6. Enciclopedia del plástico.
Instituto Mexicano del Plástico Industrial
1ª. Edición
México, 1996
Capítulo I pág. 1- 69
Capítulo V pág. 1-44
7. Sánchez López, Santiago
Aditivos para materiales plásticos.
Ed. Limusa
1ª. Edición
México, 1992
p.p. 9-11
8. Rubin, Irvin
Materiales plásticos. Propiedades y aplicaciones.
Ed. Limusa
1ª. Edición.
México, 1999
p.p. 171-224

8. Morton, D.H.
Procesamiento de plásticos.
Ed. Limusa
1ª. Edición.
México, 2000
p.p. 95-160
10. Schuartz, Seymor
Plastic materials and process.
Ed. Van Nostrand Reinhold Company
1ª. edición
USA, 1982
p.p. 578-593, 609-614
11. García Gandara, Javier
Cálculo de flujo volumétrico en un extrusor de tornillo sencillo
Tesis profesional
México, 1994
12. Extrusión de plástico
Paulson Training Programs Inc.
1ª. Edición
Estados Unidos de Norteamérica, 1998
Sesiones 1 a 6

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**