



300618
15
UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

**"ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO PARA
LA CONSTRUCCION DE UNA PLANTA
DE P. V. C."**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
JORGE ENRIQUE VILLAGOMEZ ILLESCAS

Director de Tesis: I. O. Fernando García Mata

México, D. F. 1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Quiero agradecer a mis padres quienes me brindaron la oportunidad de ser alguien en esta vida y me mostraron el camino a seguir.

A la Universidad La Salle que me hizo una persona diferente.

A mis amigos cuya continua presion me ayudo a finalizar este trabajo.

A todas aquellas personas que de alguna forma colaboraron a la elaboracion de este proyecto.

A todos ellos MUCHAS GRACIAS.

INDICE

1. Metodología de la Investigación.	... 1
1.1. Determinación de Objetivos.	... 2
1.2. Selección de las Técnicas de Recopilación de Información.	... 4
1.3. Límites y Advertencias.	... 5
2. El Mundo de los Polímeros.	... 6
2.1. Qué es un Plástico.	... 7
2.2. El Siglo XX la Era de los Plásticos.	... 9
2.3. Las Causas del Desarrollo de los Plásticos.	... 17
2.4. Clasificación de los Plásticos.	... 22
2.5. Estructura.	... 31
2.6. Estructura, Peso Molecular y Propiedades.	... 34
3. Análisis del P.V.C.	... 41
3.1. El Cloruro de Vinilo: La Base Estructural.	... 42
3.1.1. Propiedades Físicas y Químicas.	... 42
3.1.2. Métodos de Producción.	... 47
3.1.3. Usos.	... 68
3.2. P.V.C.	... 69
3.2.1. El Descubrimiento de Baumann.	... 69
3.2.2. Estructura.	... 72

3.2.3. Propiedades.	... 80
3.2.4. Formulación de P.V.C.	... 94
3.2.5. Procesos de Transformación del P.V.C.	... 97
3.2.6. Usos.	... 98
3.3. Copolímeros del P.V.C.	... 102
4. Magnitud del Mercado.	... 107
4.1. Abastecimiento de las Materias Primas.	... 108
4.2. Mercado Nacional.	... 114
4.3. Mercado Internacional.	... 130
4.4. Proyección de la Demanda.	... 161
4.5. Análisis de las Exportaciones.	... 170
4.6. Precio de Venta.	... 190
5. Selección del Proceso de Producción.	... 194
A) Polimerización por Solución	... 195
B) Polimerización por Emulsión.	... 196
C) Polimerización por Masa.	... 197
D) Polimerización por Suspensión.	... 200
1.- Control de Temperatura.	... 203
2.- Presión.	... 205
3.- Ciclos de Trabajo (Tiempos de Reacción)	... 205
4.- Catalizadores.	... 205
5.- Agentes de Suspensión y Surfactantes.	... 207

6.- Relación Agua-Monómero.	... 209
7.- Calidad del Agua.	... 209
8.- Eliminación de Monómero sin Reaccionar.	... 210
9.- Limpieza del Reactor.	... 210
10.- Agitación.	... 211
11.- Secado.	... 211
Medidas de Seguridad en el Proceso de Polimerización de P.V.C.	... 212
Comparación entre los Procesos de Masa y Suspensión.	... 213
Consideraciones Económicas.	... 214
6. Tamaño y Localización de la Planta.	... 216
6.1. Tamaño de la Planta.	... 217
6.2. Localización de la Planta.	... 218
Conclusiones.	... 222
Apéndice 1.	... 227
Apéndice 2.	... 249
Apéndice 3.	... 263
Referencias Bibliográficas.	... 270

INTRODUCCION.

En el último año México ha concertado Tratados de Libre Comercio con países de Norte, Centro y Suramérica. En especial el Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá marca el inicio de una nueva etapa en el desarrollo de México. Los diversos sectores productivos del país se enfrentan a la apertura económica con la nación más rica y productiva del mundo. Muchos ante la falta de preparación acabarán engullidos por el monstruo del Norte, otros se modernizan a pasos acelerados esperando llegar en las mejores condiciones competitivas a la carrera por el "Mayor Mercado del Mundo", en tanto que otros abandonan el expansionismo absurdo y consumidor de recursos para fortalecer sus áreas de mayor productividad.

La industria del plástico, incluida la del P.V.C., es una de las que se verá más afectadas por el TLC. Será interesante ver si los productores de P.V.C. en México unen sus esfuerzos y presentan un frente común o si afrontan separadamente el reto; si dirigen sus exportaciones a los E.U. o buscan otras fronteras para sus productos; si crecen o simplemente se estancan y poco a poco van cediendo terreno a la competencia extranjera.

Es por esto que la presente obra intenta analizar las realidades técnicas y económicas de la Industria Mexicana

del P.V.C. haciendo énfasis en los mercados de exportación. El capítulo 1 incluye la determinación de objetivos de la tesis, la selección de técnicas de recopilación de información al igual que los límites y advertencias del trabajo. El capítulo 2 presenta de forma completa qué es un plástico, cual fue el origen y causas del explosivo desarrollo de la industria del plástico, cómo se clasifican los diferentes plásticos y cuáles son sus diversas estructuras.

En el capítulo 3 estudiamos las propiedades, métodos de producción y usos del Cloruro de Vinilo, materia prima en la fabricación del P.V.C., el descubrimiento, estructura, propiedades, compuestos, procesos de transformación y copolímeros del P.V.C.

En el capítulo 4 analizamos el abastecimiento de materias primas, el mercado nacional e internacional, la proyección de la demanda y un análisis de las exportaciones del P.V.C.

El capítulo 5 explica los métodos de producción utilizados en la fabricación de P.V.C. y se selecciona el proceso más adecuado a las necesidades de la industria mexicana.

En el capítulo 6 se analiza la localización de una posible planta productora de P.V.C. y se sugiere la producción anual de la misma de acuerdo a las características del mercado.

Por último, las conclusiones dan por terminado este trabajo de tesis.

1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION.

1.1. DETERMINACION DE OBJETIVOS.

Los objetivos que se piensan alcanzar con el presente documento son los siguientes:

- a) Presentar una visión general del mundo de los plásticos y remarcar su importancia en la industria.
- b) Destacar la trascendencia tanto de la resina de P.V.C. en la industria del plástico como de los productos terminados de P.V.C. en la industria en general.
- c) Analizar las condiciones actuales de los mercados de P.V.C. en México y en el resto del mundo.
- d) Resaltar la importancia que tiene la Industria Mexicana del P.V.C. y los niveles internacionales a los que se puede llegar mediante la exportación.
- e) Identificar los diferentes procesos de fabricación de resina de P.V.C. y determinar cuál de ellos es el más adecuado para las necesidades de la industria mexicana.
- f) Encontrar la localización geográfica que reúna las mejores condiciones de accesibilidad de materia prima, servicios, mano de obra, etc. para la construcción de una planta de P.V.C.
- g) Determinar de acuerdo a la demanda de los mercados el tamaño de un posible proyecto.
- h) Concientizar al industrial del P.V.C. que ante los Tratados de Libre Comercio que nuestro país está por acordar, el fortalecimiento del sector depende de la unión de los pro-

ductores, de la calidad del producto y de programas de exportación adecuados.

i) Que este trabajo sirva como base informativa a todas aquellas personas relacionadas con la industria del P.V.C.

j) Que este trabajo sea utilizado como referencia bibliográfica por los alumnos de la Escuela de Química de la Universidad La Salle.

1.2. SELECCION DE LAS TECNICAS DE RECOPIACION DE INFORMACION.

La información necesaria para el desarrollo de esta tesis se obtuvo de diferentes fuentes:

a) Bibliografía General.

Referencias relacionadas con plásticos y en particular P.V.C. que hablan de forma general de estos temas.

b) Bibliografía Específica.

Referencias que se avocan de forma especializada a temas abordados en este trabajo. algunos títulos son el Modern Plastics, Chemical Engineering Handbook, Enciclopedia de P.V.C., entre otros.

c) Sistemas de Información.

Se recurrió a los sistemas de información de la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), INFOTEC, al Sistema de Búsqueda de Patentes de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y al Banco de Información de Importaciones y Exportaciones de la misma institución.

d) Visitas.

Se visitó la planta de Policyd en La Presa al igual que las oficinas tanto de Policyd, S.A. de C.V. como de Grupo Primex, S.A. de C.V.

e) Entrevistas.

Se entrevistó personal de Policyd, S.A. de C.V. encargado de Ventas y Exportaciones así como ingenieros en la planta de La Presa.

1.3. LIMITES Y ADVERTENCIAS.

La información aquí presentada es la que reportan los productores a diversas instituciones, la cual no puede ser considerada 100% fiel a la realidad. La información a la que se le dio mayor credibilidad en esta obra fue a la recopilada por la ANID y el Chemical Economics Handbook, aunque no por esto se desecharon los datos ofrecidos por otras instituciones.

El presente trabajo es un estudio técnico-económico y no de factibilidad económica, es por ello que no se incluye la estimación de costos, retorno de capital y financiamien-
1
to. La temática de ésta tesis se limita al análisis del mercado, proceso de fabricación, tamaño del proyecto, localización de la planta, materia prima y suministros.

1.-En el capítulo 5 hay un estudio somero de la inversión inicial necesaria para construir la planta, el costo de las materias primas y el costo de producción.

2.EL MUNDO DE LOS POLIMEROS.

2.1. QUE ES UN PLÁSTICO.

Comúnmente los términos Plástico, Polímero, Macromolécula y Resina se utilizan indistintamente y de hecho su uso como sinónimos es aceptado por profesionales del ramo; sin embargo, si somos estrictos, éstos conceptos guardan algunas diferencias.

Un polímero (del griego *polimeros*-muchas partes) es una molécula de gran tamaño formada por unidades estructurales repetitivas más sencillas denominadas monómeros, las cuales están ligadas una a otra por enlaces covalentes. Las unidades estructurales que conforman un polímero pueden ir de cientos a miles en número.

Las macromoléculas (del griego *macros*-grande y del latín *molecula* diminutivo de *moles*-mole) también son compuestos de gran tamaño pero a diferencia de los polímeros no están constituidas necesariamente de unidades estructurales repetitivas.

Por otra parte, el término resina se restringía a las secreciones de plantas coníferas pero en la actualidad es aplicado a polímeros reticulares (*cross-linked*). Posteriormente se explicará con mayor detalle a este tipo de polímeros.

A todo esto surge la pregunta de qué es un plástico.

Los plásticos (del latín *plasticus* y éste del griego *plas-*

ticos de plasto-formar) son polímeros de gran peso molecular (macromoléculas) que al aplicárseles calor y/o presión son fluidizados y en tal estado pueden tomar formas predefinidas, después de lo cual son endurecidos manteniendo su forma permanentemente a diferencia de los cuerpos elásticos. Los plásticos son en su mayoría materiales sintéticos aunque también se incluyen dentro de esta clasificación al caucho y los compuestos de la familia de la celulosa los cuales son productos naturales.

1.-A lo largo del presente trabajo utilizaremos de forma constante el vocablo polímero, cabe aclarar que al usarlo nos estaremos refiriendo a polímeros plásticos.

2.2 EL SIGLO XX LA ERA DE LOS PLÁSTICOS.

El siglo XIX.

Aunque el uso de los polímeros naturales se remonta a épocas inmemoriales el desarrollo de los plásticos comienza en los primeros años del siglo XIX. En ésta época la tendencia de las ciencias químicas se orienta hacia el conocimiento de la composición de las sustancias y virtualmente no se pensaba en términos de la estructura química.

Durante todo el siglo XIX se sintetizaron gran cantidad de polímeros pero en el afán por encontrar su composición química la comprensión de su estructura y comportamiento se retrasó cerca de 100 años.

1826: Faraday obtiene la fórmula empírica del caucho C H .
5 8

1838: Se descubre el Nitrato de Celulosa.

1839: Se sintetiza el Estireno.

Hancock y Goodyear en forma independiente calentaron caucho con exceso de Azufre obteniendo un producto rígido llamado Ebonita o Vulcanita. Goodyear patenta el proceso bajo el nombre de Vulcanización.

Simon reporta la conversión del Estireno a una masa gelatinosa. Berthelot llama a este proceso Polimerización.

- 1840: Surge en Gran Bretaña y en Estados Unidos la industria del caucho.
- 1860: Williams obtiene Isopreno a través de la destilación destructiva del caucho.
- 1861: Graham descubre que las soluciones de compuestos naturales como la albúmina se difundían a muy baja velocidad a través de membranas semipermeables. A los materiales de este tipo se les denominó "coloides" y se consideró a éstos como un estado de agregación de la materia. Se suponía que los coloides eran moléculas grandes, de ahí su dificultad para difundirse. Existieron algunas sugerencias tentativas en cuanto que los coloides poseían alto peso molecular; sin embargo, este punto de vista no era aceptado por la mayor parte de los científicos. Se pensaba que si los coloides eran purificados se cristalizarían y mostrarían propiedades de compuestos de bajo peso molecular. Se sostenía que las partículas coloidales eran agregados de partículas más pequeñas que se mantenían unidas por fuerzas de valencia secundarias de algún tipo. En la literatura científica de éstos años se encuentra que a estos agregados de partículas se les nombra polímeros.
- 1865: Se sintetiza el Acetato de Celulosa.
- 1870: Hyatt patenta y comercializa el Nitrato de Celulosa (Celuloide). Plastificando con Alcanfor podía formar

una gran cantidad de productos mediante la aplicación de calor y presión. Encuentra uso en la manufactura de explosivos, películas fotográficas, fibras sintéticas (Seda Chadornnet), barnices para aeroplanos, lacas para automóviles y vidrios de seguridad para éstos mismos.

- 1871: Hlasiwetz y Habermann consideran que las proteínas y carbohidratos son de origen polimérico. Dividen a este tipo de compuestos en "solubles desorganizados" e "insolubles organizados". Esta distinción puede verse como precursora de la actual diferenciación entre polímeros cristalinos y amorfos.
- 1880: El ácido Polimetacrílico es preparado por Fittig y Engelhorn.
- 1883: Piutti prepara la primera Poliamida: el ácido m-aminobenzoico.
- 1890: En Alemania se desarrollan los plásticos de Caseína al hacer reaccionar proteína de leche y Formaldehído. Este producto se comercializó bajo la marca "Erinoid".
- 1892: Bayer reporta la reacción de Fenoles y Aldehídos para producir polímeros. Años más tarde Smith patenta estos productos en Gran Bretaña.
- 1894: El Acetato de Celulosa sustituye al Nitrato de Celulosa debido a su menor inflamabilidad. Se utiliza como base para película fotográfica, barniz para recubri-

miento de aviones durante la Primera Guerra Mundial y en la fabricación de fibra Rayón y película de Celofán.

Los Primeros Años del Siglo XX.

Desde finales del siglo XIX los investigadores intentan conocer la estructura química de los "coloides" como un medio para poder explicar sus tan peculiares propiedades.

Debido a la dificultad para encontrar químicamente grupos terminales se establecieron estructuras cíclicas para la mayor parte de los polímeros. Se consideraba que los anillos eran mantenidos por asociación.

En las primeras dos décadas del siglo XX se calcularon los pesos moleculares de polímeros tanto naturales como sintéticos pero los elevados valores obtenidos fueron considerados erróneos.

1900: El Estireno se copolimeriza con dienos para producir Caucho Sintético.

1904: Blaise y Marcilly determinan que los Poliésteres de bajo peso molecular tienen estructura de cadena.

1907: Baekeland sintetiza polímeros de Fenol-formaldehído y les da el nombre de Bakelitas. Para su comercialización crea la Bakelite Co. en Estados Unidos. La Bakelita es el primer plástico en tener éxito comercial.

1911: Lebedeu propone estructuras de cadena para el Polibutadieno y el Caucho.

1912: Se sintetizan los Eteres de Celulosa.

1918: John crea los polímeros de Urea-formaldehído.

El Comienzo de la Era de los Plásticos.

Los años 20's marcan el comienzo de la era de los plásticos. El impresionante avance que a partir de 1920 muestran los plásticos se debe al trabajo del alemán Hermann Staudinger quien desarrolló la teoría macromolecular la cual fue corroborada por otros investigadores a finales de la misma década.

La implementación de métodos para la medición de pesos moleculares ayudó a la comprensión de la estructura y propiedades de los plásticos.

1920: Staudinger sostuvo que las propiedades coloidales de algunos compuestos orgánicos se deben al gran tamaño de las moléculas y que tales macromoléculas sólo contienen enlaces primarios. También propuso estructuras moleculares de cadena larga para el Poliestireno, Polioximetileno y el Caucho.

Se produce en gran escala el Cloruro-acetato de Vinilo.

1926: Staudinger propone que la infusibilidad e insolubili-

dad que poseen ciertos polímeros se debe a la formación de estructuras de red.

1928: Staudinger reconoce que los polímeros sintéticos son polidispersos.

1929: Sponzier y Dore mediante el estudio de difracción de rayos X sobre fibras de Celulosa comprueban las estructuras de cadena de Staudinger.

Carothers propone que los polímeros pueden ser divididos en dos tipos: Polímeros de Condensación y Polímeros de Adición.

El Boom de los Plásticos.

La comprensión de la relación estructura-propiedades permitió la introducción de nuevos plásticos y técnicas de polimerización.

Estados Unidos, Gran Bretaña y Alemania a partir de los años 30's se colocan a la vanguardia en la industria de los plásticos para ser acompañados más tarde por Japón.

La industria de los plásticos tiene poco menos de 100 años de existencia y en ese corto tiempo se ha convertido en imprescindible para el estilo de vida del hombre moderno. Si pensamos en la multitud de productos que nos rodean y cuantos de ellos están manufacturados a partir de plásticos podremos darnos cuenta de la real importancia de éstos y del futuro que les aguarda.

En la actualidad no se buscan los usos que puede tener un polímero sino de acuerdo al uso se busca el plástico que cubrirá esa necesidad.

1930: Staudinger reconoce la dependencia de las propiedades de los polímeros con el peso molecular y la estructura. La I.G. Farben, firma alemana, produce comercialmente el Poliestireno mientras en Estados Unidos la Dow Chemical hace lo propio.

Se comercializa el Policloruro de Vinilo (P.V.C.).

1931: En forma accidental los laboratorios de la I.C.I. Ltd en Gran Bretaña polimerizan el Etileno.

Se sintetizan los Acrilatos.

1934: Se descubren los Furanos.

1935: Lansing comprueba los pesos moleculares de varios polímeros sintéticos.

1937: Flory descubre el mecanismo de la polimerización por reacción en cadena. También descubre el mecanismo para producir ramificaciones en los polímeros de vinilo.

1938: Se producen comercialmente las poliamidas.

I.C.I. Ltd produce el Polimetil-metacrilato. Este producto fue usado durante la Segunda Guerra Mundial para fabricar el vidriado de la cabina de los aviones.

1939: Se sintetiza la Melamina-formaldehído.

1940: Dupont Co. utiliza los estudios de Carothers y comer-

cializa el Nylon.

1941: Dupont Co. desarrolla el Politetrafluoroetileno.

1942: Se sintetizan los Poliésteres y Silicones a nivel Internacional.

1943: Se comercializa el Polietileno.

1946: Los Fluorocarbones son descubiertos.

1948: Se sintetizan las resinas Epoxi.

1950: Compañías, principalmente en Alemania y Estados Unidos dedican sus recursos de investigación al mejoramiento de las propiedades de los plásticos ya conocidos, de ésta forma hacen su aparición el Polietileno de Alta Densidad, el Polipropileno de Bajo Peso Molecular, el Poliéstireno de Alto Impacto, el Acrilonitrilo-butadieno-estireno entre otros.

2.3.LAS CAUSAS DEL DESARROLLO DE LOS PLASTICOS.

A partir de los años 30's se dió un explosivo desarrollo de los plásticos, ésto gracias a diversos factores como el descubrimiento y comprensión de sus numerosas propiedades, al continuo progreso en la ingeniería química y de proceso, al gradual desgaste de recursos de poca o ninguna renovabilidad que ha favorecido la investigación en éste campo (un claro ejemplo es el uso de Caucho sintético en lugar de su símil natural). Otro aspecto importante en el crecimiento de la industria de los plásticos es la misma competitividad del mercado que ha hecho necesaria la búsqueda de sustitutos más baratos pero que mantengan o mejoren la calidad de los materiales tradicionalmente utilizados.

Las antes nombradas son sólo algunas de las razones que hacen en la actualidad de los plásticos uno de los sectores industriales más exitosos y con mejores perspectivas para los próximos años; pero qué características convierten a éstos materiales en reemplazos de tan diversas materias primas como metales, vidrio, madera, cerámica, fibras naturales, etc. A continuación listaremos algunos de los atributos de los plásticos para después compararlos con los metales, pieles y algodón, cerámica y madera.

VENTAJAS DE LOS PLÁSTICOS.

- Reemplazan a diversos materiales ó pueden usarse con ellos.
- Resistencia al agua y a algunos ácidos.
- Resistencia a la corrosión electroquímica.
- Facilidad en su manufactura.
- No utilizan pintura externa ya que los pigmentos son mezclados durante la polimerización dando al plástico una misma tonalidad. La gama de pigmentos es sumamente extensa.
- Existe una gran diversidad de plásticos: más de 40 familias y algunas veces cientos de tipos de plásticos en cada familia.
- Un mismo producto puede fabricarse en distintos grados ó mezclarse con aditivos u otros plásticos para mejorar alguna propiedad en particular y así tener un producto a la medida de las necesidades del cliente. Puede adquirirse como fibras, espumas, películas, recubrimientos, adhesivos; pueden ser duros, suaves, rígidos, flexibles, porosos, etc.
- Bajo costo de producción.
- Con un mismo molde se pueden producir miles de piezas.
- Necesitan poco o ningún acabado.
- El tiempo de procesamiento es corto.

PLASTICOS VS METALES.

Ventajas

- Bajo peso y densidad.
- Buenos aislantes térmicos y eléctricos.
- Más fáciles de fabricar e instalar.
- Tienen bajos factores de fricción.
- Ofrecen excelente resistencia a los ácidos minerales débiles y no son afectados por soluciones de sales orgánicas zona en que los metales no son totalmente seguros.
- No se corroen electroquímicamente.
- La mayoría de los metales se ven afectados por cambios ligeros en pH ó contenidos de Oxígeno mientras que los plásticos permanecen resistentes a

Desventajas

- La mayor parte de los plásticos son atacados por solventes orgánicos mientras que los metales raramente son afectados.
- El uso de plásticos está limitado por la presión y la temperatura (450^o F es una temperatura alta para los plásticos).
- Son menos resistentes a los abusos mecánicos.
- Tienen elevados índices de dilatación.
- Menor resistencia y dureza.
- En muchos casos la vida media es menor.

esos mismos cambios.

- Facilidad de manufactura de formas complejas con un mínimo de acabado.
- Bajos costos de producción.
- Elasticidad y flexibilidad.
- Poseen propiedades absorbentes contra impactos.

PLASTICOS VS PIELES Y ALGODON.

Ventajas

- Más durables.
- Más ligeras.

Desventajas

- Se encogen.

PLASTICOS VS CERAMICA.

Ventajas

- Más durables.
- Más fáciles de pigmentar.

Desventajas

- Menor resistencia a la temperatura.
- Apariencia.

PLASTICOS VS MADERA.

Ventajas

- Mayor rigidez.
- Menor precio.
- Resistencia al agua y

Desventajas

- Apariencia.

otras sustancias.

- Menor tiempo de fabricación.
- Puede adquirir prácticamente cualquier forma.

2.4 CLASIFICACION DE LOS PLASTICOS

Existen diferentes puntos de vista mediante los cuales podemos clasificar a los plásticos, los más importantes son:

1.-De Acuerdo a su Comportamiento al Termoformado.

A) Termoplásticos.

Cuando se les aplica energía calorífica a este tipo de plásticos sus moléculas comienzan a vibrar, si el calor se incrementa el movimiento de las cadenas es mayor y empiezan a deslizarse unas sobre otras. En este momento el plástico se encuentra fluidizado y puede adquirir cualquier forma, la cual mantienen al ser enfriados. Si vuelve a calentarse el mismo comportamiento se repetirá; sin embargo, la exposición consecutiva a altas temperaturas causa envejecimiento térmico lo que limita el número de reciclamientos.

B) Termofijos.

Al igual que con los termoplásticos el calor fluidiza a estos polímeros pero al ser enfriados se forman fuertes enlaces entre cadenas creando una estructura tridimensional muy rígida. La aplicación de calor o presión posterior al termoformado provocaría el rompimiento de las cadenas resultando en la degradación del material.

Termoplásticos

Poliétileno PE
Polipropileno PP
Policloruro de Vinilo PVC
Poliestireno PS
Poliacetal POM
Polimetilmetacrilato PMMA
Poliamida PA
Policarbonato PC
Poliétilentereftalato PET
Polibutilentereftalato PBT
Acilonitrilo-Butadieno-
Estireno ABS
Poli tetrafluoroetileno PTFE
Acetato de Celulosa CA
Nitrato de Celulosa CN
Polisulfona PPS
Polimetilpentano TPX
Óxido de Polifenileno PPO
Polivinilacetato PVA
Poliimida PI
Policlorotrifluoroetileno CTFE

Termofijos

Resinas Epoxi EP
Melamina-Formaldehído MF
Urea-Formaldehído UF
Resinas Fenólicas PF
Resinas Alquídicas
Poliéster Insaturado UP
Poliuretano PU
Silicón Si
Elastómeros:
Hule Natural NR
Hule Estireno-Butadieno SBR
Polibutadieno PB
Hule Butilo IIR
Policloropreno CR
Poliisopreno IR
Hule Nitrilo NBR
Hule Silicón
Hule Etileno-Propileno
EPM/EPDM

2.- De Acuerdo a su Composición.

A) Homopolímeros.

Si el plástico se compone de sólo una unidad repetitiva ó monómero.

B) Copolímeros.

Si se constituye de dos o más monómeros. Existen varios sistemas de copolímeros.

B.1) Copolímeros al Azar.- Las diferentes unidades poliméricas están distribuidas sin ningún ordenamiento.

AABBBAAAAABBABBBBBBA

B.2) Copolímeros Alternados.- Los monómeros se encuentran intercalados.

ABABABABABABABABAB

B.3) Copolímeros por Bloque.- Las cadenas consisten de grandes bloques de cada uno de los monómeros.

AAAAAAAAAABBBBBBBBBB

B.4) Copolímeros Insertados.- Existe una columna vertebral de alguno de los monómeros y a ésta se le añaden ramificaciones de otros monómeros.

AAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
B B
B B
B B

3.- De Acuerdo al Proceso de Polimerización.

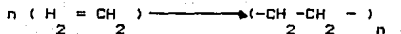
A) Condensación.

En este tipo de polimerización dos o más monómeros o cadenas reaccionan para formar una especie más grande con la eliminación de pequeñas moléculas por ejemplo de agua ó ácido clorhídrico. Los productos se forman al ser atacados grupos funcionales de los monómeros. En los plásticos de condensación la unidad estructural del polímero es diferente al monómero reaccionante.

B) Adición.

La polimerización por adición se lleva a cabo mediante la rápida unión de enlaces usualmente por el mecanismo de radicales libres. Los monómeros son compuestos cíclicos o con dobles enlaces. No existen productos alternos a la reacción. El polímero formado tiene la misma composición que el monómero involucrado. Normalmente los polímeros de adición no tienen grupos funcionales dentro de la cadena y la espina dorsal del plástico consiste exclusivamente de átomos de Carbono.

Este tipo de clasificación tiene sus limitaciones ya que existen polímeros que pueden ser incluidos en ambas categorías. Por ejemplo el Polietileno puede ser preparado por la polimerización del etileno:



por lo que sería catalogado como plástico de adición. Otro mecanismo alternativo de producción es la reacción de Wurtz:



donde hay más de dos especies involucradas y existen productos de condensación.

Para evitar éstos dilemas algunos autores prefieren dividir a los plásticos en: plásticos por reacción en cadena y plásticos por reacción en etapas.

Diferencias entre los Mecanismos de Polimerización en Cadena y por Etapas.

Polimerización en Cadena

- Sólo la reacción de crecimiento adiciona a la cadena una unidad repetitiva a la vez.
- La concentración de monómero disminuye de modo continuo en el transcurso de la reacción.

Polimerización por Etapas

- Cualesquiera dos especies moleculares presentes pueden reaccionar.
- El monómero desaparece al comienzo de la reacción, cuando el grado de polimerización es igual a 10 menos 1
- del 1% del monómero se en-

1.- El grado de polimerización es el número de unidades estructurales que se han añadido a la cadena de polímero.

-El alto polímero se forma rápidamente y el peso molecular cambia poco en el transcurso de la reacción.

-Tiempos largos de reacción conducen a elevados rendimientos pero afectan poco al peso molecular.

-La mezcla de reacción contiene solamente monómero, ^{-B} alto polímero y unos 10 partes de radicales en crecimiento.

-La iniciación, propagación y terminación de la reacción suceden a diferentes velocidades.

cuentra presente.

-El peso molecular del polímero aumenta continuamente durante la reacción.

-Tiempos de reacción largos son esenciales para obtener pesos moleculares elevados.

-En cualquier momento todas las especies moleculares están presentes y tienen una distribución calculable.

-Los distintos pasos de la reacción tienen una velocidad similar.

En la mayor parte de los casos los polímeros de condensación se forman por polimerización por etapas y los polímeros de adición por reacciones en cadena.

Polímeros de Condensación

Poliéster

Polianhídridos

Polisulfitos

Polímeros de Adición

Polietileno

Policloruro de Vinilo

Polivinilacetato

Poliacetales

Poliámidas

Celulosa

Fenol-Aldehído

Urea-Aldehído

Polisiloxanos

Poliuretano

Poliurea

Poliestireno

Polimetilacrilato

Polimetil-Metacrilato

Acilonitrilo

Meta-Acilonitrilo

Polivinil-Isobutil-Eter

Polibutadieno

Politetrafluoroetileno

Alil Acetato

4.-De Acuerdo a su Consumo.

A) Commodities (Alto Consumo).

Se caracterizan por:

- Competencia en función del costo.
- Alto volumen de producción.
- Selección adecuada de aditivos para obtener utilidades.
- Tecnología ampliamente conocida y fácilmente modificable.
- Comercialización dinámica.
- Más ventas que tecnología.

Ejemplos:

- Polietileno.
- Polipropileno.
- Policloruro de Vinilo.
- Poliestireno.

B) Técnicos o Versátiles (Consumo Medio).

Se identifican por:

- Mercado dirigido hacia el mercado de aplicaciones.
- Sustituyen a maderas y cerámicas.
- Tecnología de polimerización regularmente conocida.
- Tecnología de transformación sencilla y conocida.
- La clave de su éxito es el diseño y la creatividad.

Ejemplos:

- Policloruro de Vinilo.
- Polimetil-Metacrilato
- Especialidades de Polipropileno.
- Poliestireno.
- Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno.

C) Ingenieriles o Especialidades (Bajo Consumo).

Sus principales características son:

- Tecnologías de polimerización y transformación sofisticadas y costosas.
- Mecanismo de ventas con alto grado técnico y conocimiento del proceso.
- La clave del éxito es la asociación tecnológica.
- Los errores son costosos en tiempo y dinero.

Ejemplos:

- Especialidades de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno.
- Polietilentereftalato.

- Nylon.
- Acetales.
- Policarbonato.
- Copolímeros.

2.5 ESTRUCTURA.

Las unidades estructurales de un polímero se conectan una con otra en casi cualquier patrón concebible. El más sencillo de todos los polímeros es el polímero lineal en el que las unidades estructurales se unen en una secuencia continúa.

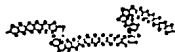
El pensar que las cadenas de polímeros lineales son totalmente rectas, como si fuera un cable, puede conducir a errores. De hecho, los polímeros se enrollan en formas irregulares o adquieren formas en espiral o zig-zag dependiendo si son amorfos o cristalinos respectivamente.

Entre los plásticos es común encontrar estructuras no lineales: planas o tridimensionales. La ordenación de átomos en dichos sistemas es el resultado de tener átomos con funcionalidades mayores a dos unidades estructurales. Los polímeros lineales se componen exclusivamente de unidades bidimensionales.

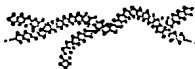
Los polímeros no lineales pueden ser ramificados, cuando a la cadena de polímero se unen cadenas secundarias, o reticulares (Cross-linked), cuando un polímero ramificado se anexa a otra cadena ya sea lineal o ramificada.

Dos rasgos distintivos de los polímeros lineales son: primero que no contienen átomos asimétricos y por lo tanto las unidades estructurales se repiten con perfecta regulari-

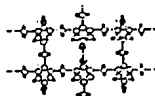
dad y segundo la formación de enlaces polares entre las cadenas. Ambas características favorecen el arreglo paralelo de las cadenas y la coordinación de los enlaces polares transversos a los ejes de éstas lo cual origina una estructura cristalina.



Polímero Lineal



Polímero Ramificado

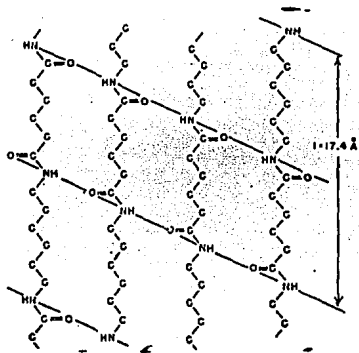


Polímero Reticulado

Los polímeros llamados cristalinos son en realidad semicristalinos ya que existen regiones amorfas que llenan el espacio intercristalino.

La cristalinidad es menos común entre los polímeros de adición obtenidos a partir de monómeros insaturados que en los polímeros de condensación. Esto se debe en gran parte a la existencia de carbonos asimétricos en la cadenas de polímeros de adición. No obstante, puede existir alguna

evidencia de cristalinidad aunque, claro, las regiones cristalinas serán imperfectas.



Representación esquemática de una estructura polimérica cristalina. Las líneas paralelas transversales indican la asociación de grupos polares.

2.6 ESTRUCTURA, PESO MOLECULAR Y PROPIEDADES.

Desde la aceptación de la teoría macromolecular de Staudinger ha sido reconocido que las propiedades de los plásticos dependen de la naturaleza y configuración de las cadenas, el peso molecular, la distribución de pesos moleculares, la reticulación, interacción entre unidades estructurales, simetría, efectos estéricos, flexibilidad de enlaces y el número, naturaleza y separación de los grupos polares.

A estos factores los podemos englobar en 5 categorías que son las de mayor importancia en la modificación de propiedades de los plásticos:

1.- Peso Molecular.

A) Solubilidad.- Cuando no se da la presencia de estructuras cristalinas, la solubilidad y los fenómenos con ella relacionados son funciones inversas al peso molecular.

B) Viscosidad.- La viscosidad de un polímero depende mucho del peso molecular, al elevarse éste la viscosidad se incrementa de forma potencial.

C) Punto de Fusión.- Es independiente del peso molecular.

D) Densidad.- Aumenta con el peso molecular.

E) Transparencia.- Disminuye con altos pesos moleculares y el material se vuelve traslúcido.

F) Brillo.- El aumento del peso molecular provoca pérdida de

brillo.

G) Permeabilidad a Gases.- Se acrecenta con el peso molecular.

H) Propiedades Mecánicas.- Propiedades tales como la resistencia a la tensión, resistencia al impacto, dureza, fatiga por flexión y resistencia al rasgado se incrementan junto con el peso molecular. En cambio, las propiedades elásticas de los polímeros disminuyen en magnitud con pesos moleculares crecientes. La rigidez es independiente del peso molecular.

I) Resistencia Química.- La resistencia química generalmente aumenta con el peso molecular.

J) Punto de Reblandecimiento.- Polímeros con mayores pesos moleculares reblandecen a temperaturas más bajas.

K) Resistencia a Bajas Temperaturas.- Al incrementarse el peso molecular el material se fragiliza más a bajas temperaturas.

L) Propiedades Eléctricas y Ópticas.- La mayor parte de ellas son independientes del peso molecular.

2.-Estructura Cristalina.

A) Propiedades de Flujo.- Los plásticos pierden su fluidez al cristalizar.

B) Solubilidad.- Las propiedades relacionadas con la solubilidad son con frecuencia funciones de la cristalinidad.

C) **Transparencia.**- Los polímeros cristalinos son normalmente opacos.

D) **Resistencia Química.**- La cristalinidad hace a los plásticos más resistentes a los disolventes y otros agentes químicos.

E) **Propiedades Mecánicas.**- Los polímeros cristalinos son duros, fuertes y rígidos. La resistencia al impacto, rotura por fragilidad, tensión límite y rigidez aumentan con la cristalinidad, esto gracias a la gran capacidad de la estructura para absorber energía. En cambio, existen otras propiedades como la duración flexional que aumentan con grados decrecientes de cristalinidad. Producto de la poca flexibilidad de los enlaces en las estructuras cristalinas, los plásticos de este tipo tienen poca elasticidad. Si el peso molecular es lo suficientemente alto un polímero cristalino puede ser orientado por estiramiento. En este proceso, los cristales alinean sus ejes de forma paralela a los ejes de la fibra o lámina de polímero aumentando su resistencia a la tensión en el sentido del orientamiento de las cadenas.

3.- Estructura Amorfa.

A) **Propiedades de Flujo.**- Un polímero amorfo puede ser un líquido sumamente viscoso o una goma elástica.

B) **Propiedades Mecánicas.**- Los plásticos por arriba de la

Temperatura de Transición Vítrea (T_g) son suaves, débiles
1
y tienen poca resistencia a la tensión acompañada de baja elongación. En marcado contraste, un plástico a temperaturas por debajo de T_g son duros y muestran moderada resistencia a la tensión pero muy poca elongación. La resistencia al impacto está relacionada con la absorción de energía del material. Por debajo de T_g los polímeros tienen poca resistencia al impacto.

4.- Fuerzas de Interacción entre Átomos.

A) Viscosidad.- Los enlaces reticulados tienen un marcado efecto sobre la viscosidad por hacerse ésta última infinita. No obstante las cadenas con retículos apretados pueden comportarse como esferas rígidas y tener poco efecto sobre la viscosidad del fluido.

B) Punto de Fusión.- La formación de puentes de Hidrógeno causa mayores puntos de fusión.

C) Propiedades de Flujo.- En materiales elásticos los

1.-Temperatura de Transición Vítrea.- Los polímeros amorfos tienen un rango de temperaturas bajo el cual cambian de líquidos viscosos a materiales duros frágiles. Esta transformación es equivalente a la solidificación de un líquido a vidrio aunque la transición vítrea no es un cambio de fase.

enmarañamientos moleculares sirven como enlaces físicos que son responsables por la restauración de la forma original cuando el material deja de ser sometido a fuerzas externas. Desde el punto de vista molecular cuando un material es estirado sus moléculas se orientan parcialmente en la dirección del estiramiento; sin embargo, el entrecruzamiento de puntos de enlace actúa como nudo que evita el deslizamiento de las cadenas. A este comportamiento se le conoce como Viscoelasticidad.

Por debajo de la temperatura de transición vítrea el polímero no fluye pero exhibe elasticidad de Hooke. Esto significa que el material muestra pequeñas deformaciones reversibles como reacción a una fuerza aplicada, lo cual se debe a pequeños aumentos en los ángulos de los enlaces Carbono-Carbono que se restauran elásticamente cuando la fuerza es removida.

Finalmente a temperaturas más altas el plástico se comporta como líquido en lo que se llama Flujo Viscoso Irreversible.

D) Cristalinidad.- La reticulación excesiva puede causar la pérdida de cristalinidad.

E) Propiedades Mecánicas.- Todas las sustancias que exhiben un alto grado de elasticidad contienen estructuras de cadena larga con gran movilidad local de los segmentos de la cadena pero con movimiento de las cadenas unas sobre otras

restringido.

La adición de enlaces transversales conduce a productos más rígidos, más resistentes y más tenaces, usualmente con una resistencia al desagrro y a la abrasión también acrecentados. Entre mayor sea la energía cohesiva entre los átomos también la rigidez, la dureza y en general las propiedades mecánicas mejorarán sobresalientemente. Si las fuerzas entre cadenas son producto de interacciones de grupos polares el polímero no es de alta densidad pero tiene propiedades de flexibilidad. Esta última propiedad surge de la rotación alrededor de enlaces saturados.

5.-Grupos y Ramificaciones en las Cadenas.

A) Punto de Fusión.- La sustitución de grupos no polares en vez de Hidrógenos conduce a una reducción del punto de fusión. La misma respuesta se obtiene al aumentar la ramificación de la cadena. Las cadenas rígidas, cristalizables y con grupos polares tienen puntos de fusión más altos.

B) Temperatura de Transición Vítrea.- La concentración más alta de grupos terminales en un polímero ramificado aumenta el volumen libre y rebaja T_g en tanto que los enlaces reticulados reducen el volumen libre y elevan T_g .

Las cadenas que contienen grupos grandes tienden a tener temperaturas de transición vítrea más altas debido también a la disminución del volumen libre.

C) Viscosidad.- A mayor ramificación de la cadena la viscosidad decrece.

D) Solubilidad.- La introducción de grupos polares tiende a disminuir la solubilidad.

E) Cristalinidad.- El tamaño y la polaridad de los átomos en un polímero influyen en la habilidad del plástico para cristalizar.

Un aumento en la longitud de las cadenas laterales resulta en una estructura cristalina más definida.

Al introducir grupos polares en la cadena se puede perder totalmente la cristalinidad.

F) Permeabilidad a Gases y Líquidos.- Al aumentar la polaridad de la cadena la permeabilidad aminora.

G) Propiedades Mecánicas.- Las propiedades elásticas de los polímeros se reducen cuando la ramificación de la cadena se intensifica.

La ramificación al romper el retículo cristalino atenúa la rigidez.

3. ANALISIS DEL P.V.C.

3.1. EL CLORURO DE VINILO: LA BASE ESTRUCTURAL.

3.1.1. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

Propiedades Físicas.

El Cloruro de Vinilo $H_2C=CHCl$ es un gas incoloro a temperatura y presión normales, tiene un olor agradable característico y es inflamable. Es soluble en hidrocarburos, aceites, alcoholes y solventes clorados. En la industria se almacena como líquido a presión (34 a 75 psig).

Las propiedades físicas del cloruro de vinilo se listan en la siguiente tabla:

<u>Propiedad</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidad</u>
Peso Molecular	62.499	-
Punto de Fusión	- 153.8	°C
Punto de Ebullición	- 13.4	°C
Calor Específico:		
Vapor a 20 °C	0.2049	cal/g °K
Líquido a 20 °C	0.3229	cal/g °K
Temperatura Crítica	156.6	°C
Presión Crítica	55.23	atm
Volumen Crítico	0.169	lt/mol
Factor de Compresibilidad	0.265	-
Calor Latente de Fusión	18.13	cal/g

Calor Latente de Evaporación	78.83	cal/g
Entalpfa Estándar de Formación	8,404	cal/mol
Energfa de Gibbs Estándar de Formación	12,303	cal/mol
Presión de Vapor:		
^o		
- 30 C	0.5	atm
^o		
- 20 C	0.769	atm
^o		
- 10 C	1.13	atm
^o		
0 C	1.61	atm
Viscosidad:		
^o		
- 40 C	0.3388	cp
^o		
- 30 C	0.3028	cp
^o		
- 20 C	0.2730	cp
^o		
- 10 C	0.2481	cp
Temperatura de Autoinflamación	472	^o C
Límite Explosivo en el Aire	4-22	%
Densidad Líquida	0.969	g/cm ³ ^o (-14 C)
Solubilidad	0.11	g/100H ₂ O ² ^o (25 C)

Propiedades Químicas.

A) Polimerización.

Es la reacción más importante del Cloruro de Vinilo y se lleva a cabo mediante radicales libres utilizando peróxido-

dos o persulfatos como iniciadores.

B) Sustitución del Cloro.

Generalmente el Cloruro de Vinilo es considerado inerte al ataque nucleofílico; sin embargo, se ha demostrado que el Cloro puede ser intercambiado rápidamente usando Paladio u otros metales de transición como catalizadores. El mecanismo de reacción se piensa que procede a través de una adición-eliminación con la formación de un complejo π .

El Cloruro de Vinilo reacciona con Butil-Litio y CO_2 a bajas temperaturas para producir ácidos carboxílicos alfa-beta insaturados.

Al reaccionar en solución de Tetrahidrofurano el Cloro es reemplazado por Hidrógeno para formar Etileno.

Un compuesto sumamente útil de Vinil-Litio se crea al reaccionar el Cloruro de Vinilo con una dispersión de Litio conteniendo 2 % en peso de Sodio a 0-10 °C. Este compuesto se utiliza en la fabricación de alcoholes vinílicos a partir de aldehídos, cetonas vinílicas a partir de ácidos orgánicos ó alcoholes secundarios a partir de trialkilboranos.

El Etil-Vinil-Eter es el producto de la reacción de Cloruro de Vinilo con Etóxido de Sodio.

C) Oxidación.

La oxidación del Cloruro de Vinilo con Oxígeno en fase gaseosa por arriba de los 250 °C produce CO , HCl , HCO_2H y H_2

CICHO.

La ozonólisis en fase líquida ó gaseosa da Acido Fórmico y Cloroformaldehído como productos.

A - 20 C el Cloruro de Vinilo reacciona con Oxígeno con luz UV como iniciador para formar el peróxido $\text{OCH}_2\text{CHClO}_2$

- 5 . Al calentarse a 35 C, el peróxido se descompone en Formaldehído, CO y HCl.

Al reaccionar con Acido Hipocloroso se obtiene Acetaldehído.

D) Adición.

La cloración del Cloruro de Vinilo se puede llevar a cabo mediante una reacción a base de iones, sin luz, en presencia de FeCl_3 como catalizador o vía radicales libres a temperaturas mayores a 250 C. En ambos casos el producto es 1,1,2-Tricloroetano.

Otros halógenos se pueden añadir al Cloruro de Vinilo para dar productos de adición 1,2 pero éstas reacciones no son del todo conocidas.

Aductos 1,1 se obtienen mediante la reacción con HCl y HBr. El Cloruro de Vinilo y el Etil-Cloro dan como productos 1,1-Dicloroetano y 1,1,3-Triclorobutano a través de un mecanismo de Friedel-Crafts.

El Cloruro de Vinilo puede reaccionar con Fenol para obtener p-vinilfenol.

La condensación de Cloruro de Vinilo con Formaldehído y HCl (reacción de Prins) tiene como resultado la formación de 3,3-Dicloro-1-Propanol y 2,3-Dicloro-1-Propanol.

E) Pirólisis:

El Cloruro de Vinilo es sumamente estable a la pirólisis térmica. Cuando es calentado a 450 °C pequeñas cantidades de Acetileno se forman. Aún a 525-575 °C la conversión es muy pequeña y los principales productos son Cloropreno y Acetileno. La presencia de HCl durante la pirólisis reduce la formación de Cloropreno.

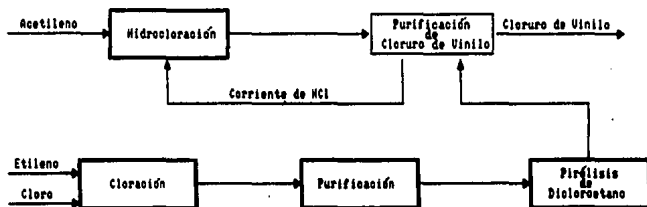
La combustión en aire a 510-795 °C produce CO₂, CO, HCl aunque se encuentran rastros de Fosgeno.

3.1.2. METODOS DE PRODUCCION.

El Cloruro de Vinilo fue preparado por primera vez por Regnault en el siglo XIX por medio de la reacción de Dicloroetano con una solución alcohólica de Hidróxido de Potasio.

La primera ruta industrial para la obtención de Cloruro de Vinilo fue la reacción de HCl y Acetileno (1930). La amplia oferta de Etileno en los 50's dio lugar al desarrollo del proceso a base de Etileno y Cloro con el cual se dicloraba al Etileno para dar 1,2-Dicloroetano (EDC). La subsecuente pirólisis del EDC daba finalmente como producto Cloruro de Vinilo. Sin embargo, la coproducción de HCl no facilitó la expansión de este método.

A finales de los 50's la industria del Cloruro de Vinilo renació con la implementación del Proceso Balanceado del cual existen diversas variantes.

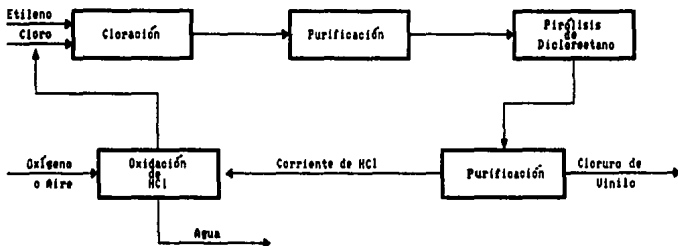


En el diagrama de bloques se muestra el Proceso Balanceado usando Acetileno, Etileno y Cloro. El Etileno se clora directamente para producir EDC. De forma paralela el Acetileno se hidroclora con el HCl producto de la pirólisis del EDC.

En el proceso de Deacon, el Etileno se clora con carga fresca de Cloro y con una carga de corriente de HCl oxidado (proveniente de la pirólisis del EDC):

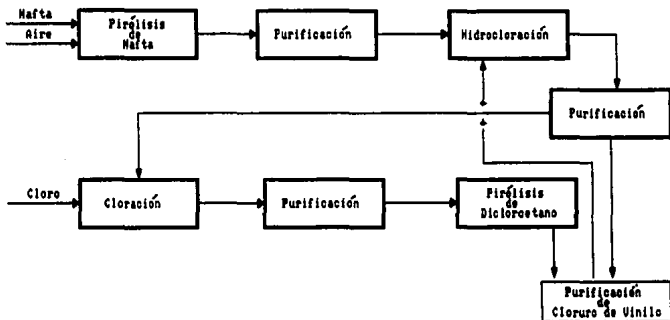


El diagrama de bloques del proceso se muestra a continuación.



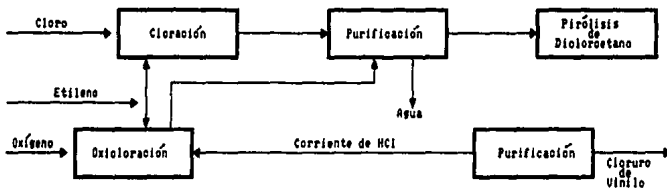
Una modificación del Proceso Balanceado que utiliza tanto Etileno como Acetileno usa una corriente de nafta como alimentación. Ésta es pirolizada para formar una mezcla que contiene prácticamente igual número de moles de Etileno y

Acetileno. Estas fracciones son separadas de los demás productos de pirólisis y en primer lugar son combinados con HCl. El Acetileno reacciona casi cuantitativamente para producir Cloruro de Vinilo que es fácilmente separado. La corriente gaseosa que sale de la hidroclicación se hace reaccionar con Cloro formándose EDC que es pirolizado para producir Cloruro de Vinilo.

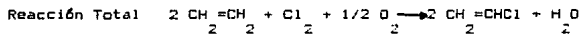
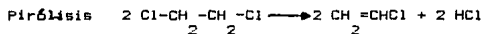
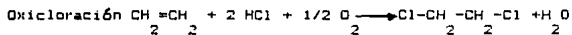
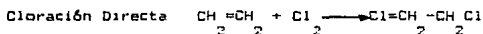


Por último, en lo que es el Proceso Balanceado de mayor uso industrial el Etileno reacciona con Cloro para producir EDC. En otro paso por separado se oxiclora al Etileno, es decir reacciona con HCl y Oxígeno, el EDC formado se une a la corriente procedente de la cloración directa y es piroliz-

zado. El HCl creado en este paso se alimenta al reactor de oxiclорación, de esta forma no hay consumo ni producción neta de HCl.



Las reacciones que sintetizan este proceso son:



Aunque existe capacidad instalada que usa el proceso de Acetileno o una combinación de Acetileno-Etileno como mate-

rias primas la mayor parte de la producción mundial se conduce por medio del Proceso Balanceado.

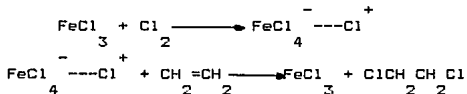
En la página 52 se muestra un diagrama de flujo de un Proceso Balanceado para producir Cloruro de Vinilo con Oxidación a base de Aire.

Proceso Balanceado.

A) Cloración Directa de Etileno.

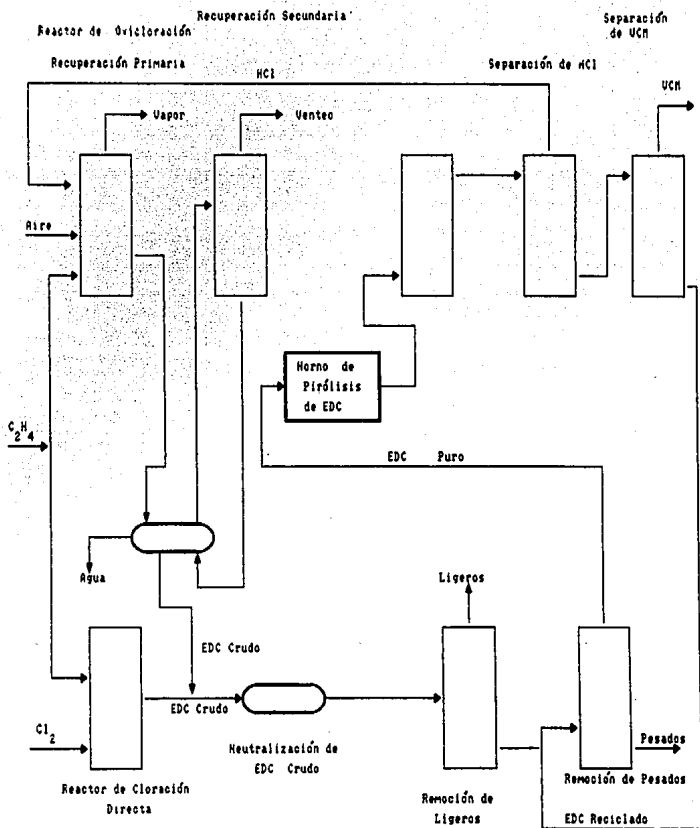
Se mezcla Etileno y Cloro en EDC líquido con $FeCl_3$ como catalizador, éste es altamente selectivo y eficiente. El paso controlante de la reacción es la absorción de Etileno en el catalizador.

La reacción procede a través de un mecanismo de polarización por medio del cual el catalizador polariza al Cloro, dicha molécula actúa como un reactivo electrofílico que ataca el doble enlace del Etileno facilitando la adición del Cloro.



La temperatura debe encontrarse entre los 50 y 70 °C para minimizar la formación de compuestos triclorados. La presión de operación es de 60 psig.

La relación molar de Cloro a Etileno varía entre 0.96 y 0.98. Aproximadamente el 99% del Cloro y del 95 al 98% del



Etileno reaccionan. La selectividad al EDC es mayor al 99%. En algunas ocasiones un exceso de Etileno es empleado, dicho exceso es recuperado y reciclado.

En la reacción en fase gaseosa el Cloro y el Etileno reaccionan a temperaturas entre los 90 y los 130 °C y a presiones de 103 a 150 psig. La reacción es altamente exotérmica y necesita de un estricto control de temperatura para prevenir una explosión. Algunas medidas tomadas para mantener el control de temperatura son:

- 1.- La presencia de un gas inerte o un exceso de Etileno en la alimentación.
- 2.-Rápido mezclado de las corrientes de Cloro y Etileno.
- 3.-Utilizar sólidos granulados empacando el reactor.

Los reactores suelen ser intercambiadores de tubo y coraza y los gases son circulados a través de los tubos.

El efluente del reactor es enfriado con agua y a la presión de operación casi todo el EDC se condensa, posteriormente es purificado por destilación. El Cloro que no reaccionó es removido con agua y después con NaOH. Si existen cantidades significativas el Etileno se recupera y es recirculado.

El proceso en fase líquida tiene importantes ventajas sobre el proceso en fase gaseosa como: mejor control de temperatura por lo que no es necesario el uso de gases

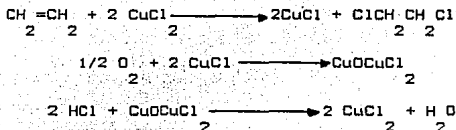
inertes o del exceso de Etileno y en el proceso en fase líquida el calor de reacción es utilizado para precalentar los reactivos y para vaporizar el EDC.

B) Oxidación.

En el proceso de oxidación el Etileno reacciona con HCl seco y ya sea aire u Oxígeno puro para producir EDC y agua. El Etileno usado en la oxidación debe ser considerablemente más puro que el utilizado en la cloración directa, por lo menos 99.5% de pureza. La reacción se lleva a cabo en fase vapor en reactores de lecho fijo (reactores tubulares) o de lecho fluidizado conteniendo el catalizador de Deacon (Cloruro Cúprico mezclado con Cloruro de Potasio y otros cloruros metálicos, soportado en Alúmina, Sílica-Alúmina o Tierra de Diatomeas).

El Cloruro de Potasio se añade para reducir el punto de fusión del catalizador a temperaturas entre 150° y 200° C. También disminuye la presión de vapor del fundido de Cloruro Cúprico.

Se sabe que el Cloruro Cúprico es el agente clorante pero el mecanismo exacto es desconocido. Durante la cloración se produce Cloruro Cuproso que es rápidamente reconvertido a Cloruro Cúprico.



La reacción es altamente exotérmica por lo que un adecuado control de temperatura es esencial para obtener buenas conversiones. Altas temperaturas favorecen la formación de productos alternos y la desactivación del catalizador.

En reactores de lecho fluidizado las condiciones de operación típicas son: temperaturas entre los 220° y 235 C y presiones de 23 a 73 psig.

El control de la temperatura es más difícil en reactores de lecho fijo debido a la existencia de zonas con perfiles de temperatura irregulares.

Los reactores de lecho fijo generalmente operan a mayores temperaturas y presiones que los reactores de lecho fluidizado: 230-300 C y 22-203 psig.

El reactor de lecho fluidizado tiene una marcada reducción en el capital y en los costos de operación comparado con el reactor de lecho fijo.

Para asegurar altas conversiones de HCl (96-99%) y Etileno (94-99%) en la oxiclорación a base de aire se alimenta un ligero exceso de aire de los requerimientos estequiométricos. La selectividad para la formación de EDC es del 93-96%.

Para recuperar el producto, los gases que salen del reactor son condensados obteniéndose EDC y agua, los cuales son separados por decantación. El remanente de los gases todavía contiene del 1 al 5% en volumen de EDC por lo que se hacen pasar por un sistema secundario de recuperación por absorción en solventes.

El proceso a base de Oxígeno trabaja a menores temperaturas, con mejor eficiencia y a mayores conversiones. En este caso el Etileno es alimentado en cantidades considerablemente mayores a las necesidades estequiométricas. Los gases efluentes son enfriados, purificados del HCl sin reaccionar y por condensación se separan el EDC y el agua. Los incondensables son comprimidos a la presión de operación, recalentados y recirculados al reactor. Este recirculamiento minimiza la pérdida de Etileno sin reaccionar.

Del 1 al 5% en volumen de los gases en el reactor son purgados para prevenir la acumulación de impurezas que se forman durante la oxícloración o que entran al reactor junto con la alimentación.

Importantes ventajas de la tecnología de oxícloración a base de Oxígeno con respecto a la que utiliza aire es la drástica reducción de los gases venteados durante el proceso, un mejor control de temperatura y una separación más sencilla de los productos.

Los coproductos típicos del proceso de oxícloración son: 1,1,2-Tricloroetano, Cloral (Tricloroacetaldehído), Tricloroetileno, 1,1-Dicloroetano, Cloruro de Vinilo, 1,1-Dicloroetileno, mono, di y triclorometano. De estos productos es de especial interés el Cloral que tiende a polimerizarse formando sólidos que ensucian y tapan las líneas de operación e instrumentación de control.

Comparado con el proceso de cloración directa la oxícloración se caracteriza por mayor capital de inversión, mayores costos de operación y menor pureza de EDC. Sin embargo, el proceso de oxícloración es necesario para consumir el HCl formado en la pirólisis de EDC.

Balance de Materia Típico en el Proceso Balanceado a Base de Aire para la Producción de Cloruro de Vinilo

Componentes	Materia Prima	Productos Intermedios	Coproductos	Corrientes Acuosas
C H 2 4	0.4656			
Cl 2	0.5871			
N 2	0.5782			
O 2	0.1537			
CO 2	0.0003			
C1CH CH Cl 2 2		1.6370	0.0029	
HCl		0.6036		

H O 2	0.0171		0.1438	0.1196
NaOH				0.0008
NaCl				0.0014
Ligeros			0.0029	
Pesados			0.0023	
CH =CHCl 2			0.0008	
Total Kg/Kg Cloruro de Vinilo	1.8020	2.2406	0.1527	0.1218

Corrientes de Venteo

Componente	Cloración Directa	Oxicloración	Columnas de Destilación	Producto
C H 2 4	0.0025			
Cl 2	0.0001		0.0001	
N 2		0.5779		
O 2		0.0214		
CO 2		0.0116		
CO		0.0032		
ClCH CH Cl 2 2	0.0016	0.0017	0.0045	
H O 2		0.0413		
Ligeros	0.0003	0.0025		
CH =CHCl 2	0.0001	0.0012	0.0024	1.0000
Total Kg/Kg Cloruro de Vinilo	0.0046	0.6608	0.0073	1.0000

La M.W. Kellogg Co. ha dado a conocer una nueva versión del proceso de oxícloración, en él se usa una solución acuosa de Cloruro Cáprico. El Etileno, HCl y Oxígeno son burbujeados a 170-185 C y presiones de 235-294 psig. Este proceso ofrece las siguientes ventajas:

- 1.- Excelente control de temperatura.
- 2.- Altas conversiones.
- 3.- Se pueden utilizar soluciones de HCl que son de menor precio.
- 4.- Se puede practicar simultáneamente la cloración directa y la oxícloración ambas con altas conversiones.

C) Purificación del EDC para Pirólisis.

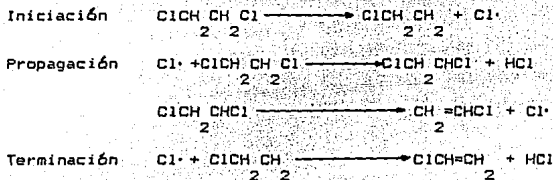
El EDC que se somete a pirólisis debe ser de gran pureza (99.5% en peso por lo menos) y estar seco (menos de 10 ppm de agua). Esto se hace necesario debido a la facilidad con que se puede inhibir el cracking.

La cloración directa ofrece pureza de producto mayor al 99.5% sólo se debe remover el $FeCl_3$ por absorción en sólidos, destilación o lavado con agua.

El EDC proveniente de la oxícloración es menor puro y normalmente es lavado con agua y después con una solución cáustica para eliminar el Cloral y algunos otros contaminantes. Los compuestos de bajo punto de ebullición y el agua se separan mediante una columna de destilación obteniéndose el EDC en los fondos.

D) Pirólisis.

La pirólisis térmica del EDC a Cloruro de Vinilo es una reacción de primer orden por radicales libres.



Los iniciadores de la reacción más utilizados son: CCl_4 , Cl_2 , Br_2 , I_2 y O_2 .

Se conocen tres métodos para la pirólisis del EDC: la pirólisis catalítica, pirólisis en presencia de sólidos inertes y pirólisis no catalítica. Este último proceso es el preferido por varias compañías entre ellas la B.F. Goodrich, la Imperial Chemical Industries (I.C.I.) y la Solvay et Cie. que producen más de 600,000 toneladas al año de Cloruro de Vinilo.

El proceso de pirólisis a alta presión usado por Goodrich se lleva a cabo en un horno cuadrangular con arreglo de tubos. El diámetro interno de los tubos varía de 1 a 3.5 in y con longitudes de 335 a 970 ft.

En las primeras dos "U's" se vaporiza y precalienta el EDC a presiones de 353-368 psig. Estas secciones se encuentran en el área de convección del horno. La pirólisis ocurre en las últimas tres "U's" localizadas en el área de radiación. La temperatura en esta área varía entre 470 y 540 C.

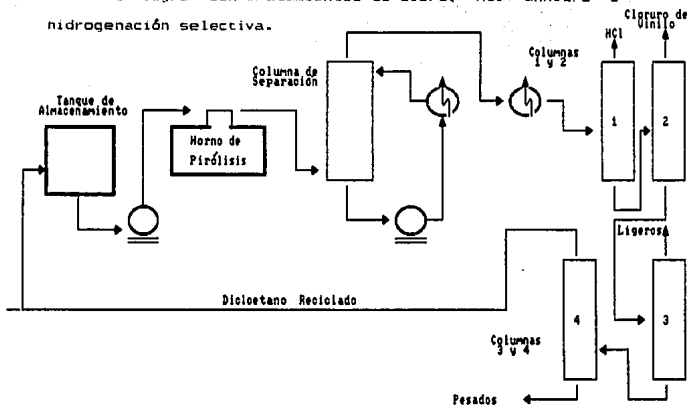
Los tiempos de residencia promedio van de 9 a 20 segundos. La conversión de EDC por paso es del 50 al 70%. El rendimiento total del Cloruro de Vinilo puede sobrepasar el 99%. Si se incrementa la temperatura se consiguen mayores conversiones pero menor selectividad al Cloruro de Vinilo debido a la inhibición de los radicales libres por los coproductos de la pirólisis.

Los productos de pirólisis se deben enfriar rápidamente ya que de otra forma el Cloruro de Vinilo puede degradarse. Esto se lleva a cabo en una columna de enfriamiento donde los gases se ponen en contacto con los productos de condensación de la pirólisis, esta columna sólo elimina calor sensible. Los gases salen de la columna en el punto de rocío, de aquí pasan a un intercambiador de calor donde se condensan. A la primera columna de destilación se alimenta líquido a presión de 176 psig donde se separa HCl de alta pureza. En la segunda columna que opera a 70 psig se obtiene el Cloruro de Vinilo. La tercera columna separa los coproductos de bajo punto de ebullición y la cuarta columna separa los de alto punto de ebullición. El EDC sin reaccionar se recicla al horno de pirólisis.

Los coproductos de la pirólisis pueden ser: Acetileno, Etileno, Clorometano, Butadieno, Vinilacetileno, Benceno, Cloropreno, 1,1-Dicloroetano, Cloroformo, Tetracloruro de

Carbono, 1,1,1-Tricloroetano y otros hidrocarburos clorados.

El butadieno es un contaminante que se debe eliminar ya que interfiere con la polimerización del Cloruro de Vinilo. Esto se logra con tratamientos de Cloro, HCl anhidro o hidrogenación selectiva.



El proceso no catalítico a bajas presiones opera a 73-150 psig y el diámetro interior de los tubos aumenta a 5 ó 6 in.

Para la pirólisis catalítica se empaican los tubos del horno con Carbón activado impregnado con sales de Cloro. Con esto se disminuyen las temperaturas y se puede trabajar a presiones que van desde 15 a 150 psig. Una carga de catalizador puede ser usada aproximadamente un año antes de ser

reemplazada. El alto costo del catalizador hace poco atractivo el proceso.

Preparación de Cloruro de Vinilo a Base de Acetileno.

El Acetileno requerido para la preparación de Cloruro de Vinilo debe tener la siguiente composición en base seca:

Acetileno	98.8200 % en peso
Azufre Total	0.0011 %
Acido Sulfhídrico	0.0001 %
Azufre Orgánico	0.0010 %
Fósforo Total	0.0327 %
Amoniaco	0.0052 %
Dióxido de Carbono	0.0037 %

Otras impurezas que son aceptables en pequeñas cantidades son compuestos de Arsénico y Sílice.

La transformación química del Acetileno a Cloruro de Vinilo se lleva a cabo mediante la reacción con Acido Clorhídrico:



El Acetileno se comprime a 30 psia y después es secado con H_2SO_4 . El proceso trabaja a bajas presiones ya que de

otra forma el Acetileno puede convertirse en peligroso explosivo. El Acetileno ya seco se pasa a una cama de Carbón activado para eliminar las impurezas que puedan envenenar al catalizador. Más tarde el Acetileno se mezcla con HCl puri-

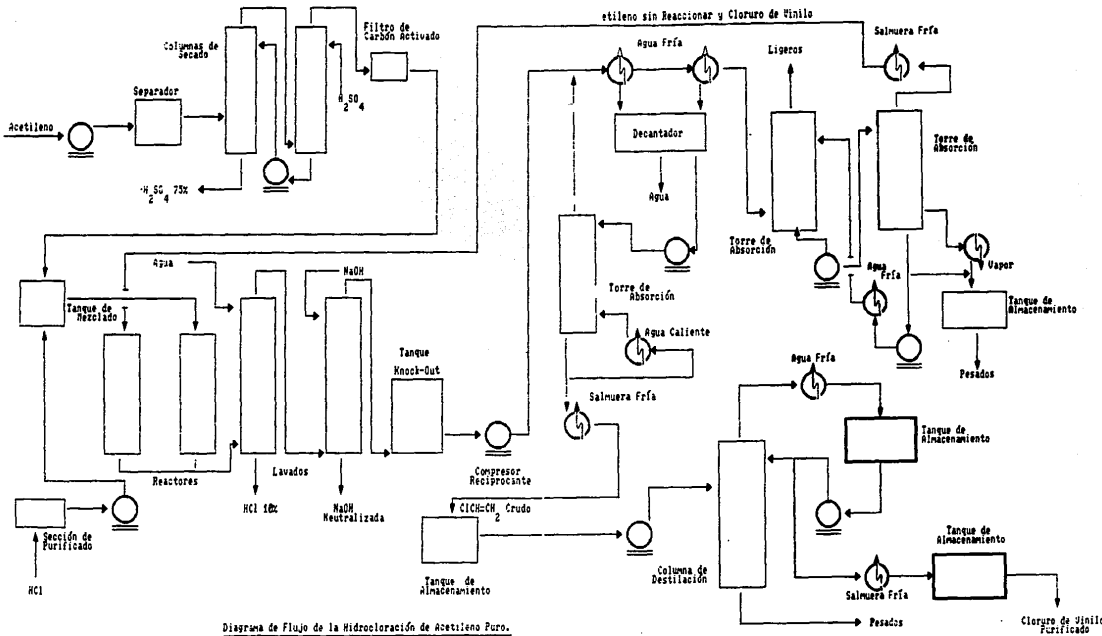


Diagrama de Flujo de la Hidrocloración de Acetileno Puro.

ficado en proporciones molares de 1:1 y esta mezcla gaseosa a presiones de 22 ó 23 psig es alimentada a los reactores que normalmente son intercambiadores de tubo y coraza con el catalizador empacado en los tubos (Cloruro Mercurico soportado en pellets de Carbón). Del lado de la coraza un fluido remueve el calor generado por la reacción manteniendo la temperatura entre 90 ° y 140 ° C. Si las impurezas son adecuadamente removidas de los reactivos, la vida media del catalizador puede ser de aproximadamente medio año.

Los gases procedentes del reactor son lavados primero con agua para eliminar la mayor parte del HCl y el remanente se neutraliza con NaOH. Una vez que el agua es removida, los gases se comprimen a 103 psia y son enfriados. Mediante una combinación de columnas de adsorción y destilación se separa el Cloruro de Vinilo. El Acetileno sin reaccionar es recirculado.

Las conversiones alcanzan el 98-99% para ambos reactivos. Los principales coproductos de la reacción son el Tricloroetileno, Dicloroetileno y Aldehídos que comercialmente se forman en un 1.5% en peso del total del producto de la reacción.

Tendencias Tecnológicas.

Los desarrollos más recientes en la tecnología de producción de Cloruro de Vinilo se orientan más al mejoramiento del proceso balanceado que a la introducción de nuevos procesos.

Actualmente se está tratando de buscar un proceso de Deacon más barato que haría del proceso balanceado por Deacon un método económicamente más atractivo que el que utiliza pasos separados de cloración directa y oxiclación.

Ahora, si en el proceso de cloración directa se trabaja en el punto de ebullición del EDC se ahorra energía y se reduce la producción de productos alternos. Ahorros de energía se logran al utilizar el reactor como rehervidor para el sistema de purificación de EDC. Con esta modificación el calor de reacción es usado para proveer de vapor a la columna de destilación.

En el campo de la pirólisis constantemente se buscan mejores promotores de la reacción en cadena.

En el Instituto Max Planck, Göttingen Alemania, se está estudiando una técnica de pirólisis inducida por láser que aumenta la conversión de EDC con menor formación de coproductos.

El desarrollo de nuevos procedimientos de refinamiento de crudo con altos rendimientos de Acetileno y Etileno

pueden hacer renacer el proceso a base de Acetileno o a base de mezclas Acetileno-Etileno.

3.1.3. USOS.

El Cloruro de Vinilo ha ganado importancia internacional como precursor del Policloruro de Vinilo (P.V.C.), que es hacia donde se destina la mayor parte de la producción. También es usado en una amplia variedad de copolímeros debido a sus propiedades como retardante a la flama. El uso del Cloruro de Vinilo como materia prima para la síntesis de otras sustancias químicas será visto con mayor frecuencia consecuencia directa del gran volumen de producción y bajo precio.

3.2. P.V.C.

3.2.1. EL DESCUBRIMIENTO DE BAUMANN.

En 1872 Baumann descubre la formación de un polvo blanco al encapsular Cloruro de Vinilo en un tubo de vidrio sellado y expuesto a la luz solar. Aunque corrió diversas pruebas sobre este nuevo producto no pudo identificarlo. En 1912 la Griesheim-Elektron confirma la formación del polímero de Cloruro de Vinilo por la acción de las radiaciones ultravioleta y en 1914 se reporta el uso de peróxidos orgánicos como aceleradores de la reacción. En 1919 Klatte y Rollet reportan la obtención de P.V.C. usando peróxidos como catalizadores en lugar de luz solar. Plausen descubre la polimerización directa al someter a calor y presión al Acetileno y al HCl. Los primeros estudios encontraron que con temperaturas de polimerización más bajas se obtenían polímeros de peso molecular más alto y de mayor estabilidad térmica.

Las corporaciones Carbide and Carbon Chemical Corporation, Dupont E.I. Nemours y Y.G. Farbenindustries lanzan proyectos de copolimerización de Cloruro y Acetato de Vinilo en 1928. La razón por la cual no se trabaja con el homopolímero es porque no se consigue procesarlo sin que se descomponga debido a la temperatura.

En 1929, Kyoricoes patenta el uso del Di-2-etilhexil Ftalato (Dioctil Ftalato DDP) como plastificante para el P.V.C. La B.F. Goodrich Chemical Company descubre que el P.V.C. puede ser plastificado con líquidos de alto punto de ebullición como el Tritolil Fosfato para dar un producto semejante al copolímero. En este momento el camino se abría para la producción de P.V.C. como homopolímero.

En 1930 la B.F. Goodrich junto con General Electric inician la comercialización en Estados Unidos del P.V.C. plastificado como aislante eléctrico para cables y alambres.

Entre 1931 y 1933, Waldo Selmon encuentra que el Ftalato de Dibutilo, el Fosfato de Tricresilo y el Eter Ortodinitro Fenílico sirven también como plastificante del P.V.C.

Una planta con capacidad de 85 ton/año es construida por la Imperial Chemical Industries (I.C.I.) en 1940, que fue seguida por otra con capacidad de 450 ton/año en 1942.

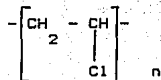
Durante la Segunda Guerra Mundial el bloqueo japonés a las plantaciones de hule de Java y Sumatra y el bloqueo alemán al Atlántico impulsaron el desarrollo del P.V.C. en Estados Unidos para hacer artículos de guerra y domésticos en sustitución a los de hule.

Después de la guerra el uso del P.V.C. se expandió rápidamente gracias al desarrollo del polímero en pasta y el polímero rígido.

El P.V.C. se empezó a comercializar en México desde 1947 pero las primeras plantas se instalaron hasta 1953.

3.2.2. ESTRUCTURA.

El Policloruro de Vinilo posee la fórmula general:



Para la mayor parte de sus aplicaciones el P.V.C. tiene un peso molecular promedio en número en el rango de 40,000 a 80,000; en tanto que el P.V.C. rígido tiene pesos moleculares entre 30,000 y 50,000.

La forma y tamaño de las partículas de P.V.C. dependen del proceso de polimerización:

Polimerización por Emulsión.

En emulsión el P.V.C. se encuentra en forma coloidal como partículas esféricas dispersas en agua. Los diámetros de las esferas varían entre 0.05 a 2 micrones. El tamaño de partícula puede ser controlado con las condiciones de polimerización.

1.- El peso molecular promedio en número se obtiene al conocer el número de moléculas de una masa conocida de polímero. Otro peso molecular utilizado regularmente para plásticos es el peso molecular promedio en masa en el que se utilizan métodos como la difracción de la luz y en el que las moléculas más grandes tienen mayor efecto sobre el peso molecular.

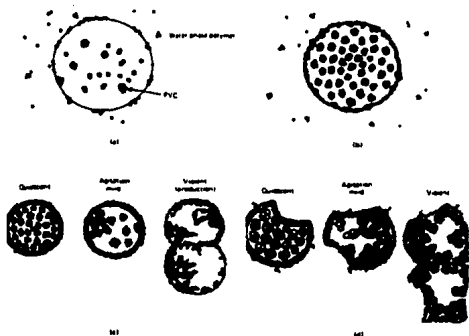
Los látices (películas de polímero sumamente delgadas fabricadas por emulsión) pueden tener una muy estrecha distribución de tamaños. En un látex, las partículas individuales se encuentran dispersas uniformemente a través de la fase acuosa y existe poca evidencia de floculación. Cuando el látex es secado las partículas generan aglomerados dando lugar a resinas de dispersión. Los aglomerados pueden sobrepasar los 20 micrones de diámetro. En las resinas de dispersión hay una amplia distribución de tamaños ya que existen tantas partículas individuales como aglomerados.

Polimerización por Suspensión.

El P.V.C. fabricado mediante el método de suspensión tiene diámetros promedio de 80 a 200 micrones. Las partículas tienen una superficie lisa y forma irregular. El interior es poroso e integrado por partículas primarias de 1 a 3 micrones. Una membrana pericelular cubre el exterior de la partícula. Esta película tiene de 0.5 a 1 micrón de espesor y consiste en su mayor parte de P.V.C. aunque contiene pequeñas cantidades de dispersante.

La membrana pericelular se forma por medio de la migración de las partículas submicrométricas del copolímero P.V.C.-dispersante. A conversiones de 1 ó 2 % la membrana pericelular ya se ha formado en tanto que dentro de la gota hay partículas primarias de P.V.C. en movimiento browniano

en el Cloruro de Vinilo. La membrana pericelular estabiliza a la partícula evitando la floculación.



Desarrollo de una gota de P.V.C. por suspensión.

- a) A conversiones por debajo del 1 %.
- b) A conversiones del 1-2 %.
- c) A conversiones del 2-4 %.
- d) A Conversiones del 10 %.

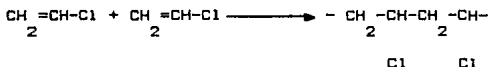
El curso que siga el coloide depende de las condiciones de agitación durante la polimerización. En un sistema sin agitación la diferencia de densidades entre el P.V.C. y el

Cloruro de Vinilo provoca el colapso de la gota, de aquí las tan comunes perforaciones en la superficie de las partículas de P.V.C. Ante condiciones suaves de agitación, los granos de P.V.C. floculan y se crea una estructura irregular dentro de la gota. Si la agitación es más vigorosa las gotas se agrupan formando una estructura pluricelular.

Polimerización por Masa.

El P.V.C. originado mediante el proceso en masa se creía no poseía película alrededor de cada partícula; sin embargo, se ha demostrado la existencia de una película de recubrimiento pero ésta sólo está constituida por el polímero. El mecanismo de formación de esta película no es conocido hasta ahora.

El Cloruro de Vinilo durante su polimerización puede adicionarse a otra molécula en una estructura cabeza-cola:

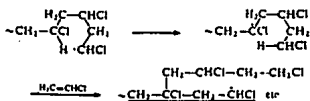


o en una estructura cabeza-cabeza ó cola-cola:

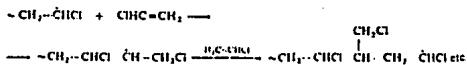


Las estructuras cabeza-cabeza ó cola-cola son de esperarse que se decloran totalmente por la reacción del Cloro con el Carbono adyacente.

La producción de ramificaciones de Diclorobutil se atribuye al siguiente mecanismo:

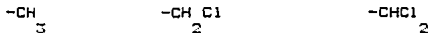


Las cadenas largas surgen al transferirse un Hidrógeno del polímero a radicales que están aumentando de tamaño. El Hidrógeno de mayor susceptibilidad a la transferencia es el del grupo $-\text{CHCl}-$ ya que el radical libre resultante tiene una estabilidad de resonancia.



Existen tres grupos posibles como terminales de la cadena de P.V.C.

Grupos saturados formados por transferencia de cadena entre el polímero y el monómero con terminación a través de desproporción de monómero contra polímero:



Grupos insaturados resultado de la terminación por desproporción y transferencia de cadena al monómero:

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Para P.V.C. de uso general el grado de cristalinidad es del 5 % y para el polímero procesado a bajas temperaturas es del 25 al 30 %. Al polimerizar en presencia de aldehídos alifáticos se pueden obtener mayores grados de cristalinidad, esto debido a la poca polimerización y ramificación lograda bajo éstas condiciones. Los cristales alcanzan tamaños de 5 a 10 nanómetros.

3.2.3. PROPIEDADES.

Propiedades Físicas.

El P.V.C. es un termoplástico transparente, libre de olor con excelente resistencia química, buena resistencia al intemperismo en especial al Ozono y fabulosas propiedades dieléctricas. Aunque tiene buena estabilidad dimensional su resistencia al impacto es poca. Se degrada fácilmente ante el efecto del calor y de la luz UV. Sólo arde en presencia de fuego de otra forma no sostiene la flama.

Tanto la temperatura de transición vítrea (Tg) como la temperatura de fusión (Tm) dependen de la temperatura de polimerización del plástico. La siguiente tabla enseña los valores de Tg y Tm para diferentes temperaturas de polimerización:

Temperatura de Polimerización (° C)	Tg (° C)	Tm (° C)
125	68	155
40	80	220
-10	90	265
-15	105	285
-20	95	-
-30	100	-
-50	106	-
-60	110	-
-75	-	310
-80	100	>300

El P.V.C. es soluble en compuestos que contienen Oxígeno como el Dioxano, Tetrahydrofurano, Ciclohexanona, Metili-

sobutil Cetona, Nitrobenceno. Los compuestos clorados, por ejemplo el Dicloro Etileno y el Clorobenceno, también solubilizan al P.V.C.

El P.V.C. sin plastificar o rígido y el P.V.C. plastificado o flexible guardan diferentes propiedades. El P.V.C. rígido es duro, frágil y difícil de procesar pero tiene una buena resistencia al intemperismo; buenas propiedades dieléctricas, resistencia a la humedad y varios agentes químicos. El P.V.C. flexible es más fácil de procesar pero tiene menor estabilidad térmica y pobres propiedades al intemperismo.

A continuación se incluye una tabla con las principales propiedades del P.V.C. A manera de comparación se incluyen para cada propiedad los plásticos con los valores máximo y mínimo.

Propiedad	P.V.C. Rígido	P.V.C. flexible	P.U. cargable	Valor Máximo	Valor Mínimo
Densidad (g/cm ³)	1.35-1.45	1.16-1.35	1.3-1.7	Politetrafluoro- etileno 2.13-2.22	Resina Epó- xica 0.75-1.00
Absorción de Agua 24 hr 1/8 in (%)	0.07-0.40	0.15-0.75	0.5-1.0	Poliaril Sul- fona 1.0	Politetrafluoro- etileno 0 Clorotrifluoro- etileno 0
Flamabilidad	Autoextinguible	Lenta a Autoextinguible	Lenta a Autoextinguible	-	-
Efecto de la Luz Solar	-	Ligero	-	-	-
Permeabilidad a Gases (Oxígeno) (ml/min/cm ² /seg/ cm Hg X 10 ⁻¹⁰)	0.5-1.2	6	-	-	-
<u>Propiedades Mecánicas</u>					
Resistencia a la tensión (psi X 10 ³)	5.0-9.0	1.5-3.5	1.0-3.5	Poliaril Sul- fona 13.0	Polietileno Baja Densidad 0.6
Elongación (%)	2.0-4.0	200-450	200-400	Polietileno Baja Densidad 600	Poliestireno 1
Módulo de tensión (psi X 10 ³)	3.5-6.0	-	-	Acetal 6.2	Polietileno Alta Densidad 0.14
Resistencia a la Compresión (psi X 10 ³)	0.0-13.0	0.9-1.7	1.0-1.8	Poliimida 12-24	Polietileno Alta Densidad 0.8-3.6
Módulo de Compresión (psi X 10 ³)	-	3.0-4.0	-	Estireno Acrilonitrilo 0.5	Polietileno Alta Densidad 0.5-1.1
Resistencia a la Flexión (psi X 10 ³)	10.0-16.0	-	-	Sulfuro de Polifenileno cargado 40 X con vidrio 37	Poliuretano 0.7-1.0
Resistencia al impacto ft-lb/in notch	0.4-20.0	Varía	Varía	Polietileno Baja Densidad No se rompe	Poliestireno 0.25
Dureza Rockwell	65-85 Shore D	50-100 Shore A	50-100 Shore A	P.U.C. Flexi- ble 50-100 Shore A	Copolímero Etileno/nil Acetato 17-36 Shore D
Módulo de Elasticidad (psi X 10 ³)	426.6	104.06	-	-	-

Propiedad	P.U.C. Rígido	P.U.C. Flexible sin Cargar	P.U.C. Flexible Cargado	Valor Máximo	Valor Mínimo
Propiedades Térmicas					
Conductividad Térmica (Cal/segcm ² (°C /cm) X 10 ⁻⁴)	3-7	3-4	3-4	Poliéster cargado con vidrio 4.67-7.76	Poliestireno hiedro Impacto 8.388-8.925
Calor Específico (Cal/°C/g)	0.20-0.28	0.3-0.5	0.3-0.5	-	-
Coefficiente de Expansión Térmica Lineal (in/in/°C X10 ⁻⁵)	5.0-10.5	7-25	-	P.U.C. sin Cargar 7-25	Poliéster 0.65-1.08
Resistencia al Calor Continuo (°C)	65-79	65-79	65-79	Silicones 315-400	Etilcelulosa 46-85
Temperatura de Deflexión (°C) a 264 psi	130-175	-	-	Poliimida 360	Poliestireno Alta Densidad 43-52
a 60 psi	135-180	-	-	-	-
Punto de Ablandamiento Vicat (°C)	78-83	50-60	-	-	-
Punto de Fragilidad (°C)	0	-16	-	-	-
Propiedades Eléctricas					
Resistividad Volumétrica (50x MM w 23 °C)	10 ¹⁶	10 ¹¹ - 10 ¹⁵	10 ¹¹ - 10 ¹⁴	Copolímero de SAN cargado con vidrio 1.4-2X10 ¹⁹	ABS cargado con vidrio 7-16X10 ⁴
Resistencia Dielectrica Periodos Cortos (volts/milX10 ³)	0.425-1.300	0.3-1.0	0.25-0.80	P.U.C. Rígido 1.3	Nielamina 0.13-0.37

Propiedad	P.U.C. Rígido	P.U.C. Flexible sin Cargas	P.U.C. Flexible Cargada	Valor Máximo	Valor Mínimo
Resistencia Dielectrica Por Pasos (volts/mil $\times 10^3$)	0.375-0.750	0.275-0.290	0.225-0.750	Copolímero de Etilen Vinil Acetato 0.62-0.70	Resinas Fenólicas cargadas con vidrio 0.12-0.40
Constante Dielectrica 60 Ciclos	3.2-3.6	5-9	5-6	Resinas Fenólicas 3.2-21.0	Polímero de Fluorocarbon 2.1
1,000 Ciclos	3.0-3.3	4-8	4-5	-	-
1 X 10^6 Ciclos	2.8-3.1	3.3-4.5	3.5-4.5	Fenol Formaldehído 5-10	Resina Epoxi 2-3
Factor de Disipación (X 10^{-3}) 60 Ciclos	9-17	70-160	90-160	Copolímero de Resina Fenólica con Acrilato Estirilo 140-500	Polímero de Metilpentano 0.07
1,000 Ciclos	6-19	40-140	90-100	-	-
1 X 10^6 Ciclos	6-19	40-140	90-100	Fenol Formaldehído con Glicolato 350-800	Polímero de Metilpentano 0.023
Arco de Resistencia (seg)	60-80	-	-	Silicones 250-420	Resina Fenólica cargada con vidrio 4-10
<u>Propiedades Ópticas</u>					
Índice de Refracción	1.52-1.55	-	-	Polisulfona 1.633	Polímero de Fluorocarbon 1.34
Transparencia	Transparente	Transparente	Transparente	-	-

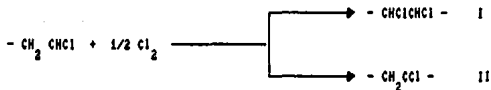
Fuente: Handbook of Plastics and Monomers (1975)

Propiedades Químicas.

A) Cloración.

La reacción de cloración es la más importante de las reacciones del P.V.C. El Proceso puede ser conducido en un medio orgánico, por ejemplo CCl_4 a temperaturas moderadas bajo irradiación con luz UV. Conforme se empieza a clorar el producto se solubiliza y es recuperado más tarde en metanol. La reacción también puede llevarse a cabo en medio acuoso en presencia de CHCl_3 ó CCl_4 catalizada con luz UV.

El Cloro puede incorporarse para dar lugar a estructuras 1,2 ó 1,1 dicloroetilénicas:



La razón del producto I al producto II es mayor a 2:1 y con altos contenidos de Cloro llega a alcanzar relaciones de 5:1.

B) Decloración.

El P.V.C. se declora con compuestos tiol para plastificarlo internamente. Tiolatos de Sodio ($\text{RO} \left(\text{CH}_2 \right)_n \text{S}^{\ominus} \text{Na}^{\oplus}$)

son utilizados para efectuar el desplazamiento nucleofílico del Cloro. El 33% de los átomos de Cloro son sustituidos por los grupos tiolato. El Acetato de Potasio en tetrahidrofurano reemplaza el 4.8% del Cloro.

C) Preparación de Resinas de Intercambio Catiónico y Aniónico.

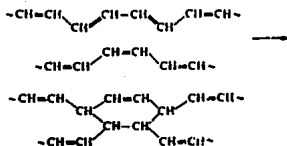
Las resinas de intercambio aniónico se preparan tratando el P.V.C. con amins como la m-toluidina, Anilina y amins alifáticas. El P.V.C. sulfonado con Acido Clorosulfúrico forma las resinas de intercambio catiónico.

D) Degradación Térmica.

Al ser calentado por arriba de los 70 °C el P.V.C. comienza a descomponerse. El primer paso en el proceso de degradación térmica es una dehidrocloración de la cadena producida por activación alílica.

Se cree que los sitios de inicio de la descomposición son los carbonos terciarios asociados a ramificaciones de Diclorobutilo ó de cadena larga.

La dehidrocloración crea una secuencia de polienos que tiene dos efectos sobre el P.V.C.: secuencias de 6 a 14 dobles enlaces provocan un cambio de color del material, de transparente pasa a amarillo, naranja, café y negro. El segundo efecto es la reticulación de las cadenas por una cicloadición de Diels-Alder.

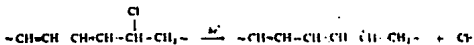


El P.V.C. se degrada más rápidamente en presencia de Oxígeno. Este incremento en la velocidad de degradación se debe a la formación de radicales peroxi que sustraen Hidrógenos de la cadena creando sitios de inicio para la dehidrocloración. Durante la oxidación la reticulación compete con el rompimiento de las cadenas provocado por los hidroperóxidos.

E) Fotodegradación.

Cuando el P.V.C. no ha sido estabilizado es atacado por radiaciones con longitudes de onda mayores a 250 nm (luz UV). Los pasos que sigue la fotodegradación son los mismos que en la descomposición térmica.

Las secuencias de polienos pueden ser los sitios de inicio de la dehidrocloración ya que absorben longitudes de onda mayores a 220 nm pudiendo producir radicales que inician la degradación.



La siguiente tabla muestra la resistencia química del P.V.C. ante diversas sustancias:

Sustancia

P.V.C. Rígido
25 °C 65 °CP.V.C. Flexible
25 °C 65 °C

Sustancia	P.V.C. Rígido		P.V.C. Flexible	
	25 °C	65 °C	25 °C	65 °C
<u>Ácidos</u>				
Acético 10-50x	E	G	F	F
Acético 75x	F	F	F	X
Acético Glacial	F	X	X	X
Benzóico	G	F	E	E
Bórico	E	E	E	E
Butírico	G	F	F	X
Cloroacético	G	F	E	X
Crómico	E	E	F	X
Cítrico	E	E	E	E
Fluobórico	E	E	E	E
Bromhídrico 25x	E	E	E	G
Clorhídrico 10x	E	E	E	G
Clorhídrico 37x	E	E	E	G
Cianhídrico	E	E	E	E
Fluorhídrico	E	E	G	X
Hipocloroso	E	E	E	E
Láctico	E	E	E	E
Naleico	E	E	E	E

Sustancia	P.U.C. Rígido		P.U.C. Flexible	
	25°C	65°C	25°C	65°C
Nítrico 5x	E	E	G	E
Nítrico 65x	E	G	F	X
Oleico	E	E	E	E
Oxálico	E	E	E	G
Perclórico	E	G	G	F
Fosfórico 25x	E	E	E	G
Fosfórico 85x	E	E	E	G
Ftálico	E	E	E	E
Sulfúrico 10x	E	E	E	G
Sulfúrico 78x	E	E	E	F
Sulfúrico 93x	E	G	X	X
Tartárico	E	E	E	E
<u>Alcalis</u>				
Hidróxido de Amonio	E	E	E	E
Hidróxido de Calcio	E	E	E	E
Hidróxido de Potasio	E	E	E	E
Hidróxido de Sodio	E	E	E	E
Sales Ácidas	E	E	E	E
Sales Alcalinas	E	E	E	E

Sustancia	P.V.C. Rígido		P.V.C. Flexible	
	25°C	65°C	25°C	65°C
Sales Neutras	E	E	E	E
Dicromato de Potasio	E	E	E	E
Permanganato de Potasio	E	E	G	G
Cianuro de Sodio	E	E	E	E
Ferrocianuro de Sodio	E	E	E	E
Hipoclorito de Sodio	E	E	E	E
<u>Solventes y otros Compuestos Orgánicos</u>				
Acetona	X	X	X	X
Alcohol Metílico	E	E	G	G
Alcohol Etilico	E	E	G	G
Alcohol Butílico	E	G	F	X
Anilina	X	X	X	X
Benceno	X	X	X	X
Disulfuro de Carbono	X	X	X	X
Tetracloruro de Carbono	F	X	X	X
Clorobenceno	X	X	X	X
Tricloruro de Carbono	X	X	X	X
Etil Acetato	X	X	X	X
Cloroetileno	X	X	X	X

Sustancia	P.U.C. Rígido		P.U.C. Flexible	
	25°C	65°C	25°C	65°C
Dicloroetileno	X	X	X	X
Etil Eter	X	X	X	X
Formaldehído 37%	E	G	G	F
Gasolina	E	G	F	X
Heptano	E	G	F	X
Clorometileno	X	X	X	X
Metil Etil Cetona	X	X	X	X
Nitrobenceno	X	X	X	X
Fenol	X	X	X	X
Tolueno	X	X	X	X
Tricloroetileno	X	X	X	X
<u>Gases</u>				
Dióxido de Carbono	E	E	E	E
Monóxido de Carbono	E	E	E	E
Cloro Seco	G	G	G	G
Cloro Húmedo	G	F	F	F
Dióxido de Azufre Seco	E	E	E	E
Dióxido de Azufre Húmedo	E	E	X	X

Fuente: Handbook of Plastics and Monomers (1973)

- E - Excelente. No hay ataque apreciable.
- G - Buena. El ataque es insignificante.
- F - Mediana. Ataque suave.
- X - Mala. Ataque severo.

Sales Ácidas: Cloruro de Aluminio, Sulfato de Aluminio, Cloruro de Cobre, Sulfato de Cobre, Cloruro Férrico, Sulfato Férrico, Cloruro Estánico, Cloruro de Zinc, Sulfato de Zinc.
Sales Alcalinas: Bicarbonato de Potasio, Carbonato de Potasio, Bicarbonato de Sodio, Carbonato de Sodio, Trifosfato de Sodio.

Sales Neutras: Cloruro de Calcio, Nitrato de Calcio, Sulfato de Calcio, Cloruro de Magnesio, Nitrato de Potasio, Sulfato de Potasio, Cloruro de Sodio, Nitrato de Sodio, Sulfato de Sodio.

3.2.4. FORMULACION DE P.V.C.

Una vez que el Cloruro de Vinilo ha sido polimerizado pasa a la planta de compuestos en donde a la resina de P.V.C. se le añaden diversos aditivos.

La resina de P.V.C. es por sí sola un material sin utilidad práctica necesita de la adición de sustancias que permitan su procesamiento y que le proporcionen, aumenten o disminuyan ciertas propiedades al polímero de acuerdo a sus características de uso final.

El P.V.C. es uno de los plásticos que usan más aditivos en su procesamiento. Entre los aditivos que se agregan al P.V.C. se encuentran:

- Plastificantes.
- Estabilizadores a la luz U.V.
- Lubricantes.
- Cargas y Refuerzos.
- Pigmentos, Colorantes y Preparaciones.
- Modificadores de Flujo.
- Modificadores de Impacto.
- Retardantes a la Flama.
- Espumantes.
- Antioxidantes.

- Antiestáticos.
- Preservativos.
- Estabilizadores al Calor.

Las formulaciones del P.V.C. y de los plásticos en general varían de acuerdo al uso final del material y del tipo de aditivos que se utilizan. A continuación se presentan dos formulaciones comunes para P.V.C.:

Formulación para P.V.C. Flexible de Uso General.

Componente	Partes por Peso
- Resina de P.V.C.	100
- Plastificante:	
* Di-octil Ftalato	30-80
* Aceite de Soya Epoxidado	5
- Estabilizante a la Luz U.V.:	
* Bario-Cadmio	<= 3
- Cargas:	
* Carbonato de Calcio	30
- Lubricante:	
* Acido Esteárico	0.5
- Pigmentos	3

Formulación para P.V.C. para Tubería Rígida.

Componente	Partes por Peso
- Resina de P.V.C.	100
- Modificadores de Impacto:	
* MBS	0-10
- Lubricante:	
* Acrílico	0-3
* Estearato de Calcio	0.4-2.0
* Polietileno Oxidado	0.0-0.5
* Cera Parafínica	0.4-1.2
- Estabilizadores al Calor:	
* Compuestos Orgánicos de Estaño	0.2-2.5
- Pigmentos:	
* Dióxido de Titanio	0.5-3.0
- Cargas:	
* Carbonato de Calcio con Estearatos	0-5

Información específica sobre cada tipo de aditivo y una lista de proveedores se ofrece en el Apéndice 1.

3.2.5 PROCESOS DE TRANSFORMACION DEL P.V.C.

Ya que se tiene el compuesto de P.V.C. (resina de P.V.C. más aditivos) éste pasa a ser transformado para crear el producto final. Los procesos de transformación a los que normalmente se recurre son:

- Extrusión.
- Soplado.
- Inyección.
- Calandreo.
- Compresión.
- Termoformado.
- Moldeo por Vaciado o Casting.
- Recubrimiento por Inmersión.
- Recubrimiento por Rociado.
- Recubrimiento por Esparcido.
- Espumado.

De ellos los más importantes son la extrusión, soplado, inyección, termoformado y espumado.

Mayor información acerca de cada uno de los métodos de transformación y una lista de proveedores de equipo se ofrece en el Apéndice 2.

3.2.6. USOS.

En nuestra vida diaria nos encontramos rodeados de artículos fabricados en parte o en su totalidad con P.V.C. y esto es fácilmente demostrable con la siguiente lista. Entre paréntesis se incluye el proceso mediante el cual se fabrica el producto.

P.V.C. Rígido.

- Tubería rígida (Ex.)
- Lámina (Ex. Cal.)
- Cubiertas para bombas (Cal.)
- Conductos para cable (Ex.)
- Artículos de Jardinería (Ex.)
- Empaques para comida (Cal. Sop.)
- Envases de cerveza, vino y aceite (Sop.)
- Componentes automotrices y para aviones (Iny. Esp.)
- Aislamiento (Esp.)
- Separadores para baterías (Esp.)
- Perfiles (Ex.)
- Imitaciones de Madera (Ex.)
- Relleno para alfombras (Esp.)
- Juguetes (Esp. Iny. Cast.)

- Flotadores (Esp.)
- Equipaje (Esp.)
- Calzado (Esp.)
- Mosaico (Term.)
- Recubrimiento de pisos, tarjetas de crédito, ropa (Cal.)
- Maniqués (Cal.)
- Empaques para torres de enfriamiento (Iny.)

P.V.C. Flexible.

- Envolturas para alimentos (Ex.)
- Cortinas de baño (Cal. Ex.)
- Impermeables (Cal. Ex.)
- Juguetes inflables (Cal. Ex. Cast.)
- Cubiertas de portafolios (Cal. Ex.)
- Manteles (Cal. Ex.)
- Recubrimiento para pisos (Cal. Ex. Es.)
- Aislamiento (Cal. Ex.)
- Cinta adhesiva (Cal. Ex.)
- Recubrimiento para metal (Es. Term.)
- Empaque (Cal. Ex.)
- Mangueras para riego, uso industrial, conducción de aire comprimido y líquidos a presión (Ex.)
- Mallas para agricultura (Ex.)

- Sellos (Ex.)
- Calzado (Iny.)
- Juguetes (Iny. Cast.)
- Películas de imitación piel (Es.)
- Recubrimiento de cables y alambres (Es.)
- Tapicería (Ex. Cal.)
- Recubrimiento para tanques (Es.)
- Eliminadores de niebla (Ex.)
- Recubrimiento de tela (Es. Cal.)
- Forro para pañales desechables (Ex.)
- Componentes de diversos aparatos electrodomésticos (Iny. Ex.)
- Rizadores para cabello (Iny.)
- Monofilamentos para escobas (Ex.)
- Bebederos para aves de corral (Iny. Ex.)
- Artículos publicitarios (Iny. Ex.)
- Piezas automotrices (Iny. Ex.)
- Tubos para aplicaciones quirúrgicas (Ex.)
- Bolsas y sacos (Ex.)
- Membranas a prueba de agua (Cal.)
- Perfiles (Ex.)

Ex. - Extrusión.
Sop. - Soplado.
Cast. - Casting.
Es. - Esparcido.
Iny. - Inyección.
Cal. - Calandreo.
Term. - Termoformado.
Esp. - Espumado.

3.3 COPOLIMEROS DEL P.V.C.

Otro proceso con el cual se modifican las propiedades del P.V.C. es la copolimerización. Entre los principales copolímeros del P.V.C. tenemos:

A) P.V.C.-Acetato de Vinilo.

Es el más importante de los copolímeros del P.V.C. El contenido de Acetato de Vinilo varía del 2% hasta cerca del 20%.

El principal efecto de la copolimerización con Acetato de Vinilo es el mejoramiento de las características de flujo y facilidad en el moldeo. Si el copolímero se polimeriza por suspensión se reduce la temperatura de reblandecimiento, la resistencia a la tensión y a la abrasión, la resistencia química y la estabilidad térmica. Si en cambio, el copolímero se prepara por solución es soluble en hidrocarburos clorados, ésteres y cetonas; sin embargo, es altamente resistente al agua, ácidos, álcalis, hidrocarburos alifáticos, aceites y grasas.

El copolímero se utiliza para piezas rígidas que normalmente presentan problemas de procesamiento y para piezas calandreadas. También se suele usar para recubrimien-

tos de equipo expuesto a ambientes corrosivos, equipo marino y latas de alimentos. El copolímero con altos contenidos de Acetato de Vinilo se utiliza para la fabricación de discos fonográficos y losetas para pisos.

B) P.V.C. Clorado.

El P.V.C. clorado comercial (con contenidos de Cloro del 63-68%) debido a su estructura puede ser considerado como un copolímero de Cloruro de Vinilo y s-dicloro Etileno.

El P.V.C. clorado se puede producir a baja o alta temperatura presentándose diferencias en el producto de acuerdo al método de cloración.

1.- P.V.C. Clorado a Alta Temperatura.- El efecto más significativo de este tipo de cloración es que el producto es soluble en solventes de bajo costo como la Acetona, el Butil Acetato y el Cloruro de Metileno pero es altamente resistente a medios corrosivos. Dichas soluciones encuentran aplicación en adhesivos y recubrimientos. También son utilizadas en la producción de fibras para filtros.

El P.V.C. clorado de esta forma tiene un bajo punto de reblandecimiento, baja resistencia al impacto y poca estabilidad de coloración. No se suele moldear por métodos convencionales.

2.- P.V.C. Clorado a Baja Temperatura.- Las propiedades de este tipo de producto son similares a las del P.V.C. rígido. Clorando a baja temperatura se eleva el punto de reblandecimiento consiguiendo temperaturas de servicio de 100 C comparada con 65 C del P.V.C. rígido. Aunque tiene dificultades de procesabilidad puede ser inyectado y extruido. Su mayor aplicación se encuentra en tubería para agua caliente y en el manejo de líquidos corrosivos calientes.

C) P.V.C.- Cloruro de Vinilideno.

El contenido de Cloruro de Vinilideno varía entre 4 y 40%. En concentraciones del 5 al 12% tiene características semejantes a las del copolímero de Acetato de Vinilo. Con el Cloruro de Vinilideno se mejora sustancialmente la permeabilidad a gases.

El copolímero exhibe una mayor resistencia química que el P.V.C. homopolímero. No es afectado por ácidos inorgánicos débiles y ácidos orgánicos. Muestra excelente resistencia a los ácidos concentrados. No es atacado por soluciones alcalinas excepto por el Hidróxido de Amonio que deteriora el material rápidamente. Es resistente a la mayor parte de los solventes alifáticos y aromáticos, a aceites, grasas, gasolina, keroseno, ésteres y alcoholes. Sin embargo, es fácilmente atacado por solventes como el Dioxano, la Ciclo-

hexanona, la Dimetil Formamida y algunos hidrocarburos aromáticos clorados.

Se recomienda para aplicaciones de calandreo. El copolímero al 40% se usa para recubrimientos de latas de cerveza, tubería, válvulas, accesorios y bombas inyectados o extruidos.

D) P.V.C.-Esteres Acrílicos.

El Acrilato de Metilo se incluye como comonomero en porcentajes entre el 14 y el 20%. A los ésteres acrílicos se les añaden ésteres maléicos para formar terpolímeros.

E) P.V.C.-Acrilonitrilo.

El copolímero contiene del 35 al 40% de Acrilonitrilo. se utiliza para vestimentas industriales y filtros gracias a su resistencia a la flama y buena resistencia química.

F) P.V.C.-Etileno.

Copolímeros con concentraciones del 15 al 30% son usados como recubrimientos para latas.

G) P.V.C.-Propileno.

El Cloruro de Vinilo se copolimeriza con Propileno para aumentar su resistencia al impacto. La adición del Propileno disminuye la temperatura de proceso a 145-180 C. Además, el copolímero muestra mejor estabilidad al calor que el homopo-

límero ya que el polipropileno neutraliza la reacción de dehidrocloración. El P.V.C.-Propileno tiene aplicación en la fabricación de botellas.

4. MAGNITUD DEL MERCADO.

4.1 ABASTECIMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS.

La materia prima de mayor importancia por su volumen, en la fabricación de P.V.C. es el monómero de Cloruro de Vinilo (VCM).

PEMEX era el único productor mexicano de VCM pese a encontrarse dentro de los 64 petroquímicos secundarios de acuerdo a la clasificación publicada en el Diario Oficial de la Federación del 15 de Agosto de 1989.

La principal razón por la cual no existen compañías interesadas en la producción de VCM es que PEMEX abastece primero de Etileno a sus plantas de Polietileno y de Cloruro de Vinilo por lo que no se asegura la dotación de materia prima, teniéndose que importar este producto. Bajo estas condiciones resulta más barato comprar a Petróleos Mexicanos el VCM que traer el Etileno del extranjero y producir Cloruro de Vinilo.

1. " Los productos petroquímicos secundarios requerirán de permiso otorgado por la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, previa opinión de la Comisión Petroquímica Mexicana . "

La capacidad instalada de PEMEX asciende a 270,000 toneladas anuales. El VCM se produce en las plantas de Derivados Clorados II y III de Pajaritos, Veracruz, dedicándose el 100% de la producción de estas plantas a la fabricación de polímero de Cloruro de Vinilo.

El accidente ocurrido en 1991 en las plantas de Pajaritos ha forzado a PEMEX a importar la mayor parte del VCM y hasta el momento no se han dado a conocer planes para reconstruir estas plantas.

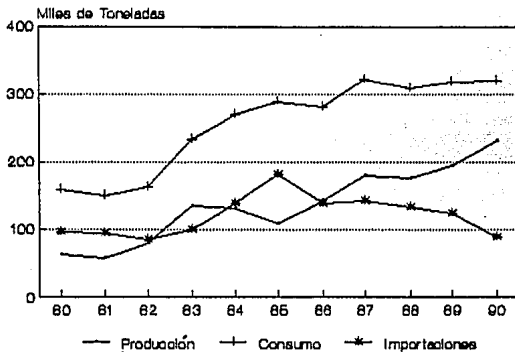
Tabla I. Mercado Nacional de VCM.

Año	Producción (Ton)	% Crec.	Consumo (Ton)	% Crec.	Importaciones (Ton)	% Crec.
1980	62,478	-	157,916	-	95,446	-
1981	56,899	(8.92)	149,071	(5.89)	92,972	(2.59)
1982	79,384	39.52	163,884	8.82	83,788	(9.97)
1983	134,357	69.25	233,158	42.97	98,881	18.84
1984	131,516	(2.11)	270,183	15.88	138,667	48.35
1985	187,751	(18.67)	288,221	6.67	188,478	38.14
1986	141,295	31.13	288,295	(2.75)	139,888	(22.98)
1987	178,888	26.55	328,984	14.49	142,896	2.23
1988	175,882	(2.13)	387,578	(4.15)	132,576	(6.78)
1989	193,849	10.77	316,921	3.84	123,872	(7.17)
1990	238,733	19.83	319,557	0.83	88,824	(27.83)

Las cantidades entre paréntesis indican decrementos.

Fuente ANIQ

Mercado Nacional de VCM



Fuente ANIQ

Pronóstico de la Demanda Interna de VCM

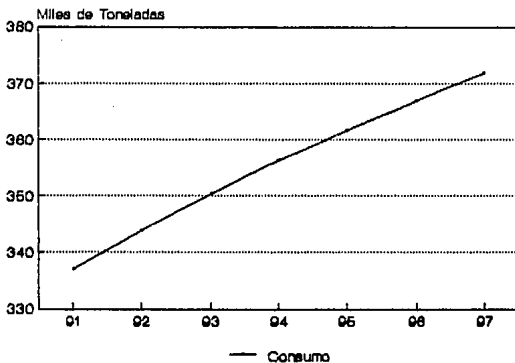


Tabla II. Pronóstico de la Demanda Interna de UCN.

Año	Consumo (Ton)	X Crec.
1991	336,918	5.43
1992	343,852	2.85
1993	358,232	1.88
1994	356,138	1.68
1995	361,637	1.58
1996	366,788	1.42
1997	371,612	1.32

Tabla III. Autosuficiencia del Consumo Nacional.

Año	Porcentaje
1980	39.56
1981	37.96
1982	48.68
1983	57.62
1984	48.68
1985	37.38
1986	58.41
1987	55.72
1988	56.98
1989	61.17
1990	72.28

Fuente INPI

Tabla IV. Aprovechamiento de la Capacidad Instalada.

Año	Porcentaje
1980	89.24
1981	81.28
1982	29.48
1983	49.76
1984	48.71
1985	39.91
1986	52.33
1987	66.23
1988	64.82
1989	71.79
1990	85.46

Las importaciones provienen principalmente de los Estados Unidos donde se encuentran productores de VCM de gran magnitud como:

Compañía	Capacidad Instalada (Mton)
B.F. Goodrich	953
Borden	363
Dow	922
Ferrosa	723
Georgia Gulf	572
Occidental	499
Oxinar	454
PPG	272
Vista	329
Total	5,178

La producción de VCM en Estados Unidos es 42 veces más grande que la producción de PEMEX.

Hace algunos años PEMEX aseguraba la venta de VCM a precios por debajo de los precios internacionales pero ante la apertura económica se han modificado las políticas y el VCM es vendido a precios regidos por el mercado internacional no importando si el monómero es nacional ó de origen extranjero.

Tabla V. Precios Internacionales de VCM.

Año	Precio (\$/Kg)
1987	0.38
1988	0.39
1989	0.35
1990	0.33
1991	0.41

Fuente Chemical Marketing Reporter.

Al conseguirse el permiso petroquímico para fabricar resina de P.V.C., PEMEX se compromete a abastecer el VCM en tanto sea el único productor nacional, aspecto que podría cambiar ante el Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá.

4.2. MERCADO NACIONAL.

Productores.

En México, el P.V.C. es producido por cuatro empresas:

Altaresin, S.A. de C.V.

Polímeros de México, S.A.

Policyd, S.A. de C.V.

Grupo Primex, S.A. de C.V.

Altaresin, S.A. de C.V. es una empresa 100% mexicana que cuenta con una capacidad instalada de 13,000 ton/año de resina de P.V.C. en su planta de Altamira, Tamps. El 40% de su producción lo destina a la exportación.

Polímeros de México, S.A. es la única compañía en Latinoamérica que fabrica P.V.C. mediante los procesos de masa, emulsión y suspensión y es la única que cuenta con la tecnología de polimerización por masa en el país (desarrollada por la firma francesa Pechiney-Saint Gobain). Cuenta con una planta en Moyotzingo, Pue y otra en Tlaxcala, ésta última pertenecía a Industrias Resistol. Entre ambas plantas tiene una capacidad instalada de 40,000 ton/año.

Policyd, S.A. de C.V. es la empresa pionera en la producción de P.V.C. en México. Inició sus actividades en

1953 como Geón de México, compañía de asociación entre la B.F. Goodrich Co. y la Cía Hulera Euskadi, S.A. Con el tiempo el Grupo Cydsa de Monterrey compró las acciones de Geón de México y de B.F. Goodrich cambiando su razón social a Policyd, S.A. de C.V. empresa 100% mexicana operando bajo licencia técnica de B.F. Goodrich Co. Policyd es el máximo exportador de P.V.C. del país con aproximadamente el 60% de su producción. Exporta a más de 20 países en los 5 continentes. Policyd tiene dos plantas: La Presa en Tlanepantla, Edo. de México y otra en Altamira, Tamps consiguiendo una capacidad instalada de poco más de 120,000 ton/año.

El mayor productor de P.V.C. en México es el Grupo Primex, S.A. de C.V. que tiene una capacidad instalada de aproximadamente 150,000 ton/año. Es el principal abastecedor del mercado nacional, cubre con la totalidad del mercado del recubrimiento eléctrico de Condumex. En la actualidad Grupo Primex es la empresa mexicana con mayor grado de integración de productos petroquímicos a la industria del P.V.C. y sus derivados. En su planta de Puebla, Pue. tiene una capacidad de 20,000 ton/año de compuestos rígidos atóxicos y en su complejo industrial de Altamira, Tamps. produce 30,000 ton anuales de plastificantes y compuestos de P.V.C. rígido y flexible. por último la subsidiaria Productos Primsa, S.A. se dedica a la fabricación de perfiles para construcción.

En el Apéndice 3 se incluyen las hojas técnicas de los productos comerciales de los diversos productores de P.V.C. en México.

Distribución de Usos.

En México, los sectores de la construcción y del envase y el empaque son aquellos en los que el P.V.C. rígido encuentra sus mayores aplicaciones. La tubería abarca el 20% del mercado total del P.V.C. y muestra tendencias crecientes para los próximos años. La botella de P.V.C. es el segundo mayor uso de este producto con el 19.31% del mercado total. Al igual que la tubería, la botella tiene buenas perspectivas para el futuro.

Los productos flexibles que se distinguen son la película plástica, las aplicaciones al calzado deportivo y el recubrimiento para cable y alambre. Estos tres usos cubren el 27% del mercado.

Por otra parte, dentro de los productos de emulsión se producen más de 19,000 ton/año de tela plástica para la industria mueblera y automotriz.

Los productos de P.V.C. que a través de los últimos años han demostrado tendencias negativas son los discos fonográficos en los que se pierde cada vez más terreno ante el audio-cassette y los discos compactos de Policarbonato; los perfiles y manguera, pisos y loseta, juguetes y por último la plastilata. Ninguno de ellos ocupa un lugar preponderante dentro de los usos del P.V.C.

Tabla I. Distribución de Usos por Tipo de Producto.

<u>Rígidos</u>	Consumo (Ton)	Tendencia	% Participación
Tubería	58,328	Positiva	28.88
Botella	56,388	Positiva	19.31
Perfiles	2,841	Variable	6.78
Discos	5,628	Negativa	1.93
Película	14,697	Variable	5.84
<u>Flexibles</u>			
Recubrimiento de Tela	11,818	Estable	4.85
Película	26,273	Variable	9.81
Calzado	38,851	Positiva	18.58
Recubrimiento de Cable	21,695	Estable	7.44
Perfiles y Manguera	8,894	Negativa	3.85
Pisos y Loseta	5,378	Negativa	1.91
Plastisol	5,387	Estable	1.82
Miscelaneos	18,293	-	3.53
<u>Emulsión</u>			
Tela Plástica	19,391	Positiva	6.65
Juquetes	3,883	Negativa	1.83
Plastisol	3,995	Estable	1.37
Plastilata	3,732	Negativa	1.28
Miscelaneos	3,791	-	1.38

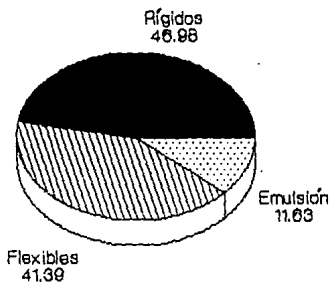
Fuente IMPI. ANIQ.

Tabla II. Distribución de Usos por Tipo de Industria.

Sector	% de Participación
Construcción	34
Empaque y Envase	32
Calzado	11
Muebles	7
Electrodomésticos	4
Artículos del Hogar	3
Discos	2
Otros	7

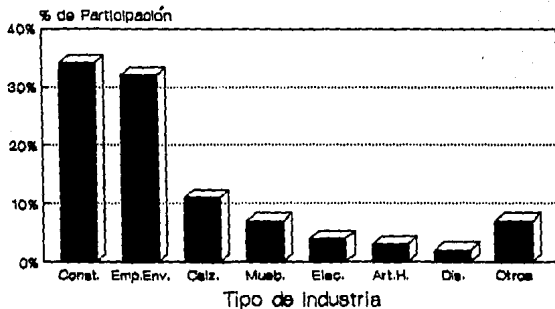
Fuente: IMPI.

Distribución de Usos por Segmento México



Fuente IMPI

Distribución de Usos por Tipo de Industria



Fuente IMPI

Mercado Nacional del P.V.C.

El P.V.C. tuvo su época de bonanza en la mitad de los 70's pero durante los 80's la demanda interna se ha mostrado irregular ocasionando el crecimiento de los inventarios.

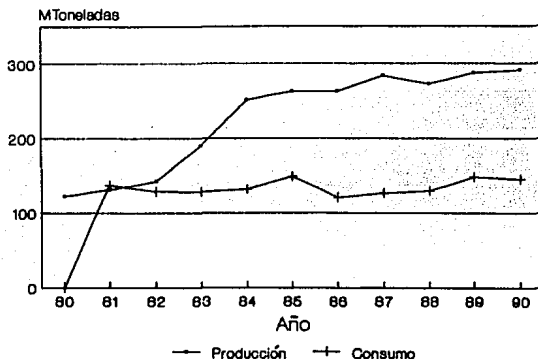
Tabla III. Autosuficiencia del Consumo Interno.

<u>Año</u>	<u>Porcentaje</u>
1981	95.89
1982	110.65
1983	147.96
1984	190.77
1985	176.84
1986	219.26
1987	223.43
1988	210.14
1989	193.75
1990	200.45

Tabla IV. Mercado Nacional.

Año	Producción (Ton)	% Crec.	Consumo (Ton)	% Crec.
1980	122,541	-	-	-
1981	131,522	7.33	137,160	-
1982	142,532	8.37	128,815	(6.08)
1983	189,985	33.29	128,485	(8.32)
1984	251,251	32.25	131,700	2.57
1985	262,883	4.61	148,651	12.87
1986	262,806	0.73	128,778	(18.76)
1987	283,745	7.15	126,992	5.15
1988	272,666	(3.98)	129,756	2.17
1989	287,536	5.45	148,482	14.37
1990	291,598	1.41	145,473	(1.97)

MERCADO NACIONAL



Fuente ANIQ.

Es sumamente claro que la producción de P.V.C. se encuentra muy por arriba de la demanda nacional, prácticamente la dobla, este hecho favorece la búsqueda de mercados internacionales.

Desde 1987 más del 50% de la producción se destina a la exportación aunque existe un compromiso de las cuatro empresas productoras de abastecer primero al mercado nacional en partes proporcionales.

Tabla U. Exportaciones de P.V.C.

Año	Exportaciones (Ton)	X Crec.
1980	3	-
1981	110	357
1982	17,365	15,680
1983	65,200	275
1984	121,519	86.38
1985	116,389	(4.22)
1986	140,186	27.32
1987	161,004	8.65
1988	148,887	(7.52)
1989	151,699	1.89
1990	154,206	1.65

Fuente: ANIQ

Poilycyd y Primex son los máximos exportadores cubriendo el 85% de las exportaciones mexicanas, que ascendieron a casi 91 millones de dólares en 1990. La resina de P.V.C. mexicana se exporta con éxito a los cinco continentes.

Tabla VI. Valor Comercial de las Exportaciones.

<u>Año</u>	<u>Dólares</u>
1985	\$ 59'358,390
1986	\$ 81'502,300
1987	\$ 111'092,760
1988	\$ 145'909,260
1989	\$ 97'087,360
1990	\$ 90'981,540

Fuente: SECOFI

Actualmente la capacidad instalada está siendo utilizada en un 91% por lo que si se piensa sostener el nivel de exportaciones y fortalecer a este sector, la capacidad instalada debe incrementarse en el corto plazo, de otra forma el producto mexicano perderá importantes mercados en el exterior que probablemente no se vuelvan a recuperar.

Tabla VII. Aprovechamiento de la Capacidad Instalada.

<u>Año</u>	<u>Porcentaje</u>	<u>Año</u>	<u>Porcentaje</u>
1981	63.14	1986	87.83
1982	68.42	1987	92.73
1983	75.39	1988	88.53
1984	89.10	1989	93.53
1985	93.22	1990	91.12

Tabla VIII. Importaciones de P.V.C.

<u>Año</u>	<u>Importaciones</u>	<u>% Crec.</u>
1980	4,894	-
1981	5,750	17.51
1982	3,650	(36.52)
1983	3,620	(0.82)
1984	1,968	(45.63)
1985	2,157	9.60
1986	4,150	92.40
1987	4,251	2.43
1988	5,977	40.60
1989	12,565	110.22
1990	8,081	(35.69)

Fuente: ANIO.

Las importaciones han crecido de manera importante desde 1985. En el transcurso de seis años han aumentado en un 274% debido en gran parte a una deficiente estrategia de precios y servicios por parte de los productores nacionales. Se estaba descuidando al cliente nacional por atender los mercados extranjeros.

En los últimos dos años la industria nacional del P.V.C. ha reorientado sus programas manejando precios acordes al mercado internacional e incluso menores para empresas que destinan su producción a la exportación ó que abastecen las zonas fronterizas.

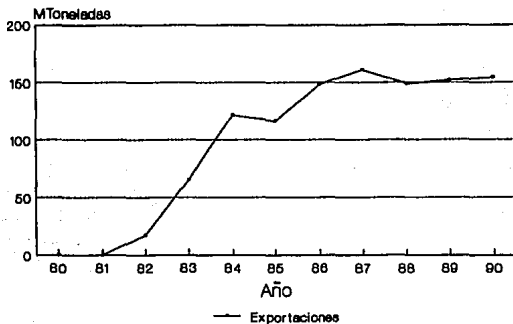
Esta nueva política de precios y un servicio al cliente más eficiente ya provocó una baja sobresaliente en las importaciones durante 1990 y se espera que esta tendencia continúe en el corto plazo.

Tabla IX. Valor Comercial de las Importaciones.

<u>Año</u>	<u>Dólares</u>
1985	\$ 2'545,260
1986	\$ 5'519,500
1987	\$ 5'143,710
1988	\$ 7'829,870
1989	\$ 13'695,850
1990	\$ 9'050,720

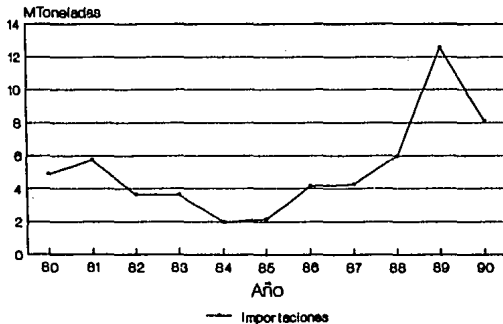
Fuente: SECOFI.

Exportaciones de P.V.C. México.



Fuente ANIQ.

Importaciones de P.V.C. México



Fuente: ANIQ

Distribución Geográfica del Consumo.

El consumo de P.V.C. en la República Mexicana se encuentra centralizado en el Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato y Jalisco. En el mapa se muestra la distribución del consumo por regiones.

4.3. MERCADO INTERNACIONAL.

Capacidad Instalada.

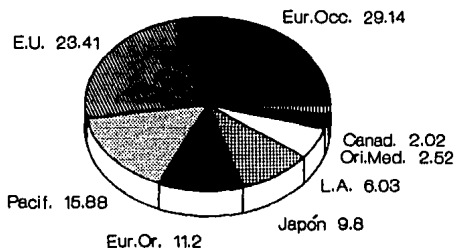
La capacidad mundial en 1990 fue de 20,397 toneladas distribuyéndose principalmente en Europa Occidental, estados Unidos y la Cuenca del Pacífico (80% de la capacidad instalada global).

Tabla I. Capacidad Instalada Mundial a 1990.

<u>País ó Región</u>	<u>Capacidad Instalada</u> <u>(MTon)</u>	<u>% Participación</u>
Europa Occidental	5,595	29.14
Estados Unidos	4,775	23.41
Asia y el Pacífico	3,240	15.88
Europa Oriental	2,285	11.20
Japón	2,000	9.80
Latinoamérica	1,230	6.00
Oriente Medio y Africa	510	2.52
Canadá	412	2.02
Total	20,397	

Fuente: IMPI

DISTRIBUCION CAPACIDAD INSTALADA MUNDIAL 1990



Fuente IMPI

Productores.

Las cinco compañías productoras de P.V.C. con mayor capacidad instalada en el mundo son:

- 1.- Formosa Plastics.
- 2.- B.F. Goodrich.
- 3.- EVC (Enichem-I.C.I.).
- 4.- Occidental Chemical Co.
- 5.- Shintec.

A continuación se hará un desglose de las principales empresas productoras por región:

Tabla II. Principales Productores.

EUROPA ORIENTAL

Empresa	Capacidad Instalada (t/año)	% Partic.	Principales Plantas
Paraestatal	890	38.95	Ex U.R.S.S.
Paraestatal	360	15.75	Polonia
Paraestatal	263	11.51	Rumania
BUK	218	9.19	Hungría
Chemopetrol	120	5.25	Ex Checoslovaquia
Jugovinil	105	4.59	Ex Yugoslavia
Slovchemia	100	4.39	Ex Checoslovaquia
Otras	237	10.37	-

EUROPA OCCIDENTAL

Empresa	Capacidad instalada (Mton)	x Partic.	Principales Plantas
EUC (Enichen-ICI)	1,050	17.66	Italia, Reino Unido, Alemania
Solvay & Cie	890	14.97	Francia, Bélgica, Alemania
Atochem-Appryl	540	9.88	Francia
C.M. Huels Aktiengesellschaft	380	6.39	Alemania
Wacker Chemie	365	6.14	Alemania
Norsk Hydro Polymers Ltd	350	5.89	Reino Unido, Suecia, Noruega
Schell Chemie	340	5.72	Países Bajos, Francia
C.M. Buna	300	5.05	Alemania
Basf Aktiengesellschaft	245	4.12	Alemania, Bélgica
Hoechst AG	240	4.04	Alemania
Rovin Rotterdamse Vinylunie	220	3.70	Países Bajos
DSM	195	3.28	Países Bajos
ENC	195	3.28	Francia
Aiscondel S.A.	150	2.52	España
Otras	405	8.16	-

ESTADOS UNIDOS

Empresa	Capacidad Instalada (Mton)	x Partic.
Occidental Chemical	956	20.02
Shintec	910	19.06
B.F. Goodrich	796	16.67
Formosa Plastics	400	10.05
Georgia Gulf	390	8.17
Vista Polymers	364	7.62
Borden	364	7.62
P.W. Pipe	228	4.77
CertainTeed	114	2.39
Union Carbide	64	1.34
Vygen	57	1.19
Goodyear	52	1.10

CANADA

Empresa	Capacidad Instalada (Mton)	x Partic.
B.F. Goodrich	291	70.63
Esso Chemical	121	29.37

JAPON

Empresa	Capacidad Instalada (MTon)	X Partic.
Shin Etsu Chemical Co	268	13.98
Ryo Nuchi	168	8.68
Nippon Zeon Co Ltd	139	8.55
Toyo Soda Manufacturing	158	8.06
Denki Kagaku Gogyo	149	8.01
Chisso Petrochemical	128	6.88
Kureha Chemical Industry	128	6.45
Mitsubishi Kasei Vinyl	119	6.39
Kanegafuchi Chemical	88	4.73
Sun Arrow Chemical Co	88	4.38
Sumimoto Chemical Co	77	4.14
Mitsui Toatsu Chemicals	73	3.92
Japan P.U.C. Company	72	3.87
Nissan Petrochemicals	65	3.49
Tokuyama Sekisui Industry	52	2.79
Kawasaki Organic Chem	28	1.58
Central Chemical Co	24	1.29
Toagosei Chemical Ind	22	1.18
Otras	34	1.87

LATINOAMERICA

Empresa	Capacidad Instalada (Mton)	X Partic.	Ubicación
Petroquímica Camacari	370	36.68	Brasil
Grupo Primex	150	12.19	México
Pollycd	126	18.24	México
Petroquímica Colombiana	122	9.92	Colombia
Electroclero	120	9.77	Brasil
Otras	342	27.88	-

ASIA Y PACIFICO

Empresa	Capacidad Instalada (Mton)	X Partic.	Ubicación
Sinopec	870	26.85	China
Formosa	668	28.37	Taiwan
Lucky Ltd	290	8.95	Corea del Sur
Hanyang Chem	275	8.48	Corea del Sur
Petkim Petrokimia	147	4.54	Turquía
G. Plastics China	145	4.47	Taiwan
Thai Plast Chem	100	3.09	Tailandia
I.C.I.	100	3.09	Australia
Nabuhay Vinyl	100	3.09	Filipinas
Otras	553	17.07	-

ORIENTE MEDIO Y AFRICA

Empresa	Capacidad Instalada (Mton)	x Partic.	Ubicación
IBM Haygon	200	39.21	Arabia Saudita
Aeci	150	29.41	Sudafrica
Electrochemical Ind	105	20.60	Israel
Otras	55	10.78	-

Fuente: INPI Y World Petrochemicals Program SRI International

Proyectos.

De 1987 a 1990 el consumo de P.V.C. en el mundo ha presentado crecimientos anuales promedio del 4.93% alcanzando las 18'225,000 toneladas en 1990. A este ritmo, la demanda superará la capacidad instalada (que actualmente trabaja al 90%) existente en 1990 para el año 1993. Para contrarrestar dicha situación se realizan proyectos de expansión en diversas regiones del mundo.

Algunos proyectos de expansión o construcción son los siguientes:

Tabla III. Proyectos.

ESTADOS UNIDOS

Empresa	Incremento de la Capacidad Instalada (MTon)
Formosa Plastics.	360
Shintec.	228
B.F. Goodrich	100
Occidental Chemic.	90
Total	778

JAPON

Empresa	Incremento de la Capacidad Instalada (MTon)
---------	---

Formosa Plastics.	100
-------------------	-----

EUROPA

Empresa	Incremento de la Capacidad Instalada (MTon)
---------	---

Paraestatal Ex U.R.S.S.	250
-------------------------	-----

Ato España	120
------------	-----

Paraestatal Bulgaria	120
----------------------	-----

Lomburgse Vinyl M. Bélgica	100
----------------------------	-----

Total	590
-------	-----

ASIA Y MEDIO ORIENTE

Empresa	Incremento de la Capacidad Instalada (MTon)
---------	---

Sinopec China	280
---------------	-----

Solve-Thai Plastic Tailandia	130
------------------------------	-----

National Plastic Arabia Saudita	100
---------------------------------	-----

Haldia Petrochemical India	100
----------------------------	-----

Total	610
-------	-----

LATINOAMERICA

Empresa	Incremento de la Capacidad Instalada (MTon)
Brasivil Barsil	180
Electrocloro Brasil	180
Pequiven Venezuela	120
Petroquímica Camari Brasil	110
Total	590

Fuente: IMPI

La mayor parte de éstos proyectos están señalados para concluirse en el periodo 1991-1993, con ésto la capacidad instalada se incrementará a 23'257,000 toneladas para un consumo esperado en 1993 de 20'534,000 toneladas lo que implica un aprovechamiento de la capacidad instalada del 88%.

Tabla IV. Aprovechamiento de la Capacidad Instalada Esperada para 1993.

	Consumo (MTon)	Capacidad Instalada (MTon)	% Aprovecham.
Europa Occidental	6,054	6,165	98.20
Estados Unidos	4,284	5,553	77.15
Jacón	2,378	1,960	(21.32)

Mercado en Estados Unidos.

Estados Unidos es el mayor consumidor de P.V.C. en el mundo con el 21% del consumo mundial.

Tabla V. Consumo de P.V.C. en Estados Unidos.

Año	Consumo (Millón)	% Crecimiento
1981	2,113	-
1982	2,000	(5.35)
1983	2,298	14.90
1984	2,630	15.32
1985	2,622	(1.06)
1986	2,881	9.88
1987	3,090	7.25
1988	3,180	2.91
1989	3,491	9.78
1990	3,868	10.80

Fuente: INPI

Aún con el masivo consumo de plástico, Estados Unidos abastece la demanda interna y todavía exporta el 10% de su producción, trabajando al 88% de su capacidad instalada.

Tabla VI. Producción de P.V.C. en Estados Unidos.

Año	Producción (Mton)	X Crecimiento
1980	2,094	-
1981	2,225	6.25
1982	2,158	(3.37)
1983	2,453	14.09
1984	2,757	12.39
1985	2,959	7.32
1986	3,204	8.28
1987	3,524	9.99
1988	3,693	4.79
1989	3,884	5.17
1990	4,230	8.91

Fuentes: Modern Plastics y Polyvinyl Chloride Report.

MERCADO DE P.V.C. EN E.U.

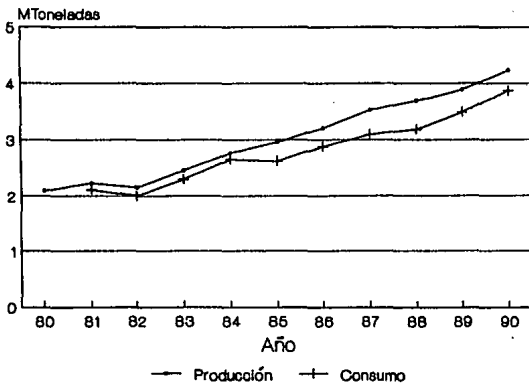


Tabla VII. Destino de las Exportaciones de E.U. en 1989

Destino	MToneladas	Valor Monetario en MDDíares
Taiwan	61.29	46.1
Canadá	38.72	38.4
Australia	26.18	28.4
Nueva Zelanda	22.33	14.6
Hong Kong	19.78	13.6
Corea del Sur	19.47	15.6
India	18.61	12.7
Costa Rica	18.53	7.5
Filipinas	9.98	7.5
China	9.98	6.8
México	9.39	13.4
Otros	178.61	85.9
Total	416.77	279.7

Fuente: Departamento de Comercio de E.U.

Tabla VIII. Aprovechamiento de la Capacidad Instalada en E.U.

Año	Porcentaje
1985	79.62
1986	85.18
1987	94.89
1988	89.29
1989	84.93
1990	88.59

Fuente: Modern Plastics

Las importaciones sólo cubren el 1.68% de la demanda interna pero es importante sobresaltar que después de 4 años consecutivos en los que las importaciones a E.U. sufrieron retrocesos (1986 a 1989), éstas aumentaron en un 66% para 1990,

Tabla IX. Importaciones a E.U.

Año	MToneladas	% Crecimiento
1980	26	-
1981	34	30.76
1982	53	55.89
1983	83	56.60
1984	144	73.49
1985	172	19.44
1986	92	(46.51)
1987	59	(35.86)
1988	51	(13.55)
1989	39	(23.52)
1990	65	66.66

Fuente: Departamento de Comercio de E.U.

Importaciones a E.U.

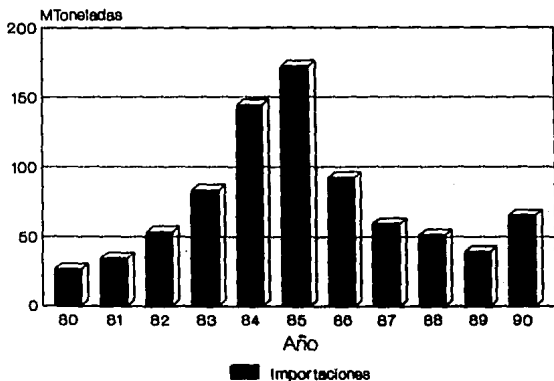


Tabla X. Consumo por Tipo de Industria E.U.

Sector	Consumo 1989 (Mton)	Consumo 1990 (Mton)	% Crec.
Construcción	2,225	2,332	12.28
Automotriz	87	98	3.45
Envase y Empaque	332	345	3.91
Eléctrico	253	260	5.93
Calzado	28	27	(3.57)
Muebles	127	145	14.17
Discos	13	9	(30.77)
Medicina	111	116	4.50
Juguetes	15	17	13.33
Artículos del Hogar	57	64	12.28
Electrodomésticos	51	54	5.88
Otros	162	201	12.28

Fuente: Modern Plastics

Tabla XI. Segmentación por Tipo de Industria E.U.

Sector	1989 %	1990 %
Construcción	64.59	63.45
Envase y Empaque	9.51	8.92
Eléctrico	7.25	6.93
Muebles	3.64	3.75
Medicina	3.18	3.00
Automotriz	2.49	2.33
Artículos del Hogar	1.63	1.65
Electrodomésticos	1.46	1.40
Calzado	0.80	0.70
Juguetes	0.43	0.44
Discos	0.38	0.23
Otros	4.64	5.20

Fuente: Modern Plastics

Segmentación por Tipo de Industria E.U. 1990

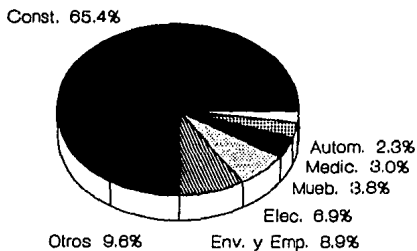


Tabla XII. Participación del P.U.C. en la Industria E.U.

En la siguiente tabla se describe la participación del P.U.C. con respecto a los demás plásticos dentro de la industria.

Sector	1989 %	Lugar	1990 %	Lugar
Construcción	43.57	1o	45.71	1o
Eléctrico	24.63	1o	25.52	1o
Automotriz	11.29	3o	18.72	3o
Electrodoméstico	9.28	5o	9.58	5o
Artículos del Hogar	8.92	5o	9.52	5o
Muebles	6.39	3o	7.96	4o
Envase y Empaque	5.23	6o	5.11	6o
Juguetes	4.58	6o	4.92	5o

Fuente: Modern Plastics

Las aplicaciones de P.V.C. en construcción fueron las de mayor crecimiento para 1990, aumentando también su participación en la segmentación de usos. El P.V.C. es el plástico de mayor uso en este sector, teniendo casi la mitad del mercado del plástico para la construcción. El 65% del P.V.C. usado en construcción se destina a la extrusión de tubería que en todos sus sectores tuvo avances significativos y se espera que hasta el '94 tenga un crecimiento promedio del 4.4%. Existe potencial para mayor crecimiento pero existe presión por parte de los productores de tubería metálica lo que mantiene el crecimiento en el rango del 4%.

Tabla XIII. Consumo de Tubería en E.U.

Aplicación	Consumo 1989 (MTon)	Consumo 1990 (MTon)	% Crec.
Agua	545	609	11.74
Gas	9	15	66.66
Riego	73	86	17.81
Desagüe	226	266	17.70
Drenaje	309	338	9.38
Conductos	226	266	17.70
Otros	56	63	12.50

Fuente: Modern Plastics

Los principales productores de tubería de P.V.C. en E.U. son:

- JM Manufacturing Corporation (Controlada por Formosa Plastics y mayor productor).
- Cantex Division of Harsco.
- Carlon Division of Lamson and Sessions.
- Certain Teed Corporation.
- Charlotte Pipe Co.
- H & W Industries.
- PW Pipe Co.

Estas compañías producen del 60 al 65% de la tubería en E.U.

Los perfiles es el segundo mercado más grande para el P.V.C. dentro de la industria de la construcción. Desde 1985 ha tenido crecimientos promedio del 13%. Para el periodo 1989-1994 el crecimiento promedio será entre el 7 y el 8%.

Los principales fabricantes de perfiles en E.U. son:

- Alcoa.
- Alside.
- Uipco.
- Certain Teed.
- Gold Bond.
- Mastershield.
- Variform.

Sin duda alguna el sector de la construcción es el más importante en Estados Unidos y el de mejores expectativas. Este mercado será el responsable de las tendencias futuras del P.V.C. en Estados Unidos.

La industria del envase y el empaque se ha mantenido estable con incrementos discretos entre el 2 y el 3%. Sin embargo, el P.V.C. ha perdido terreno ante el polipropileno y el poliestireno en los terminados para empaque. La película calandreada fue el único producto con una amplia expansión (crecimiento del 27% de 41,000 toneladas en 1989 a 52,000 en 1990). La botella, que abarca una tercera parte de los productos de P.V.C. para la industria del envase y el empaque aumentó el 3.06% para 1990.

El área eléctrico-electrónica, tercera en la participación de usos de P.V.C., fue la tercera con mayor crecimiento en 1990. Este progreso se vio apoyado por un aumento de 174,000 toneladas a 187,000 toneladas en el periodo 89-90 (7.47%) en el consumo de recubrimiento de cable.

La mayor parte del P.V.C. usado en la industria eléctrica se utiliza en cable de bajo voltaje (500 V y menor).

Los principales recubridores de cable en Estados Unidos son:

- Aluminun Company of America.
- Anaconda Wire & Cable Company (Subsidiaria de Atlantic Richfield).

- Belden Corporation.
- Essex International (Subsidiaria de United Technologies).
- General Cable Corporation (Subsidiaria de Penn Central).
- Kaiser Aluminum & Chemical Corporation.
- Reynolds Metals Company.
- South Wire Company.
- Western Electric Company (Subsidiaria de American Telephone and Telegraph Co).

Essex International y Western Electric consumen casi la mitad del P.V.C. utilizado como recubrimiento de cable.

Aunque con pequeña participación la industria del juguete, de artículos para el hogar, de electrodomésticos y las aplicaciones médicas han crecido también de forma relevante.

Las aplicaciones en discos fonográficos sufrieron una severa contracción de mercado para 1990.

Mercado en Japón.

Japón es un país con un alto consumo de P.V.C. y que trabaja prácticamente al 100% de su capacidad instalada.

Tabla XIV. Mercado del P.V.C. en Japón.

Año	Producción (Mton)	X Crec.	Consumo (Mton)	X Crec.
1980	1,429	-	1,373	-
1981	1,129	(28.99)	1,214	(11.58)
1982	1,218	7.98	1,292	6.42
1983	1,420	16.58	1,404	8.66
1984	1,503	5.84	1,504	7.12
1985	1,549	3.06	1,561	3.78
1986	1,541	(0.51)	1,371	8.64
1987	1,663	7.91	1,693	7.76
1988	1,883	13.22	1,807	6.73
1989	1,970	4.62	1,907	5.53
1990			2,009	5.34
1991			1,937	(2.58)

Fuente: World Petrochemical Program y Modern Plastics.

Tabla XV. Importaciones y Exportaciones de Japón.

Año	Importaciones (Mton)	X Crec.	Exportaciones (Mton)	X Crec.
1980	36	-	56	-
1981	81	125.00	21	(62.5)
1982	122	58.61	22	4.76
1983	75	(38.52)	55	158.00
1984	77	2.66	56	1.81
1985	108	40.25	89	58.92
1986	179	65.74	141	58.42
1987	128	(28.49)	137	(2.83)
1988	76	(48.62)	65	(52.55)
1989	67	(11.84)	67	3.07

Fuente: World Petrochemical Program.

Japón exporta preferencialmente a China, Hong Kong y Tailandia.

Mercado de P.V.C. en Japón

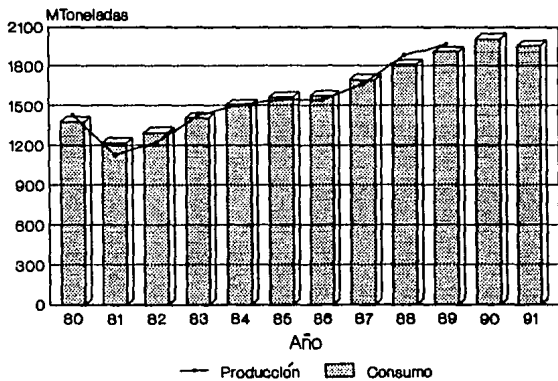
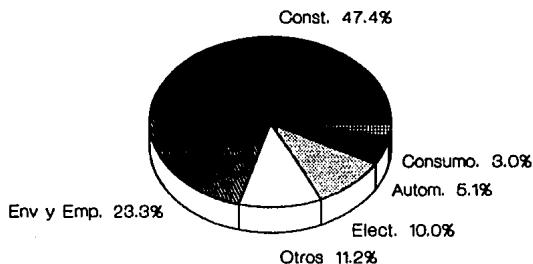


Tabla XVI. Segmentación del Consumo de P.U.C. en Japón 1990

Sector	Consumo (Millon)	Porcentaje
Construcción	913	47.4
Envase y Empaque	449	23.3
Eléctrico	193	10.0
Automotriz	98	5.1
Bienes de Consumo	58	3.0
Muebles	58	2.6
Calzado	42	2.2
Artículos de Recreación	31	1.6
Salud	27	1.4
Adhesivos	19	1.0
Discos	6	0.3
Otros	41	2.1

Fuentes: Modern Plastics

Segmentación por Tipo de Industria Japón 1990



Mercado en Europa Occidental.

Europa Occidental es la región del mundo donde se concentra el mayor consumo de P.V.C. y el 70% de éste se realiza en Alemania, Francia, Italia y Reino Unido.

De 1985 a 1990 el consumo de P.V.C. tuvo un crecimiento promedio de 5.84% haciendo de este mercado uno de los más prósperos del mundo.

Tabla XVII. Mercado del P.V.C. en Europa Occidental

Año	Producción (Mton)	% Crec.	Consumo (Mton)	% Crec.
1980	3,081	-	-	-
1981	3,540	(8.78)	3,353	-
1982	3,618	1.97	3,578	6.47
1983	4,189	13.82	3,845	7.78
1984	4,288	2.40	3,828	(0.65)
1985	4,352	3.42	3,992	4.58
1986	4,519	3.83	3,988	(0.38)
1987	4,887	6.37	4,689	15.88
1988	5,045	4.95	4,912	6.57
1989	5,055	0.19	5,069	3.28
1990			5,158	1.75
1991			5,886	(2.94)

Fuente: World Petrochemical Program e IMPI.

Mercado de P.V.C. en Europa Occidental

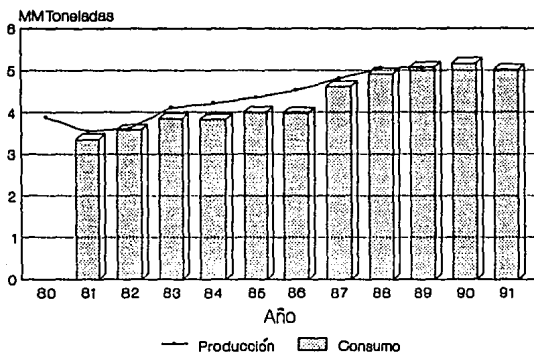


Tabla XVIII. Segmentación del Consumo de P.V.C. Europa Occidental 1990

Sector	Consumo (Mton)	Porcentaje
Construcción	2,625	58.9
Envase y Empaque	1,289	25.8
Eléctrico	443	8.6
Muebles	170	3.3
Automotriz	139	2.7
Bienes de Consumo	113	2.2
Salud	88	1.7
Calzado	51	1.0
Artículos de Recreación	46	0.9
Adhesivos	46	0.9
Discos	41	0.8
Otros	187	2.0

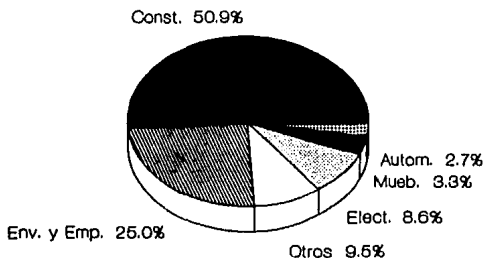
Fuente: IMPI

Tabla XIX. Segmentación por Tipo de Producto Europa Occidental.

Producto	Consumo 1989 (Mion)	Consumo 1990 (Mion)	X Crecimiento
P.U.C. Rígido			
Botella	446	452	1.34
Película y Lámina	598	619	3.51
Productos Inyectados	40	41	2.50
Tubería	1,285	1,278	(0.54)
Perfil	753	778	3.32
Discos	41	39	4.87
Otros	185	97	(7.62)
Total	3,268	3,384	1.10
P.U.C. Flexible			
Recubrimientos	212	229	8.02
Película y Lámina	364	364	0.00
Pisos	267	275	3.00
Tubería	204	210	2.94
Recubrimiento de Cable	438	445	3.49
Otros	294	300	2.04
Total	1,771	1,823	2.94
<u>Adhesivos</u>	30	31	3.33

Fuente: IMPI

Segmentación por Tipo de Industria Europa Occidental 1990



La distribución de usos por tipo de industria tiene el mismo comportamiento que en el resto del mundo, con el sector de la construcción, la industria del envase y el empaque y el sector eléctrico-electrónico liderando el mercado.

La tubería y conductos, que son los productos de mayor demanda, tuvieron una pequeña contracción para 1990 y puede existir un pequeño declive en esta aplicación para los siguientes años.

El uso en discos fonográficos sufrió un corte en el consumo de casi el 5%. Esta aplicación desaparecerá en los próximos años.

Mercado en Canadá.

Canadá cuenta con la capacidad instalada para abastecer a su mercado pero ésta sólo trabaja al 79% para cubriendo el mismo porcentaje de la demanda interna.

En 1990, Canadá ha modificado sus políticas e incrementó sus exportaciones de 12,000 toneladas a 48,000 toneladas (15% de la producción); sin embargo, la producción no se incrementó siquiera el 1%. Esto provocó desabasto del mercado interno que promovió las importaciones con un crecimiento del 37.5% sólo en 1990. Las importaciones cubrieron el 32% del consumo de P.V.C. canadiense.

Tabla XX. Mercado de P.V.C. en Canadá.

Año	Producción (Mton)	% Crec.	Consumo (Mton)	% Crec.	Import.	% Crec.	Export.	% Crec.
1986	298	-	327	-	73	-	36	-
1987	311	7.24	357	9.17	76	4.11	38	(16.67)
1988	299	(3.85)	388	8.68	188	31.54	11	(63.33)
1989	322	7.69	486	4.64	96	(4.88)	12	9.09
1990	325	0.93	489	0.74	132	37.58	48	388

Fuente: Modern Plastics.

Mercado de P.V.C. en Canadá

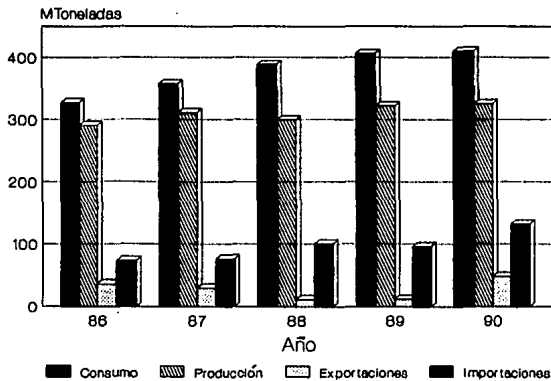


Tabla XXI. Autosuficiencia del Consumo Interno de Canadá.

Año	Porcentaje
1986	88.69
1987	87.11
1988	77.06
1989	79.31
1990	79.46

Fuente: Modern Plastics.

Tabla XXI. Segmentación por Tipo de Producto en Canadá.

Producto	Consumo 1989 (Mton)	Consumo 1990 (Mton)	% Crecimiento
<u>P.V.C. Rígido</u>			
Tubería	150	148	(1.33)
Perfiles	116	121	4.31
Empaque	11	10	(9.09)
Discos	3	2	(33.33)
Total	280	281	0.36
<u>P.V.C. Flexible</u>			
Recubrimiento de Cable	34	33	(2.94)
Película y Lámina	40	40	0.00
Pisos	17	17	0.00
Otros	35	30	8.57
Total	126	120	1.59

Fuente: Modern Plastics.

En 1990 existió una caída en la mayor parte de las aplicaciones de P.V.C. con un consumo que prácticamente no tuvo avance alguno.

4.4 PROYECCION DE LA DEMANDA.

México.

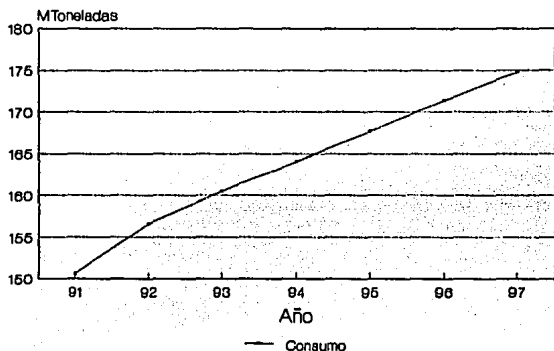
El comportamiento de la demanda interna de P.V.C. durante la década pasada fue muy irregular y con un crecimiento real en 10 años de sólo 8%. En los 90's, la reciente flexibilización comercial por parte de los productores nacionales motivará en el corto plazo la sustitución de las importaciones sin perder los mercados internacionales hasta ahora conseguidos. Esto obligará a los fabricantes mexicanos a aumentar la producción utilizando aproximadamente el 95% de la capacidad instalada.

Estos factores contribuirán a la recuperación lenta pero sostenida del P.V.C. En 1991 y 1992 los crecimientos se esperan entre el 3.5 y el 4% anual e irán disminuyendo gradualmente hasta alcanzar en 1997 un crecimiento total del 20%.

Tabla I. Proyección de la Demanda de P.V.C. en México.

Año	Consumo (Ton)	% Crec.
1991	150,565	3.5
1992	156,587	4.0
1993	160,502	2.5
1994	164,033	2.2
1995	167,641	2.2
1996	171,330	2.2
1997	174,756	2.0

Proyección de la Demanda de P.V.C. en México



El TLC con Estados Unidos y Canadá es una fuente potencial de nuevos mercados para las exportaciones a éstos dos países, que dichos planes fructifiquen depende del poder negociador de los representantes mexicanos.

La tubería y la botella de P.V.C. tienen las mejores expectativas sobre todo en los dos próximos años. El que éstas dos aplicaciones crezcan de forma constante es esencial para el avance que se espera del P.V.C. Otras aplicaciones que tendrán tendencias positivas serán el calzado y la tela plástica. Los mercados de los discos, perfiles flexibles y pisos seguirán con el retroceso que hasta ahora padecen.

Estados Unidos.

Los Estados Unidos tendrán crecimientos constantes del 4% anual durante la presente década. Sin embargo, la capacidad también se expandirá excediendo a la demanda.

El comportamiento de los productores norteamericanos en los últimos dos años nos hace suponer que se destinarán sustanciosas cantidades a la exportación atacando principalmente el mercado europeo lo que puede abrir oportunidades para exportar a Estados Unidos.

Todas las aplicaciones relacionadas con la construcción tendrán una mayor participación en el mercado. Por otra parte la lámina extruida y calandreada para empaque sufrió un retroceso debido al rumor de que el P.V.C. podía liberar HCl al entrar en contacto con los alimentos. La Federal Drug Administration (F.D.A.) efectuó rigurosos estudios y ratificó el grado F.D.A. para el P.V.C., ello ayudará a que este sector se recupere y crezca para los primeros años del 90.

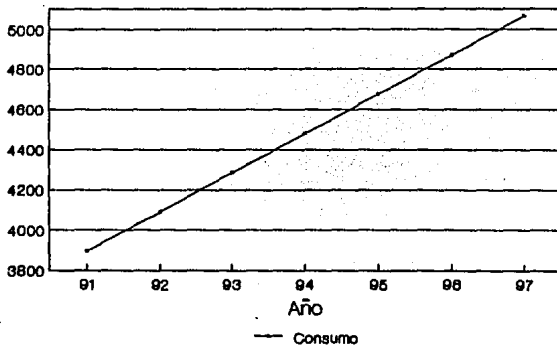
Las aplicaciones en la industria juguetera, de artículos para el hogar, electrodomésticos y las aplicaciones médicas encontrarán las condiciones necesarias para desarrollarse en los 90's.

Los demás usos del P.V.C., excluyendo a los discos y al calzado se mantendrán con crecimientos estables.

Tabla II. Proyección de la Demanda de P.V.C. en E.U.

Año	Consumo (Ton)	% Crec.
1991	3,874	0.67
1992	4,089	5.00
1993	4,284	4.76
1994	4,479	4.55
1995	4,674	4.35
1996	4,870	4.19
1997	5,065	4.00

Proyección de la Demanda de P.V.C. en E.U.



Europa Occidental.

Europa, en donde existe un intenso intercambio comercial con el P.V.C. tendrá crecimientos extraordinarios en el consumo de este producto (5% anual) superando las 7,000 toneladas en 1996.

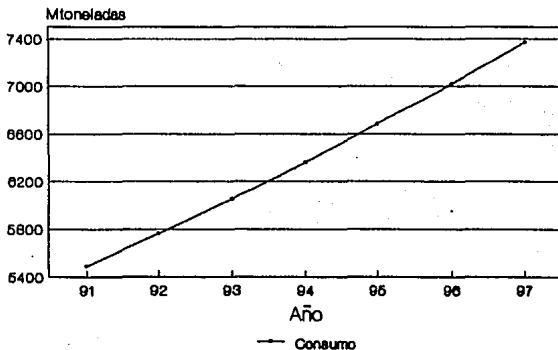
Tabla III. Proyección de la Demanda de P.V.C. en Europa

Occidental.

Año	Consumo (Ton)	% Crec.
1991	5,487	6.38
1992	5,763	5.03
1993	6,054	5.05
1994	6,359	5.04
1995	6,680	5.05
1996	7,016	5.03
1997	7,370	5.04

En el futuro, los productores europeos se enfrentarán a la falta de capacidad instalada. Tendrán que elegir entre el abastecimiento del mercado interno y las exportaciones. Si optan por la primera opción se presentarán oportunidades de exportación para otros países para cubrir los envíos de la resina europea. En cambio, si los fabricantes mantienen los mercados extranjeros, los consumidores locales tendrán que buscar nuevos proveedores de materia prima.

Proyección de la Demanda de P.V.C. en Europa Occidental



Otra desventaja competitiva de las compañías del viejo continente es que sus plantas en la mayoría de los casos son obsoletas. La superioridad tecnológica de otras regiones del mundo se hará notar con el tiempo en calidad del producto y volumen de producción.

Los campos más promisorios para el P.V.C. seguirán siendo los productos relacionados con la construcción y las aplicaciones para envase y empaque, en especial los recubrimientos.

Japón.

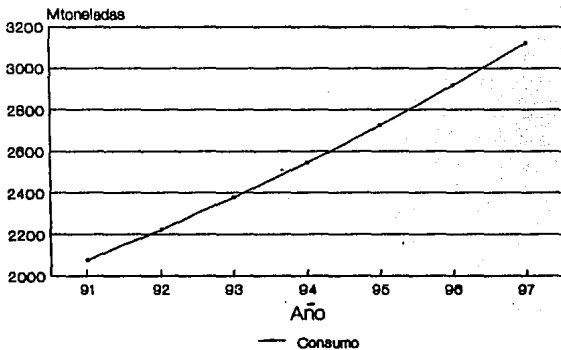
Japón experimentará un boom en el consumo de P.V.C. para los 90's. Será el país con los mayores crecimientos, los cuales se encontrarán en el rango del 7% anual.

Tabla IV. Proyección de la Demanda de P.V.C. en Japón.

Año	Consumo (Ton)	% Crec.
1991	2,075	7.68
1992	2,221	7.04
1993	2,378	7.07
1994	2,545	7.02
1995	2,724	7.03
1996	2,915	7.01
1997	3,120	7.03

Este mercado se muestra con buenas expectativas para los fabricantes foráneos debido a la exiguidad de la capacidad instalada nipona. Por otra parte, sus proyectos de expansión de aquí a cuatro años se limitan a las 100,000 toneladas de la planta de Formosa Plastics que no serán suficientes para abastecer las 2'400,000 toneladas que se requerirán para 1993.

Proyección de la Demanda de P.V.C. en Japón



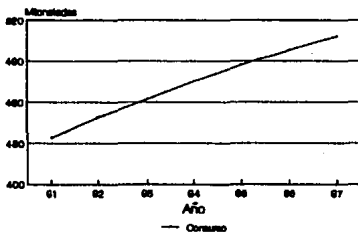
Canadá.

Crecimientos muy pobres, de aproximadamente el 2% anual, se pronostican para el mercado canadiense. Las importaciones de P.V.C. se intensificarán por lo menos en los dos próximos años gracias a la política de exportaciones de los fabricantes del Canadá.

Tabla V. Proyección de la Demanda de P.V.C. en Canadá.

Año	Consumo (Ton)	% Crec.
1991	434	6.11
1992	449	3.46
1993	462	2.90
1994	475	2.81
1995	487	2.53
1996	498	2.26
1997	508	2.01

Proyección de la Demanda de P.V.C. en Canadá



4.5 ANALISIS DE LAS EXPORTACIONES.

Antes de analizar y reconocer cuáles son los mercados más apropiados para las exportaciones de P.V.C. se presentarán algunas referencias del entorno económico que envuelve a nuestro país para poder así entender de una manera más clara la necesidad que tiene México de exportar.

Entorno Económico.

Desde los 40's y hasta el final de los 60's tuvo lugar el Milagro Mexicano en el que la economía mostró un acelerado crecimiento, estabilidad del peso frente al dólar y prácticamente ausencia del fenómeno inflacionario. La política económica dio facilidades a la iniciativa privada en especial al sector industrial.

Al entrar en los 70's las antiguas directrices económicas se reemplazaron por la activa participación del Estado en la economía y la alianza del gobierno con el sector obrero, lo cual generó por un lado, presiones para financiar su gasto y por el otro, fuertes presiones sobre los salarios.

Las acciones proteccionistas del gobierno provocaron un gran endeudamiento del sector público (debido a los préstamos del exterior y a las pérdidas registradas por practica-

mente todas las empresas paraestatales), el aislamiento comercial de México y la creación de monopolios industriales que ante la falta de competencia se estancaron en la calidad de sus productos y servicios.

Durante el periodo de 1978 a 1981 México vivió un corto auge ayudado por el boom petrolero hasta que éste concluyó con la caída de los precios del hidrocarburo.

A partir de 1982 se hace notoria la recesión económica que se venía gestando diez años atrás. La crisis se manifiesta en los altos índices inflacionarios, el proceso devaluatorio de la moneda y la intensificación del endeudamiento interno y externo.

La recesión del PIB de 4.6% en 1983, se debió en gran parte a la contracción de la inversión pública (-32.5%) y del consumo (-1.3%). En 1985 nuevamente decrece la inversión pública en 4.4% y es el sector privado el que demostró un mayor dinamismo, su inversión creció un 13.4% y el consumo en 2.1% lo que arrojó un crecimiento del PIB en 1984 y 1985 de 3.5 y 2.5% respectivamente.

Una nueva caída de los precios del petróleo en 1986 contribuyó a una disminución del PIB en un 3.7% respecto al año anterior. La balanza comercial llegó a su nivel más bajo desde 1983.

En 1987 México sufre el más alto nivel inflacionario de su historia (159%). La política subvaluatoria motivó a los empresarios mexicanos a incursionar en los mercados internacionales. En junio de ese año el desplome de la Bolsa Mexicana de Valores agravó la situación.

A mediados de 1988 se concerta el Pacto de Solidaridad Económica con el fin de detener el proceso inflacionario mediante una política cambiaria y fiscal restrictivas y un congelamiento general de los precios. El resultado en 1988 fue el abatimiento de la inflación al 51.7%.

No obstante que se desaceleró la carrera inflacionaria con una moderada recesión económica hubo una profunda contracción de la demanda interna como producto de la pérdida del poder adquisitivo del salario, pues mientras el incremento de los precios al productor fue del 37.7% el índice de precios al consumidor final creció en 51.6% y los salarios mínimos únicamente aumentaron un 23.6%.

La renovación del compromiso de parte de los sectores obrero, campesino, gubernamental y empresarial para consolidar la estabilización económica y reiniciar el crecimiento culmina con el Pacto de Estabilidad y Crecimiento Económico (PECE).

El PECE refleja sus primeros resultados con un crecimiento económico del 2.9% (crecimientos similares no se veían desde 1984) y una inflación del 19%. El crecimiento se debió principalmente a la reactivación del consumo y de la inversión privada y al descenso en el gasto público.

El crecimiento económico no ha podido aumentar su nivel debido en gran parte al control de precios que limita los márgenes de utilidad y por ende la posibilidad de realizar inversiones adecuadas que compensen la caída de la inversión pública acaecida en años anteriores.

En 1991 se confirma la vía rápida para las negociaciones del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá lo que obliga a los industriales mexicanos a incrementar la calidad de los productos, reducir los costos de producción y enfrentarse a la competencia internacional para la cual la mayor parte de los empresarios no están preparados. Los financiamientos con altas tasas de interés y el impuesto al valor agregado del 10% todavía por arriba de los niveles internacionales (comparado con el de Estados Unidos que es del 6%) entre otros factores dificultan la modernización que con urgencia la industria mexicana necesita.

Por otra parte el TLC ofrece oportunidades en el mayor mercado del mundo y México debe aprovechar cada una de las ventajas de las que goza si no quiere que el Tratado sepulte

al país en el mundo de la maquila. Las exportaciones es una forma efectiva de fortalecer la economía mejorando la balanza comercial y trayendo al país divisas.

Los años que nos esperan serán vitales para definir el curso que seguirá México, tenemos la oportunidad de revivir el Milagro Mexicano, en nuestro trabajo está el ver los sueños hechos realidad.

Análisis Global de las Exportaciones Mexicanas.

Los mejores clientes para las exportaciones de resina de P.V.C. mexicana en los últimos cinco años han sido Estados Unidos, Nueva Zelanda, India, Japón y China. Y desde 1989 también se exportan cantidades importantes a Hong Kong, Corea del Sur, Gran Bretaña y Suiza.

Tabla I. Principales Destinos de las Exportaciones Mexicanas de P.V.C.

Región	Exportaciones (Ton)					
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
<u>América del Norte</u>						
Canadá	-	282	-	1,108	5,355	809
Estados Unidos	85,882	68,951	36,897	43,183	39,427	33,893
<u>Centroamérica y el Caribe</u>						
Costa Rica	177	98	1,478	1,829	588	488
Cuba	-	-	1,359	24	578	146
Ecuador	-	5,814	3,848	4,524	1,228	1,249
El Salvador	2,241	3,748	4,788	11,583	9,872	682
Guatemala	7,938	3,231	8,882	9,961	157	281
Honduras	-	-	1,241	1,291	594	-
República Dominicana	-	4,481	6,134	3,733	2,884	3,878
<u>Sudamérica</u>						
Argentina	1,969	12,248	1,392	-	639	1,167
Brasil	3,184	1,682	1,883	552	148	-
Colombia	3,273	7,557	3,321	356	1,418	376
Chile	515	7,513	5,367	1,113	2,726	5,981
Uruguay	-	6,882	1,429	-	118	-
Venezuela	-	1,928	2,845	1,738	67	-

Región	Exportaciones (Ton)					
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Europa						
Alemania	-	-	1,088	1,722	13,941	2,273
Gran Bretaña	-	-	-	1,921	12,166	27,372
Países Bajos	-	-	3,071	1,198	1,636	5,431
Suiza	389	642	1,803	-	4,481	19,268
Sureste Asiático y Cuenca del Pacífico						
Corea del Sur	-	-	-	1,653	13,228	6,238
China	-	6,431	19,948	11,167	4,779	5,334
Hong Kong	-	-	2,624	4,885	2,988	6,816
India	-	12,151	18,837	18,885	6,644	1,496
Japón	268	396	17,791	16,333	18,873	18,656
Nueva Zelanda	9,286	-	7,188	7,653	4,885	12,568
África						
Costa de Marfil	-	-	-	-	4,333	3,838
República de Sudáfrica	-	3,183	1,528	1,377	-	-

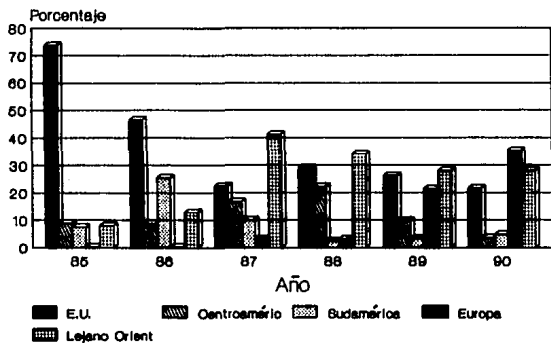
Fuente: SECOFI.

Tabla II. Participación de las Exportaciones Mexicanas por Región.

Región	% de Participación					
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Estados Unidos	73.72	46.53	22.48	28.95	25.99	21.46
Canadá	-	8.19	-	8.74	3.54	8.52
Centroamérica y el Caribe	18.27	7.8	15.85	28.51	9.23	3.73
Sudamérica	7.61	29.34	13.55	5.76	4.17	5.64
Europa	8.34	8.62	3.86	3.24	22.53	36.22
Japón	8.15	8.26	11.85	18.97	6.64	6.91
Sureste Asiático y Cuenca del Pacífico	7.91	11.74	32.21	28.67	22.98	23.83
África y Medio Oriente	-	3.44	1.88	1.16	5.88	2.49

Fuente: SECOFI.

% Participación de las Exportaciones Mexicanas



Fuente: SEOFI

Análisis de las Exportaciones a Estados Unidos.

Estados Unidos ha sido el principal destino de las exportaciones mexicanas de P.V.C. ; sin embargo, su participación ha pasado de ser del 74% en 1985 a sólo el 21% en 1990.

Existen varias razones por las cuales los envíos han disminuido. En 1983, cuando las exportaciones mexicanas dan un salto sobresaliente y se comienzan a mandar más de 50,000 toneladas de la resina al extranjero, la B.F. Goodrich poseía todavía el 40% de las acciones de Policyd, máximo exportador mexicano. El P.V.C. producido por ésta empresa era distribuido a través de la B.F. Goodrich en Estados Unidos quien ya contaba con una extensa cartera de clientes. En 1988 el Grupo Cydsa compra la participación de B.F. Goodrich y con él pierde a su distribuidor en los Estados Unidos, teniendo Policyd que buscar sus propios clientes sin invadir el mercado de su antiguo socio. Para 1989 las exportaciones a Estados Unidos cayeron casi un 9%.

Una segunda razón es la sobreproducción en el mercado norteamericano que no deja mucho espacio para el P.V.C. de otros países, además del arancel del 10% que se aplica al producto mexicano.

Otro motivo por el cual Estados Unidos está muy cerca de dejar de ser nuestro principal cliente es que México conforme ha adquirido experiencia en el ámbito de las exportaciones de P.V.C. ha descubierto mercados más atractivos que el estadounidense, como lo son el europeo y el de la cuenca del Pacífico.

Las expectativas de las exportaciones hacia los Estados Unidos bajo las condiciones actuales (sin tomar en cuenta los beneficios que puede acarrear el TLC) no son muy promisorias. Las razones por las cuales la resina mexicana se mantiene en el mercado norteamericano son la cercanía a los Estados Unidos y el precio del P.V.C. mexicano. En general. existen mercados bastante más interesantes que el de Estados Unidos.

Análisis de las Exportaciones a Canadá.

El mercado canadiense es de temporada, ya que de Octubre a Marzo se suspenden todo tipo de envíos por el congelamiento del río Mackenzie, ruta de entrada a Canadá.

El flete a Canadá por barco es muy caro e irregular, enviar el P.V.C. por ferrocarril resulta sumamente riesgoso y por último el flete por carretera es más caro aún que por barco.

Nuestro vecino del norte nos aventaja en el mercado canadiense por lo sencillo y barato del transporte desde los Estados Unidos y la exención del arancel producto del Tratado de Libre Comercio que ya mantienen Canadá y Estados Unidos.

Análisis de las Exportaciones a Centroamérica y el Caribe.

En el área de Centroamérica y el Caribe sólo existe un productor de P.V.C. el cual tuvo recientemente un accidente que ha dejado su planta fuera de servicio por ya varios meses lo que implica el desabasto de la región.

México se encuentra favorecido por su situación geográfica y cuenta con fletes más baratos que los de Estados Unidos. La desventaja que enfrenta la resina mexicana es el 15% de arancel que debe pagar por introducir el producto al área pero éste inconveniente parece será eliminado con el acuerdo para una Zona de Libre Comercio del cual se sentaron las bases el pasado 11 de enero de 1991 durante la visita de los jefes de estado de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua a México. Dicha Zona de Libre Comercio deberá ser conformada a más tardar el 31 de diciembre de 1996.

El Salvador, República Dominicana y Guatemala han sido a través de los 80's los principales clientes de los exportadores mexicanos. Cuba importa grandes cantidades de P.V.C. pero tiene serios problemas de liquidez lo que desalienta el intercambio.

Análisis de las Exportaciones a Sudamérica.

Sudamérica se muestra como una región muy interesante para las exportaciones mexicanas. Existen dos países productores en la región: Brasil y Colombia. Las compañías brasileñas se encuentran integradas verticalmente hacia arriba, es decir, producen su propio cloruro de vinilo. Esto es un arma de dos filos, por un lado la resina brasileña es más barata que la mexicana, causa directa de la integración; sin embargo, el VCM de Brasil no es de buena calidad, lo que repercute en la calidad de la resina. El P.V.C. mexicano es de mejor calidad que el brasileño.

Otra razón por la cual el mercado sudamericano es atractivo es que se puede posicionar el producto a precios altos sin perder clientes.

Colombia y Brasil importan P.V.C. pese a ser productores debido a que exportan gran parte de su producción para adquirir divisas, descuidando su mercado local.

Otros compradores en el área son Ecuador con requerimientos de 2,000 toneladas mensuales, Uruguay con un consumo de 1,000 toneladas al mes, Chile con 2,000 toneladas al mes y Venezuela. Chile es un excelente cliente debido a la estabilidad y crecimiento de su economía.

Venezuela es un caso muy especial ya que con el reciente Tratado de Libre Comercio entre México, Colombia y

Venezuela (Grupo de los Tres) se suscribieron acuerdos para la inclusión de cobertura amplia de productos, la eliminación de las barreras arancelarias bajo un programa calendarizado, la remoción de obstáculos al transporte, racionalización y armonización de estímulos a las exportaciones, lo que viene a favorecer ampliamente a México va que existen preferencias arancelarias entre los países sudamericanos (Colombia no paga arancel en ningún país sudamericano por sus exportaciones de P.V.C.). El resultado directo de este tratado será la competencia abierta entre Colombia y México por el mercado venezolano.

Como se mencionó anteriormente, Chile es un mercado que debe tenerse presente en los programas de exportación. El futuro de las relaciones comerciales entre México y Chile se ha vuelto halagador ante la firma del acta, el día 3 de octubre de 1990, para establecer un Acuerdo de Complementación Económica, con el objeto de liberalizar el comercio entre los dos países en forma gradual y cuyo proceso de desgravación culminará en 1995.

Puntos importantes de este acuerdo son:

- Mayor impulso al comercio a través de financiamiento al comercio exterior.
- Cooperación en materia de transportes.

- Incentivos a las exportaciones.
- Eliminación de las barreras arancelarias para 1995.
- Establecimiento de mecanismos de solución de controversias.

El único inconveniente al que se enfrenta México para exportar a sudamérica es la irregularidad de los fletes a esa región del mundo. También hay que hacer notar que resulta más barato para México exportar al cono sur del continente americano que para Estados Unidos.

Análisis de las Exportaciones a Europa.

En Europa, México exporta preferentemente a Alemania, los Países Bajos, Gran Bretaña y Suiza.

México tiene una ventaja temporal en las exportaciones a Alemania debido al Sistema Generalizado de Preferencias gracias al cual nuestro país no paga arancel. Este convenio con Alemania termina en 1997, año a partir del cual se impondrá un arancel del 12.5%.

Gran Bretaña importa un porcentaje considerable de su consumo. Sus principales proveedores son Francia, España, México y Brasil. En el último año Gran Bretaña importó más de 27,000 toneladas de P.V.C. mexicano. La buena calidad de la resina mexicana está siendo preferida al producto brasileño.

España, Italia y los Países Bajos son otras de las naciones que importan para cubrir su demanda.

La razón por la cual se exporta tanto a Suiza es el bajo impuesto que se paga en este país, pero en realidad el P.V.C. facturado en Suiza tiene diversos destinos.

Europa se ha convertido a últimas fechas en la región más atractiva para las exportaciones mexicanas.

Europa Oriental tiene una alta producción de P.V.C. pero la calidad de sus productos es pobre, este hecho aunado a la apertura comercial de los países del Este Europeo puede crear nuevos mercados en Europa.

Análisis de las Exportaciones al Sureste Asiático y el Lejano Oriente.

Japón y los Cuatros Tigres: Corea del Sur, Hong Kong, Singapur y Taiwan se alzan en la Cuenca del Pacífico como los gigantes económicos, líderes en la manufactura de productos terminados. Todos ellos asiduos consumidores de P.V.C.

La producción en ésta área es muy alta pero aún así llegan a estos países resinas de diversas partes del mundo. La razón de que esto suceda es la batalla por precio y calidad (en esta zona del mundo la calidad tiene la mayor de las prioridades) en la que se ven envueltas varias naciones.

En Japón a diferencia de los otros cuatro países antes mencionados, México tiene preferencia arancelaria punto que es aprovechado en el ofrecimiento de buenos precios.

Es importante resaltar que cualquier ventaja comercial que se pueda obtener es decisiva en la captura de mercados tan sustanciosos como los que ofrece la Cuenca del Pacífico.

Existen principalmente dos problemas que impiden una mayor expansión de las exportaciones al Lejano Oriente. Uno de ellos es el alto costo del flete, que parte del Golfo de México. El segundo es que el intercambio comercial tanto en Japón, como en Hong Kong, Taiwan, Corea del Sur y Singapur

se lleva a cabo mediante Traders lo que disminuye las ganancias por envío.

Con el fin de disminuir el déficit comercial de Taiwan con Japón, la Organización de Promoción del Comercio de Taiwan ha llevado a cabo el desarrollo del proyecto TOP (Trade Opportunity Project) con la colaboración de Canadá, Estados Unidos, México y la Comunidad Económica Europea mediante el cual se pretende definir oportunidades comerciales que pueden generar alianzas estratégicas entre empresas para planificar exportaciones a Taiwan y utilizar éste país como centro de distribución a todo el Sudeste Asiático.

India tiene consumos de 25,000 toneladas al mes y es un mercado de bajos precios donde la calidad es un factor de poca relevancia. El flete a la India es poco regular y al desembarco del producto en el puerto de Bombay, uno de los más ocupados del mundo, puede tardar en ocasiones hasta dos meses arriesgándose el buen estado de la mercancía. India aunque es un mercado de grandes volúmenes es desalentador por los bajos precios de venta y el alto costo del flete.

China es otro mercado de volumen pero las ventas directas son desanimadoras por los altos costos de entrega del producto al interior del país. El comercio con China normalmente se realiza a través de Hong Kong que actúa como puerto de entrada.

Nueva Zelanda es otro de los objetivos mexicanos en las exportaciones de P.V.C.; sin embargo, la introducción del producto mexicano no ha sido fácil en un mercado que se caracteriza por la saturación con resinas de todo el mundo y la guerra de precios que ello implica, aunque es de gran ayuda la preferencia arancelaria de la que goza México.

Análisis de las Exportaciones a Africa y Medio Oriente.

Las exportaciones a Africa y Medio Oriente son minoritarias y esporádicas abarcando países como Túnez, Emiratos Arabes Unidos y Rhodesia del Sur.

De 1986 a 1988 el cliente más consistente era la República de Sudáfrica quien fue sustituido por Costa de Marfil en 1989 con exportaciones de alrededor de las 4,000 toneladas al año.

Nuestro principal competidor en este mercado es Brasil, pero las entregas brasileñas son tardías, de lo que sacan ventaja los productores mexicanos.

1. El Sistema Generalizado de Preferencias (SGP) es un esquema mediante el cual los países industrializados otorgan preferencias arancelarias a los países en desarrollo de forma temporal y no recíproca.

4.6 PRECIO DE VENTA.

Ya que las materias primas del P.V.C. son derivados del petróleo su precio cambia de acuerdo a las variaciones del hidrocarburo, pero cuando hablamos de exportaciones existen otros factores que fijan el precio de venta como el volumen, el flete, los aranceles, los descuentos, la guerra de precios con los competidores, etc.

Tabla I. Precio Medio de las Importaciones y Exportaciones Mexicanas de P.V.C.

Año	Importaciones \$/Kg	Exportaciones \$/Kg
1985	1.18	0.51
1986	1.33	0.55
1987	1.21	0.69
1988	1.31	0.98
1989	1.09	0.64
1990	1.15	0.59

Fuente: SECOFI

Nota.- Todos los precios se especifican en dólares por Kg de resina.

El precio internacional del P.V.C. gira alrededor de los precios de exportación de Estados Unidos. Sin embargo, los precios cambian de acuerdo a la región del mundo donde se promoció el producto. En Centroamérica, el Caribe y Sudamérica el P.V.C. encuentra sus precios más altos, en

tanto que en Africa y en Estados Unidos los precios son de alrededor de 6 centavos de dólar menores que el precio promedio de las exportaciones.

Tabla II. Precio Medio de las Exportaciones Mexicanas por Región

Región	\$/Kg					
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Norteamérica	0.46	0.51	0.63	0.90	0.62	0.58
Centroamérica y el Caribe	0.65	0.60	0.80	1.09	0.82	0.52
Sudamérica	0.60	0.63	0.69	1.01	0.76	0.80
Sudeste Asiático y Cuenca del Pacífico	0.57	0.57	0.73	0.95	0.72	0.62
Europa	0.79	0.54	0.62	0.90	0.62	0.61
Africa y Medio Oriente	-	0.48	0.69	0.85	0.60	0.63

Fuente: SECOFI

Tabla III. Precio Medio de las Exportaciones Mexicanas por País

Región	\$/Kg					
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
<u>Norteamérica</u>						
Canadá	-	0.50	-	0.85	0.71	0.66
Estados Unidos	0.50	0.52	0.63	0.96	0.54	0.49
<u>Centroamérica y el Caribe</u>						
Costa Rica	0.04	0.05	0.64	1.02	0.66	0.45
Cuba	-	-	0.82	1.50	1.45	1.17

Región	\$/Kg					
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
El Salvador	0.68	0.61	0.63	1.33	0.88	0.74
Guatemala	0.63	0.58	0.68	1.16	0.73	0.74
Honduras	-	-	0.82	1.13	0.78	-
República Dominicana	-	0.51	0.75	0.89	0.66	0.57
<u>Sudamérica</u>						
Argentina	0.51	0.61	0.59	-	0.65	0.59
Brasil	0.51	0.55	0.62	1.07	0.89	-
Colombia	0.67	0.65	0.77	1.10	0.98	0.89
Chile	0.71	0.68	0.68	1.02	0.68	0.68
Ecuador	-	0.63	0.79	1.07	0.67	0.67
Uruguay	-	0.56	0.69	-	0.84	-
Venezuela	-	0.78	0.79	0.89	0.67	-
<u>Sudeste Asiático y Cuenca del Pacífico</u>						
Corea del Sur	-	-	-	0.76	0.88	0.54
China	-	0.68	0.73	1.08	0.67	0.58
Hong Kong	0.72	0.57	0.71	1.01	0.61	0.62
Japón	-	-	0.87	0.95	0.67	0.76
India	-	0.47	0.78	0.92	0.69	0.84
Nueva Zelanda	0.43	-	0.75	0.91	0.58	0.56
<u>Europa</u>						
Alemania	-	-	0.76	1.01	0.62	0.59
Gran Bretaña	-	-	-	0.84	0.62	0.62
Países Bajos	-	-	0.59	0.84	0.59	0.69
Suiza	0.78	0.59	0.52	-	0.56	0.58
<u>África</u>						
Costa de Marfil	-	-	-	-	0.56	0.63
República de Sudáfrica	-	0.48	0.73	0.87	-	-

Fuente: SECOFI

Los precios del P.V.C. suspensión reportados al 27 de junio de 1991 son:

Pais	\$/Kg
Estados Unidos	0.53-0.55
Alemania	0.62-0.64
Italia	0.62-0.65
Holanda	0.64-0.65
Gran Bretaña	0.58-0.59
Lejano Oriente	0.53-0.55
México	0.60-0.62

Fuente: Independent Chemical Information Services

Nota.- Estos son los precios ofrecidos en el mercado local.

5.- SELECCION DEL PROCESO DE PRODUCCION

Existen cuatro diferentes métodos para la polimerización del cloruro de vinilo:

- A) Polimerización por Solución.
- B) Polimerización por Emulsión.
- C) Polimerización por Masa.
- D) Polimerización por Suspensión.

En México se utilizan los procesos por masa, emulsión y suspensión, siendo Polímeros de México el único que fabrica P.V.C. por el método de masa.

A) Polimerización por Solución.

Mediante esta técnica el monómero se introduce en un solvente. El polímero generalmente es insoluble en el medio, facilitando su separación y secado. En el caso de que el polímero sea soluble puede este ser usado en solución o puede ser convertido en polvo.

El proceso por solución tiene la ventaja de no utilizar emulsificantes o agentes de suspensión, facilita el control de la temperatura y con él se obtienen resinas con un mínimo de impurezas.

Las resinas de solución se copolimerizan con anhídrido maléico para producir recubrimientos, especialmente para latas metálicas.

Desafortunadamente el costo de producción de éstas resinas es muy alto, elevando el precio de venta de tres a cuatro veces con respecto al homopolímero de uso general, esto aunado a un mercado muy limitado elimina cualquier posibilidad de escoger este método de producción.

B) Polimerización por Emulsión.

El monómero se introduce en una mezcla de agua y algún tipo de surfactante, normalmente ésteres sulfatados de litio, bario, cadmio, calcio, magnesio, aluminio, zinc, en concentraciones de 1.25% a 3.00% en peso.

El extremo hidrofóbico de las micelas formadas por el jabón (surfactante) atraen al VCM al interior de éstas, donde se lleva a cabo la polimerización ayudada por un catalizador.

Las resinas de emulsión tienen un tamaño de partícula extremadamente fino (1 a 5 micras) por lo que son aplicadas como látices. Las resinas de dispersión utilizadas en plastisoles son producidas mediante secado por aspersión controlando la aglomeración de las partículas. El mercado de exportación de éstos productos es muy escaso.

Los procesos que ofrecen mejores expectativas para el mercado de exportación son los de polimerización por masa y suspensión los cuales analizaremos de forma más detallada.

C) Polimerización por Masa.

El procedimiento de polimerización por masa fue originalmente desarrollado por Produits Chimiques Pechiney-Saint Gobain en los años cuarentas y licenciado en 1964 (Fr. Pat 1,382,072).

La polimerización se lleva a cabo en dos fases. En la primera de ellas se vierten el iniciador (un peróxido diacil alfa halogenado, conteniendo de 1 a 9 carbonos) solubilizado en triclorotrifluoroetano o hexano y el monómero en un prepolimerizador que no es mas que un reactor vertical equipado con agitadores de paletas planas, deflectores y un condensador de reflujo que elimina el calor latente por medio de la condensación del monómero gaseoso. La mezcla se lleva a la temperatura de reacción, la cual depende del peso molecular del material (generalmente la temperatura se encuentra entre -40°C y 40°C).

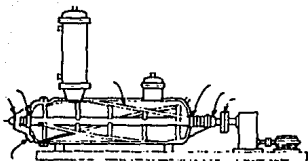
Casi inmediatamente se crean cadenas poliméricas que forman partículas de aproximadamente .1 micras.

La prepolimerización se continúa por 1 o 1 1/2 horas en las que se debe alcanzar una conversión del 7 al 10%. Por debajo del 7% de conversión los gránulos no poseen la suficiente cohesión como para ser transferidos sin que se rompa el sistema de polimerización; mientras que por arriba del 10% de conversión la mezcla es demasiado viscosa impidiendo

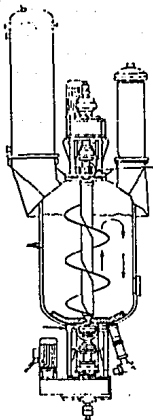
la homogeneidad del sistema.

En la segunda fase de polimerización la mezcla, a la cual se le ha añadido más monómero e iniciador, es transferida a un segundo reactor, dos veces más grande que el prepolimerizador (4,000 a 12,500 galones). Este reactor puede ser vertical u horizontal.

En el reactor horizontal el agitador tiene una estructura semejante a una jaula y sus aspas giran cerca de las paredes del reactor (Fig 1).



El reactor vertical cuenta con un husillo a todo lo largo de su estructura, un aspa en la base del reactor evita la sedimentación y al mismo tiempo alimenta al husillo (Fig 2).



Las partículas crecen hasta alcanzar tamaños de .1 micras a 1.0 micra. al llegar al 25% de conversión el polímero se aglomera convirtiéndose en un sólido fino semejante al talco.

Una gran cantidad de calor se desprende durante la reacción (16.9 a 25.5 kcal/mol), se estima que el 60% del calor es removido mediante el condensador de reflujo, 30% por medio de la chaqueta de enfriamiento y 10% gracias al agitador.

La reacción prosigue hasta que se presenta una caída de presión indicador de la falta de monómero libre, esto sucede a aproximadamente un 80% de conversión. El producto es finalmente desacargado y venteado. El monómero sin reaccionar es removido por medio de vacío y recobrado por compresión.

sión y condensación en el condensador de reciclamiento. El tiempo de reacción puede ir de 3 a 9 horas dependiendo del producto.

La resina por masa tiene alta porosidad y por lo tanto baja densidad, excelente absorción de plastificante y la distribución de tamaños es más uniforme que por otros métodos.

Ya que este sistema opera sin agentes surfactantes o de suspensión el material ofrece alta claridad y no posee la película de surfactante alrededor de la partícula, esto le proporciona al plástico mejor estabilidad al calor, ciclos de extrusión más cortos y buenas propiedades dieléctricas.

La poca flexibilidad del proceso hace que muy pocas plantas alrededor del mundo operen con este método.

D) Polimerización por Suspensión.

En este proceso, el cual ha sido el soporte de la industria del P.V.C. por muchos años, el monómero junto con un catalizador de radicales libre, ambos en fase oleosa, son finamente dispersados en agua mediante agitación vigorosa. La adición de agentes de suspensión, coloides protectores o surfactantes permite la polimerización y evita el rompimiento del sistema en formación. La forma en que esto se lleva a cabo varía con cada fabricante y en muchos casos es consi-

derado secreto industrial.

El equipo usado en la polimerización por suspensión consta de un reactor a presión de tipo Pfaudler de acero inoxidable o vitrificado con agitadores de paletas planas o tipo turbina. El tamaño del reactor varía entre 3,000 y 4,000 galones aunque se encuentran reactores de hasta 6,000 galones. Reactores de menor tamaño son irredituables económicamente. Los reactores son enfriados por medio de una chaqueta de enfriamiento por la que circula agua.

En una corrida de trabajo típica en la fabricación de P.V.C. se llevan a cabo los siguientes pasos:

Se cargan a un reactor limpio agua y el agente de suspensión, ya sea en polvo o en solución. A continuación se agrega el catalizador y el reactor se sella para remover el oxígeno. Bajo condiciones ideales el reactor se evacúa a la presión de vapor del agua. Una alta concentración de oxígeno puede retardar la polimerización o producir una explosión. Después de esto se introduce el monómero al reactor como líquido a presión. Algunos agentes de suspensión requieren ser agitados para inmediatamente después llevar el reactor a la temperatura de reacción. En otros casos se necesita de un periodo de agitación para alcanzar el equilibrio de la suspensión antes de empezar a calentar. Con algunos agentes de suspensión el monómero se agrega a agua fría y toda la

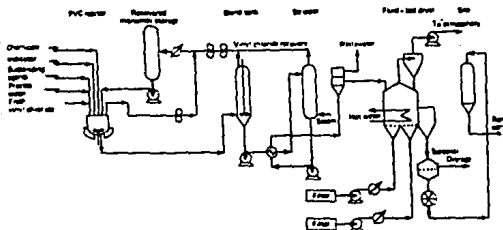
suspensión se calienta, cuando con otros el VCM se añade a agua caliente llevando posteriormente el reactor a la temperatura de polimerización, esta última técnica ayuda a reducir el ciclo de trabajo.

El reactor se lleva la temperatura de reacción haciendo pasar agua caliente o vapor a través de la chaqueta. Una vez que la reacción ha comenzado se debe mantener un estricto control de temperatura.

Cuando se alcanza aproximadamente un 70% de conversión prácticamente todo el monómero se encuentra absorbido en la fase sólida, lo que provoca una caída de presión. Se permite la caída de presión hasta un cierto límite dependiendo de la temperatura, esto marca el término de la reacción. El reactor se enfría y se vacía el monómero sin reaccionar. La mezcla de agua y polímero, " slurry ", se bombea a una columna de separación a vacío en donde es calentada, flashéandose los residuos de monómero y otros volátiles. En algunos casos el reactor también puede actuar como separador. El slurry es bombeado a un contenedor a presión atmosférica donde se mezcla con otros lotes. El siguiente paso es transportarlo a una centrifuga donde se separa la mayor parte del agua, el material semiseco se hace pasar por un secador rotatorio o de cama fluidizada. Finalmente el producto seco se pasa por una serie de mallas en donde se

elimina partículas grandes, "scrap", para después ser embolsado.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de una planta de polimerización por suspensión:



En este proceso un gran número de variables deben ser cuidadosamente controladas. Las de mayor importancia son:

1.-Control de Temperatura.

La temperatura de reacción es esencial para controlar el peso molecular del polímero (al incrementarse la temperatura disminuye el peso molecular). La temperatura de reacción se encuentra entre 40 °C y 80 °C; sin embargo se prefiere conducir la reacción dentro de los límites de 50 °C y 70 °C. La temperatura debe mantenerse dentro de ± 0.5 °C.

Es imprescindible que el sistema de control de temperatura sea lo suficientemente flexible como para llevar la suspensión a la temperatura de reacción y también eliminar el calor de reacción una vez que la polimerización princi-

pia.

Un sistema normalmente utilizado es tener una bomba que circule agua a través de la chaqueta del reactor, con una válvula de control de tipo neumático para introducir agua caliente o fría dependiendo de los requerimientos del reactor. Algunos sistemas anticipan la demanda de agua caliente o fría mediante medidores de temperatura tanto en el reactor como a la salida de la chaqueta.

Debido a la naturaleza explosiva del VCM la mayor parte de los sistemas de control se basan en controles neumáticos aunque los sistemas de termopares han demostrado ser más eficaces. Desafortunadamente existe el peligro latente de fugas de monómero a los sistemas de medición.

Las plantas más modernas determinan las temperaturas, flujos de agua a través de la chaqueta y conversión mediante computadoras analógicas.

La patente belga Pat 647,821 describe el uso de un condensador de reflujo para eliminar el calor de reacción aprovechando el calor latente de vaporización del monómero.

En algunas ocasiones hacia el final de la reacción hay un repentino incremento en la velocidad de reacción, al cual se le conoce como "heat kick". En estos casos, si no se toman medidas adecuadas para controlar la temperatura la reacción podría quedar fuera de control. Si esto sucediera

debe ventearse parte del monómero y si esto no es suficiente se agrega un inhibidor de radicales libres como el estireno.

Los " heat kicks " se asocian con reactores demasiado presurizados, ciclos de trabajo cortos, bajas relaciones agua-monómero o sistemas de enfriamiento inadecuados.

2.- Presión.

La presión en el reactor debe ser lo suficientemente grande para mantener al monómero en estado líquido. Las presiones se encuentran entre 100 psig y 240 psig.

Como se mencionó anteriormente al alcanzarse aproximadamente un 70% de conversión existe una caída de presión debido a la falta de monómero libre. La presión se deja caer hasta un rango entre los 20 y 60 psig dando con esto por terminada la reacción.

3.- Ciclos de Trabajo (Tiempo de Reacción).

Un batch se deja reaccionar en circunstancias normales entre 3 y 5 horas.

4.- Catalizadores.

La siguiente tabla muestra algunos de los catalizadores usados en la polimerización de P.V.C. junto con sus vidas medias:

o

Catalizadores y Temperatura (° C) a la cual el catalizador tiene una vida media de 10 horas.

Peróxido de Sulfonil Acetil Ciclohexano.	24
Azobisisobutironitrilo.	38
Peroxidicarbonato de Diisopropilo.	49
Peróxido de 2,4-Diclorobenzoilo.	54
t-Butil peroxipivalato.	55
Peróxido de Decanoil.	62
Peróxido de Laurilo.	62
Peróxido de Pelargonoil.	62
Peróxido de Capriloil.	63
Peróxido de Propionil.	64
2,5-Dimetilhexil 2,5-Diperoxy 2-etilhexanoato.	66
Peróxido de Acetilo.	69
t-Butil Peroxy 2-Etilhexanoato.	72
Peróxido de Benzoilo.	72
Peróxido de p-Clorobenzoilo.	75
t-Butil Peroxiisobutirato.	79
Peróxido de Hidroxiheptilo.	85
Peróxido de Ciclohexanona.	91
t-Butil Peroxi Isopropil Carbonato.	98
2,5-Dimetilhexil 2,5-Diperoxi Benzoato.	100
t-Butil Peroxiacetato.	102
Di-t-Butil Diperoxi Ftalato.	105
t-Butil Feroxi benzoato.	105
Peróxido de Metil Etil Cetona.	105
n-Butil 4,4-bis (t-Butilperoxi) Valerato.	108
Peróxido de Dicumilo.	117
2,5-Dimetil 2,5-bis (t-Butilperoxi) Hexano.	119
Peróxido de Di-t-Butilo.	126
2,5-Dimetil 2,5-bis (t-Butilperoxi) 3-Hexeno.	128
2,5-Dimetilhexano 2,5-Dihidroperóxido.	154
Hidroperóxido de Alfa Cumilo.	158
Hidroperóxido de t-Butilo.	172

Fuente: Enciclopedia de P.V.C.

El catalizador de mayor uso es el peróxido de laurilo. Debido a la poca estabilidad térmica del P.V.C. se intenta tener ciclos de trabajo cortos para lo cual se utilizan catalizadores como el peróxido de caproilo, el azobisbuti-

ronitrilo, el peroxicarbonato de diisopropilo, el di-2-etilhexil peroxidicarbonato, el peróxido de sulfonil acetil ciclohexano y el peróxido de alfa-halolaurilo que brindan ciclos de trabajo más cortos que los ofrecidos por el peróxido de laurilo. Cuando se usan estos catalizadores debe tenerse, debido a su alta reactividad, un sistema de remoción de calor eficaz.

Muchos de los peróxidos mencionados en la tabla son sumamente inestables por lo que requieren de almacenaje bajo refrigeración. Dichos peróxidos se cargan al reactor acompañados de un medio inerte y en frío para evitar una detonación.

La mayor parte de los catalizadores se usan en concentraciones del 0.05% al 0.12% basado en el peso del monómero.

5.- Agentes de Suspensión y Surfactantes.

Los agentes de suspensión y surfactantes son el corazón del proceso, de ellos dependen mucho las características finales del producto.

Dentro del proceso de fabricación de P.V.C. por suspensión, este es el campo en el que se ha invertido más tiempo y dinero en investigación.

Los agentes de suspensión favoritos son moléculas poliméricas con naturaleza hidrofílica como la metil-celulo-

sa, metilcelulosa con óxido de propileno, etilcelulosa, alcohol polivinílico, copolímeros de alcohol de polivinilacetato, hidroximetilcelulosa e hidroxietilcelulosa.

Los surfactantes son usados cuando se necesitan partículas porosas con alta absorbencia de plastificante.

Frecuentemente se encuentran sistemas con agentes de suspensión y surfactantes que cumplen con la labor de producir polímeros con características específicas. A continuación se incluye una tabla con algunos ejemplos de estos sistemas.

-Eter Diglicil Bisfenol "A"-Poli(etilenglicol).- Absorbencia uniforme de plastificante a temperatura ambiente.

-Alcohol Polivinílico- Carboximetilcelulosa.-Producto que no absorbe plastificante.

-Etil Hidroxietilcelulosa- Peróxido de Alfa-Halolaurilo.- Tamaño de partícula medio de 0.5 mm y alta viscosidad.

-Acetato de Vinilo, Alcoholes Alquídicos, Productos Condensados de Oxido de Etileno y Alquil Fenoles.-Bajo contenido de ojos de pescado.

-Metilcelulosa o Hidroximetilcelulosa o Etilcelulosa.-Bajo contenido de ojos de pescado y excelente claridad.

-Alcohol Polivinílico- Peróxido de Alfa-Clorocaproilo disuelto en Benceno.- Resinas de alta viscosidad y alta resistencia térmica.

-Acetato de Vinilo, Copolímeros de Alcoholes Alifáticos, Productos Condensados de Polietilenglicol y Nonil Fenol.-
Partículas porosas con tamaño uniforme.

Los límites de concentración de los agentes de suspensión van del 0.04% al 0.07% relativo al peso del monómero.

6.- Relación Agua-Monómero.

La relación agua-monómero es importante por diversas razones:

- El tamaño de partícula depende de esta relación.
- Los sistemas de suspensión son sensibles a esta variable.
- La densidad del producto final esta relacionada a las cantidades relativas de agua y monómero.
- El agua es un buen medio para absorber el calor de reacción, una relación agua-monómero baja puede dificultar el control de temperatura.
- Para producir partículas de alta porosidad una relación alta agua-monómero es imperativa.

La mayor parte de los materiales se fabrican con relaciones agua-monómero entre 1.3 y 2.0.

7.- Calidad del Agua.

Normalmente se utiliza agua deionizada ya que altas concentraciones iónicas pueden afectar el tamaño de partícula, la distribución de tamaños o hasta la cinética de reac-

ción. Altos niveles de calidad en el agua son indispensables.

B.- Eliminación de Monómero sin Reaccionar.

Cuando se presenta la caída de presión en el reactor es necesario remover el monómero que ha quedado sin reaccionar. Si se quieren partículas de alta porosidad se elimina el monómero rápidamente con vacío y altas temperaturas (90 C y 27 in de vacío) en una columna de separación. Si la porosidad no es importante la separación se lleva a cabo de una forma más lenta ya sea en la columna o en el mismo reactor.

9.- Limpieza del Reactor.

Antes de cada batch el reactor debe ser lavado. El trabajar con un reactor limpio elimina pérdidas en la productividad. De forma opcional, para asegurar contra la acumulación de polímero en las superficies internas del reactor, agitador y deflectores, estas partes pueden recubrirse con polietilenimina, aminas poliaromáticas o fenoles polihídricos.

10.- Agitación.

La agitación del sistema es otra variable de suma relevancia. La agitación es la responsable de varias características de partícula como el tamaño de la misma, entre otras. Si la suspensión no es agitada correctamente las partículas tienden a aglomerarse.

No existe una metodología científica acertada para determinar la velocidad de agitación y cada productor empíricamente ha llegado a definir las velocidades ideales de agitación. Normalmente esta operación sigue un itinerario de acuerdo al grado de conversión de la reacción.

La presencia de deflectores mejora la distribución de partículas, las cuales varían en densidad a medida que la conversión avanza.

La agitación es también trascendental en la transferencia de calor, sobre todo en ciclos de trabajo cortos. Sin una agitación apropiada pueden aparecer "heat kicks" o perfiles de temperatura irregulares en el reactor.

11.- Secado.

El proceso de secado comienza con la centrifugación, donde se elimina la humedad hasta un contenido aproximado de 20% de agua. De aquí se traslada a un secador donde se pasa aire caliente a unos 65 C-100 C. Dentro del secador existen

bolsas en continuo movimiento palpitante que depositan la resina seca. A la salida del secador la temperatura del aire disminuye a 60 C-70 C. La resina lista para empacarse contiene del 0.3% al 0.4% de agua. También se utilizan en esta fase secadores de cama fluidizada.

Medidas de Seguridad en el Proceso de Polimerización de P.V.C.

Uno de los principales problemas asociados con la polimerización del P.V.C. es el manejo del cloruro de vinilo, líquido a presión con un punto de ebullición muy bajo (-13.4 C).

El almacenaje del VCM se prefiere en tanques enterrados para evitar fluctuaciones de presión y temperatura. Cualquier tanque que contenga monómero debe contar con discos de ruptura y válvulas de alivio, estas últimas para ventear solo el VCM necesario para estabilizar la presión.

El cloruro de vinilo debe mantenerse alejado del cobre o de sus aleaciones ya que los compuestos orgánicos de cobre pueden detonar violentamente el VCM.

El cloruro de vinilo es más pesado que el aire y por lo tanto difícil de remover sin ventilación forzada o cortinas de agua. Si se hace necesario ventear monómero, esta operación se llevara a cabo sin que el VCM tenga acceso a áreas peligrosas tales como hornos, calderas, motores eléctricos, etc.

Las regulaciones norteamericanas, en especial las de la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) y de la Environmental Protection Agency (EPA), establecen que las concentraciones de exposición al cloruro de vinilo no serán mayores a 1 ppm para periodos de 8 horas y de 5 ppm para periodos máximos de 15 minutos.

Cuando una persona tenga que penetrar a algún reactor para su limpieza, ésta deberá utilizar una máscara con abastecimiento externo de aire y un arnés para poder sacarla en caso de emergencia. Al llevarse a cabo esta operación todos los switches eléctricos serán bajados.

Los empaques de las bombas deben ser revisados periódicamente ya que una detonación puede producirse por introducción de aire en las tuberías.

Comparación entre los Procesos de Masa y Suspensión.

Mediante la polimerización por masa se producen resinas de alta calidad y pocas impurezas, además de no necesitar agua de proceso; sin embargo, el proceso por suspensión ofrece una amplia flexibilidad: se puede fabricar resina fina o gruesa, que absorba o no plastificante, resina de diferentes densidades, y con pequeñas modificaciones a las instalaciones se pueden obtener copolímeros. En un mercado que demanda resinas con una diversidad de características.

éstas son ventajas que inclinan la balanza claramente en favor del proceso de polimerización por suspensión.

Consideraciones Económicas.

En las siguientes dos tablas se hace una comparación entre el proceso de masa y suspensión. En la primera de ellas se muestra el costo de las materias primas y en la segunda el capital inicial de inversión y el costo de producción de ambos procesos.

Costo de Materias Primas (cents/Kg de P.U.C)

Material.	Método de Polimerización.	
	Masa	Suspensión
Cloruro de Vinilo	27.50	27.50
Cloruro de Vinilo (Reciclado)	2.00	2.00
Iniciador	2.50	1.25
Agente de Suspensión	-	1.50
Total	32.00	32.22

Costo Total de Producción (Planta de 45,000 ton/año). Método de Polimerización.

	Método de Polimerización.	
	Masa	Suspensión
Capital Inicial (Millones de Dólares)	9.8	12.5
	Costo (cents/Kg de P.U.C.)	
Amortización	0.60	0.78
Seguro	0.03	0.03
Servicios:		
Electricidad	0.01	1.05
Vapor	0.09	0.51
Agua	-	0.09
Mano de Obra	2.74	2.95
Materias Primas	32.00	32.33
Total	36.33	37.74

Los datos presentados son estimados elaborados a partir de información obtenida del Chemical Economics Handbook.

Los costos de producción no incluyen los gastos de investigación y ventas.

La automatización de la planta elevaría sustancialmente el capital de inversión inicial pero disminuiría el costo de producción. Aun así el costo de producción del P.V.C. continúa siendo controlado por el precio del monómero.

El capital de inversión inicial es 27.55% mayor en el proceso por suspensión, la diferencia en el costo de producción no es muy grande, 3.82% mayor para la polimerización por suspensión.

Después de analizar estos números la flexibilidad de una planta de polimerización por suspensión sigue haciendo a este proceso el más atractivo para los fines que el presente trabajo atiende.

6.-TAMAÑO Y LOCALIZACION DE LA PLANTA

6.1. Tamaño de la Planta.

De acuerdo a estudios realizados por el Chemical Economics Handbook, una planta de P.V.C. con una producción por debajo de las 45,000 ton/año no es redituable económicamente.

Ahora bien, las compañías mexicanas de P.V.C. se ven incapaces de surtir pedidos, especialmente a Sudamérica, por falta de producto en inventario (stock). Entre Policyd y Grupo Primex, México pierde pedidos de alrededor de 4,000 a 5,000 ton/mes a las que se les puede añadir 1,000 ton/mes que Polimeros de México tampoco puede abastecer al mercado externo. Sumando estas cantidades y llevándolas a un periodo anualizado tenemos un mercado desatendido de entre 60,000 y 70,000 ton.

El producto en stock que optimiza los costos de inventariado es de aproximadamente 30 días de exportación, es decir, de 1,500 a 2,000 ton.

Tomando en cuenta estas cifras y considerando una utilización del 80% de la capacidad instalada, el tamaño de planta que se aconseja es de entre 85,000 y 90,000 ton/año.

6.2 Localización de la Planta.

Para poder determinar la ubicación de una planta se deben considerar factores como la mano de obra disponible, vivienda, transporte, instituciones financieras, recursos energéticos, agua, incentivos fiscales, disponibilidad de transportación barata, reglamentación local de control de contaminación, etc.

Tomando en cuenta éstos factores se analizaron como posibilidades a Veracruz, Ver. y Altamira, Tamps. Veracruz era fuerte candidato debido a su cercanía al complejo de Pajaritos, Ver. donde PEMEX producía V.C.M., a ser uno de los puertos más importantes de la república y a la infraestructura ya existente en la zona; pero los eventos de Abril de 1991 en los que explotó la antes mencionada planta de V.C.M., inclinaron la balanza hacia la segunda opción, el complejo industrial de Altamira.

La razón de mayor peso por la que se sugiere a Altamira como emplazamiento de la planta es que el V.C.M. que PEMEX ha dejado de producir está siendo importado y el puerto de descarga es precisamente Altamira. Por otra parte, Altamira es un puerto en el que ya existen los servicios de agua y electricidad que una planta industrial requiere.

Ya que la producción se destinará a la exportación es crucial que el punto de embarque se encuentre lo más al Norte posible ya que los barcos que proporcionan la transportación llegan ya con carga a nuestro país y podría darse el caso de que los buques no tuvieran cupo para nuestro producto y vernos imposibilitados para entregar la mercancía al cliente.

Altamira se localiza a 24 Km de las ciudades de Tampico y Ciudad Madero. Estas tres poblaciones se caracterizan por albergar un alto número de industrias relacionadas con la petroquímica básica o secundaria.

En esta región existe una población económicamente activa entre los 20 y los 39 años de 101,768 personas de las cuales 4,243 se encuentran desocupadas.

A continuación se incluyen dos tablas en las que se muestra la población dividida por ocupación y por sector de actividad.

Tabla I

OCUPACION DE LA POBLACION ENTRE LOS 20 Y LOS 39 ANOS

<u>Ocupación</u>	<u>Altamira</u>	<u>Cd. Madero</u>	<u>Tampico</u>	<u>Total</u>
Profesionales	227	3,005	4,222	7,454
Técnicos	623	2,215	3,830	6,668
Inspectores y Supervisores	267	1,382	1,420	3,069

<u>Ocupación</u>	<u>Altamira</u>	<u>Cd. Madero</u>	<u>Tampico</u>	<u>Total</u>
Obreros	5,625	9,617	15,977	31,219
Operadores de Maquinaria Fija	713	1,379	1,519	3,611

Fuente XI Censo General de Población y Vivienda, 1990

Tabla II

OCUPACION DE LA POBLACION POR SECTOR DE ACTIVIDAD

<u>Sector de Actividad</u>	<u>Altamira</u>	<u>Cd. Madero</u>	<u>Tampico</u>	<u>Total</u>
Extracción de Petróleo y Gas	653	8,806	3,500	12,959
Industria Manufacturera	4,022	5,063	11,293	20,378
Electricidad y Agua	556	553	1,413	2,502
Servicios Profesionales y Técnicos	217	1,011	2,290	3,518

Fuente XI Censo General de Población y Vivienda, 1990

La mano de obra en la región es barata tal y como lo indican las cifras de la tabla III.

Tabla III

INGRESO PROMEDIO EN LAS POBLACIONES DE ALTAMIRA, CD. MADERO Y TAMPICO POR SECTOR DE ACTIVIDAD (INDICADO EN SALARIOS MINIMOS)

<u>Sector de Actividad</u>	<u>Ingreso en Salarios Mínimos</u>
Extracción de Petróleo y Gas	3.96
Industria Manufacturera	2.27

<u>Sector de Actividad</u>	<u>Ingreso en Salarios Míimos</u>
Electricidad y Agua	3.93
Servicios Profesionales y Técnicos	3.16

Fuente XI Censo de Población y Vivienda, 1990

La población (de entre 20 y 39 años) en estas tres localidades tiene un alto nivel educativo: el 85.53% terminó la educación primaria, el 62.71% finalizó la educación secundaria, el 28.60% acabó el bachillerato o vocacional, el 23.14% se encuentra estudiando o estudió a nivel superior y por último el 1.47% tiene estudios de posgrado.

Tomando en cuenta que es imposible determinar si PEMEX construirá una nueva planta de V.C.M. y en caso de hacerlo donde podría ubicar ésta y considerando la información antes presentada, la mejor opción para localizar la planta de P.V.C. es Altamira, Tamps.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En la actualidad es difícil pensar en un mundo sin plásticos, sus extraordinarias propiedades hacen posible la fabricación de una gran diversidad de productos que van desde juguetes hasta partes de maquinaria pesada.

Entre los plásticos, el P.V.C. es de suma importancia tanto técnica como económicamente, es el tercer plástico en ventas en todo el mundo sólo atrás del polietileno de alta y baja densidad. El P.V.C. es un plástico de alta preferencia en la industria por propiedades tales como la buena resistencia al intemperismo, autoextinguibilidad a la flama, transparencia, alta resistencia química a los ácidos y álcalis, barrera a gases, etc.

Existen cuatro tecnologías para producir P.V.C. :
Polimerización por Solución, Emulsión, Masa y Suspensión.

La polimerización por solución tiene elevadísimos costos de producción y es una tecnología no del todo desarrollada.

La polimerización por emulsión produce resinas con tamaños de partícula muy finos, por lo que sus usos se reducen a látices cuyo mercado es mínimo comparado con el de otras aplicaciones.

Por medio del proceso por masa se fabrica resina de alta pureza además de no necesitar agua de proceso; sin embargo, la polimerización por suspensión ofrece una mayor flexibilidad en las propiedades de partícula de la resina y

con modificaciones mínimas se pueden producir copolímeros. El capital necesario para construir una planta de polimerización por suspensión es aproximadamente 30% mayor que el que se invertiría en una planta de polimerización por masa y el costo de producción es también 4% mayor en el caso de la polimerización por suspensión. Pero la capacidad de fabricar resinas con una amplia gama de propiedades de partícula tarde o temprano hace más redituable la tecnología por suspensión.

El consumo de P.V.C. en México es estable pero con crecimientos muy pequeños (2.5% en 1993) y se espera que mantenga ésta tendencia en años venideros.

Los productores mexicanos, especialmente Primex y Polycyd destinan gran parte de su producción a la exportación siendo los principales destinos Estados Unidos, Europa, el Sureste Asiático y la Cuenca del Pacífico.

Las exportaciones a Estados Unidos no se espera que crezcan mucho debido al TLC; sin embargo, se debe tomar en cuenta que se eliminará el arancel de 10% que se le aplica a la resina mexicana. Canadá es también un mercado con pocas expectativas en el futuro.

Con los tratados de libre comercio que México está estableciendo con Chile, Colombia y Venezuela, Sudamérica se levanta como una zona promisoría en los próximos años para México.

Europa y el Lejano Oriente, sin duda alguna, seguirán siendo los destinos principales de la resina mexicana.

Ahora bien, la industria mexicana del P.V.C. se ve en la actualidad en graves problemas económicos debido a los bajísimos precios internacionales marcados por la resina norteamericana. Esta situación difícilmente mejorará si las compañías de Estados Unidos deciden, ante el TLC, introducir su resina en México y tomar a éste como trampolín para sus exportaciones.

Como mejor opción para la construcción de una planta de P.V.C. se recomienda el puerto industrial de Altamira, Tamps. por gozar de los servicios necesarios, por contar con una población económicamente activa relacionada con la petroquímica básica o secundaria, por recibirse en éste puerto el VCM de importación y por ser un punto estratégico como ruta de transporte marítimo.

La capacidad de una planta se recomienda se encuentre entre las 85,000 y las 100,000 ton/año. Por debajo de esta capacidad la producción se hace irredituable, mientras que si se produce por arriba dicha cantidad los excedentes serán sumamente difíciles de colocar en el mercado.

Finalmente podemos concluir que el mercado de P.V.C. continuará creciendo en los próximos años en todo el mundo, especialmente en los sectores de la construcción y de las aplicaciones eléctricas, pero los bajos precios y la im-

posibilidad de integrarse verticalmente hacia arriba hace que sólo las compañías con altos volúmenes de producción ó que estén integradas puedan tener ganancias o planear proyectos de expansión.

APENDICE 1.

A) Plastificantes.

Los plastificantes se añaden para mejorar la fluidez, facilitar el procesado y reducir la fragilidad del P.V.C. , ésto se logra reduciendo la temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura ambiental convirtiendo al P.V.C. de un sólido vítreo, duro y frágil a un material blando, flexible y tenaz. La elección del plastificante es muy importante ya que de él depende la compatibilidad de los demás aditivos.

Los plastificantes son solvente no volátiles o poco volátiles que debido a su gran tamaño molecular no disuelven al P.V.C. a temperatura ambiente pero pueden ser incorporados al polímero a altas temperaturas para dar mezclas estables a temperatura ambiente (plastisoles). Algunos plastificantes se volatilizan durante el proceso, a éstos se les conoce como organosoles.

Para materiales semirrígidos se utilizan de 15 a 25 phr (partes por 100 de resina) y de 25 a 100 phr para productos flexibles. Para la mayor parte de las formulaciones de P.V.C. flexible se usan de 40 a 60 phr.

Los plastificantes se dividen, de acuerdo a su poder de disolución, en plastificantes primarios, aquellos que solubilizan fácilmente al polímero y plastificantes secundarios, que tienen poca o ninguna afinidad con el plástico pero son

usados por su bajo costo o para mejorar alguna propiedad en particular.

Los requisitos básicos de un plastificante para P.V.C. son :

- 1.- Buena compatibilidad a temperaturas de operación de otra forma hay transferencia de plastificante a la superficie del producto (exudación).
- 2.- Permanencia, para lo que se requiere una presión de vapor pequeña y una baja velocidad de difusión del plastificante en el polímero. Ambas se logran utilizando plastificantes de alto peso molecular.
- 3.- El plastificante debe ser miscible en el P.V.C.
- 4.- Buena resistencia a la migración cuando entre en contacto con otros aditivos.
- 5.- Buena resistencia a la extracción por sustancias como aceites, grasas, agua, detergentes, etc.
- 6.- Buena estabilidad al calor y a la luz.
- 7.- Ebulir por arriba de los 400 ° C a presión atmosférica.
- 8.- No flamable.
- 9.- Bajo costo.

El siguiente cuadro incluye a los principales grupos de plastificantes, los compuestos más usados en P.V.C. y las características particulares de cada grupo.

Tipo de Plastificante	Compuestos Típicos	Características
Ftalatos	Di-octil Ftalato (DOP) Di-isooctil Ftalato (DIOP) Dimetil Ftalato Di-isobutil Ftalato	Plastificantes de mayor uso (64.1% del consumo). Buen poder de mezcla. Poca volatilidad. Bajo Costo. Buena Estabilidad Química.
Aceites Epoxidados	Aceite de soya epoxidado Triglicéridos epoxidados 2-etilhexil epoxi ftalato Aceite de linaza epoxidado	Buena estabilidad térmica y a la foto-degradación. Se usan sinérgicamente con otros plastificantes. No se añaden en cantidades mayores al 10% del total del plastificante. Alto costo. Limitada miscibilidad en P.V.C. Buena resistencia a la migración.
Trimelitados	n-octil n-decil trimelitato Trioctil melitato Tri-isodecil trimelitato	Alto Costo. Buenas propiedades dieléctricas. Baja volatilidad. Baja migración.
Fosfatos	Trioresil fosfato Tri-octil fosfato Cresil difenil fosfato Octil difenil fosfato	Retardantes a la flama. Buena plastificación.
Eteres de Ácidos Carboxílicos Alifáticos	Dibutil sebacato Di-octil adipato Di-isopropil adipato Tridecil adipato Di-2-etil azelato Di-hexil azelato	Buenas propiedades a bajas temperaturas. Alto costo.
Derivados de Glicoles	Polietilenglicol Trietilenglicol triacetato	Usados también como lubricantes y agentes desmoldantes.
Hidrocarburos y Derivados de Hidrocarburos	Fracciones de petróleo	Plastificantes secundarios.

Tipo de Plastificante	Compuestos típicos	Características
Citratos	Acetil tributil citrato Tri-ciclohexil citrato	Se usan para envolturas de alimentos. Alto Costo.
Poliésteres	-	Poca volatilidad. Buena resistencia a la migración y extracción. Pobres propiedades a bajas temperaturas. Se usan sinérgicamente con ftalatos.

De los 523 diferentes tipos de plastificantes, el P.V.C. es compatible con 401 (76%).

Sin duda alguna el DOP, el DIOP y el tricresil fosfato son los plastificantes por excelencia para el P.V.C. El DOP y el DIOP cuentan con una tercera parte del mercado de los plastificantes.

Se ha descubierto que el DOP es carcinógeno en animales. Aunque no existe evidencia de que provoque los mismos síntomas en humanos ya se están realizando investigaciones para sustituir al DOP como plastificante.

El tricresil fosfato fue alguna vez el plastificante más usado pero su carácter tóxico le hizo perder terreno frente a los ftalatos; sin embargo, todavía es utilizado por sus características como retardante a la flama.

Los últimos desarrollos se están dirigiendo hacia los trimelitatos que en un futuro podrán sustituir a diversos plastificantes.

B) Estabilizadores a la Luz.

La susceptibilidad del P.V.C. a descomponerse con la luz U.V. hace necesario el uso de sustancias que eviten la fotodegradación.

Los estabilizadores de luz U.V. actúan de dos diferentes formas: una, absorbiendo la luz U.V. y retransmitiéndola a longitudes de onda que no degraden el material; y segundo, desactivando los radicales libres formados por la excitación del P.V.C.

Estabilizadores usados en P.V.C.

- Polvos y líquidos de cadmio-zinc.
- Carbonato de bario.
- Complejo de silicato de bario.
- Bario-sodio orgánico.
- Polvos y líquidos de bario-zinc.
- Cadmio-estaño.
- Polvos de calcio.
- Aceites epoxidados.
- Compuestos de nitrógeno.
- Fenoles.
- Fosfitos.
- Compuestos de estaño-zinc.
- Ureas.

- Benzofenonas.
- Benzotriazoles.
- Aminas.
- Salicilatos.
- Benzoatos.
- Negro de Humo.
- Dióxido de titanio.

Para aplicaciones como envolturas y recipientes para alimentos y tubería el uso de compuestos de plomo, cadmio y bario están prohibidos debido a su toxicidad; en su lugar se utilizan epóxidos de calcio-zinc y algunos compuestos de di-octil estaño.

C) Lubricantes.

Se usan para mejorar las características de flujo del plástico y reducir la adhesión a las paredes de la maquinaria.

Los lubricantes se clasifican de acuerdo a su solubilidad y dispersión en la resina como: internos y externos. Los lubricantes internos propician el deslizamiento de una molécula sobre otra, en tanto que el lubricante externo produce el deslizamiento del polímero sobre las paredes del equipo. Los lubricantes externos pueden mezclarse con el F.V.C. o aplicarse a la superficie del equipo de proceso.

Entre los lubricantes internos se encuentran:

- Estearatos de calcio, plomo y zinc.
- Esteres de glicerina.
- Esteres de ácidos grasos.
- Amidas de ácidos grasos.
- Ácidos grasos.

Como lubricantes externos tenemos:

- Ceras parafínicas.
- Ceras de petróleo.
- Ceras polietilénicas.
- Mezclas de ceras.

En algunas ocasiones los lubricantes internos y externos se usan simultáneamente.

El nivel de lubricación debe ser cuidado ya que una baja lubricación puede producir un incremento en la viscosidad del material fluido lo que nos causaría un problema de degradación por el paso lento de la resina a través del equipo o por la adhesión a las paredes metálicas. Por otro lado si se lubrica en exceso se provoca fragilidad, disminución de las propiedades mecánicas y exudación.

Los lubricantes se usan en concentraciones que van de 0.1 a 4 pnr.

D) Cargas y Refuerzos.

Las cargas son sólidos inertes utilizados para disminuir el costo del producto. Algunas de éstas sustancias confieren características como la opacidad, propiedades dieléctricas, resistencia a la luz U.V., aumento de la dureza, control de brillo. También pueden afectar la resistencia a la tensión, la resistencia química, la densidad, la resistencia al intemperismo, etc.

En el P.V.C. el carbonato de calcio, tanto precipitado como micronizado, es ampliamente usado, le confiere blancura, suavidad, resistencia al calor y control de la distribución de tamaños de partícula. En grados finos proporciona resistencia al impacto. Puede cargarse a concentraciones de hasta 200 phr. Otras cargas de importancia son las arcillas calcinadas, mica y talco.

La arcilla es la segunda carga de mayor uso. Incrementa la resistencia a la tensión y a la compresión y mejora las propiedades dieléctricas del F.V.C.; sin embargo, su tendencia a absorber aceites limita su uso.

El talco aumenta el módulo de flexión y la temperatura de deflexión.

La mica se usa en aplicaciones eléctricas debido a su alta constante dieléctrica.

El trihidrato de alúmina y el óxido de antimonio además de servir como cargas son efectivos retardantes a la flama.

El negro de humo también actúa como colorante, estabilizador a la luz U.V. y aislante eléctrico. Las harinas de cáscara de nuez mejoran la resistencia a la humedad.

De acuerdo al tipo de compuesto las concentraciones varían de 1 a más de 100 phr. Las cargas se utilizan en menor proporción en el P.V.C. rígido que en el flexible.

Los refuerzos son sustancias que al igual que las cargas se utilizan en altas concentraciones y son de bajo costo pero la finalidad de los refuerzos es el aumento en general de las propiedades mecánicas. La fibra de vidrio y los asbestos liderean este mercado.

La fibra de vidrio aumenta el módulo de elasticidad y proporciona excelente resistencia química a un costo moderado.

Asbesto es el nombre genérico para los silicatos de magnesio hidratados. Los asbestos reducen el encogimiento de moldeo, mejora la resistencia al impacto, dureza y propiedades térmicas. Debido al descubrimiento de que los asbestos son agentes carcinógenos su uso ha decrecido de manera importante.

Como sustituto de los asbestos ha surgido la wollastonita, metasilicato de calcio. La wollastonita es un mineral blanco que puede servir como pigmento, aumenta la resisten

cia a la flexión y a la tensión, mejora la estabilidad dimensional y disminuye la absorción de agua.

Recientemente se han desarrollado fibras de grafito y boro para usos en los que se requiere una resistencia a la flexión y a la tensión que excede a la impartida por la fibra de vidrio. Su costo es muy alto.

Entre otros refuerzos se cuentan el algodón, las fibras sintéticas y los filamentos metálicos.

E) Pigmentos, Colorantes y Preparaciones.

Los compuestos que se utilizan para dar color a los plásticos se pueden dividir en:

- Pigmentos: Orgánicos e Inorgánicos.
- Colorantes.
- Preparaciones: Polvos, Concentrados, Pastas Líquidas, Polvos Predispersables, Pastas Sólidas.

Los pigmentos son sustancias insolubles en medios orgánicos mientras que los colorantes son sustancias orgánicas solubles.

Las preparaciones son combinaciones de diversos pigmentos o colorantes para conseguir tonalidades especiales o propiedades particulares.

Las características que se requieren de un pigmento, colorante o preparación son:

- Resistencia al intemperismo.
- Resistencia a la temperatura.
- Resistencia a la migración.

El P.V.C. tiene una particular facilidad para pigmentarse de aquí que pueda hacerse con colorantes, pigmentos o preparaciones.

Los colorantes de uso común incluyen al dióxido de titanio y el sulfato de bario que brindan blancos, los azules y verdes con ftalocianina, los rojos y magenta de la quinaeridona, los naranjas de los molibdatos, los rojos y amarillos del cadmio, los amarillos de óxido férrico y crómico, el negro de humo, los efectos metálicos plateados del aluminio y los efectos perlados del carbonato de plomo y la mica.

F) Modificadores de Flujo.

Las principales funciones de los modificadores de flujo o ayudas de proceso y depresores de viscosidad son mejorar la procesabilidad del P.V.C. rígido, disminuir la viscosidad del fundido, lograr una fusión más completa y rápida y reducir los defectos superficiales.

Los modificadores de flujo más importantes son los polímeros acrílicos y de estireno-butadieno. Se añaden en cantidades pequeñas (0.5 a 3 phr) debido a su alto costo.

Las principales características de los modificadores de flujo son:

- Al disminuir la viscosidad de la resina aumentar la velocidad de proceso.
- Reducir la temperatura de fusión y de transición vítrea.
- Impartir buena apariencia al producto terminado.
- Ayudan al posterior moldeo de los productos.
- Afectan la resistencia química y la temperatura de deformación.

6) Modificadores de Impacto.

Estos aditivos aumentan la resistencia al impacto del P.V.C. sin impartir blandura o flexibilidad. Para obtener óptimos resultados se usan de 15 a 20 phr.

A continuación se muestran los más importantes modificadores de impacto:

- Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).
- Metacrilato-butadieno-estireno (MBS).
- Acrílicos.
- Etilenvinil acetato (EVA).
- Polietileno clorado (CPE).

H) Retardantes a la Flama.

Aunque el P.V.C. es autoextinguible debido a su contenido de cloro, la introducción de aditivos afecta la propagación de la flama de aquí que deban usarse retardantes.

Cuando se tienen concentraciones de plastificante flamable mayores al 25% se hacen necesarios los retardantes a la flama.

Los retardantes a la flama actúan:

- Eliminando los combustibles volátiles.
- Creando una barrera térmica.
- Neutralizando las reacciones en cadena en la flama mediante la adición de aceptores de radicales libres.
- Interfiriendo con las reacciones de combustión.
- Reduciendo la transferencia de calor de la flama al plástico.
- Disminuyendo la velocidad de difusión de los productos de la pirólisis para que no alcancen a la flama.

Los retardantes a la flama se pueden dividir en : inorgánicos, orgánicos no reactivos y orgánicos reactivos. Los retardantes a la flama reactivos se incorporan al P.V.C. durante la polimerización formando parte de la matriz polimérica en tanto que los no reactivos se añaden después de la polimerización. Estos últimos presentan problemas de migración.

Los retardantes a la flama más comunes son los inorgánicos por ser relativamente baratos, son usados como cargas y actúan sinérgicamente con el cloro del P.V.C. Los orgánicos no reactivos tienen la ventaja de ser compatibles con el P.V.C. Por otra parte, los orgánicos reactivos son los más eficaces pero por tener que ser copolimerizados resulta más costoso y los ciclos de producción son más largos.

Los ésteres de fosfato ocupan el 50% del volumen de los retardantes a la flama utilizados en P.V.C. lo cual se debe a su uso también como plastificantes.

De especial importancia para el P.V.C. son los compuestos clorados: parafinas cloradas de cadena larga (10 a 30 carbonos) con contenido de cloro del 20 al 70%. Sin embargo, ofrecen poca resistencia al calor por lo que no se recomiendan para temperaturas de proceso mayores a 220 °C.

Otros retardantes a la flama de uso general son el trihidrato de alúmina y el trióxido de antimonio.

Las concentraciones de retardante a la flama alcanzan las 40 phr.

1) Espumantes.

Los agentes espumantes son utilizados en la fabricación de espumas de P.V.C. Pueden ser agentes físicos, líquidos o gases que espuman al entrar en contacto con la resina o ante

la aplicación de calor; o agentes químicos, sólidos o líquidos que mediante una reacción química liberan gas. Para P.V.C. flexible se usan agentes químicos y para P.V.C. rígido agentes físicos.

Los agentes espumantes físicos típicos para P.V.C. son el aire, dióxido de carbono y nitrógeno. Agentes espumantes químicos son los compuestos azo que liberan nitrógeno al ser expuestos al calor. Uno de los agentes químicos inorgánicos más usados es el bicarbonato de amonio. En plastisoles son usados los hidrocarburos alifáticos fluorados, tricloroetileno y ciclohexano.

J) Antioxidantes.

Su objetivo es impedir la oxidación producida por el oxígeno y el ozono que afectan las propiedades mecánicas del P.V.C.

Los antioxidantes trabajan de dos formas distintas: se oxidan antes de que lo haga el P.V.C. o se combinan con el polímero oxidado para dar un producto estable.

Los antioxidantes más comunes son los fenoles alquilados, bisfenoles, aminas aromáticas, productos de condensación de aminas, aminofenoles con aldehídos, cetonas, compuestos de azufre y fosfitos orgánicos.

K) Antiestáticos.

Eliminan la energía electrostática que se acumula en la superficie del producto. Es necesario eliminar este tipo de electricidad ya que es motivo de riesgo en la prevención de incendios y explosiones.

Los antiestáticos más comunes en la formulación de P.V.C. son las aminas y compuestos cuaternarios de amonio.

L) Preservativos.

Los preservativos previenen la degradación biológica de los plásticos por microorganismos. Estos rompen las cadenas carbonadas mediante reacciones enzimáticas. El P.V.C. es altamente susceptible a la biodegradación por el tipo de aditivos que utiliza.

M) Estabilizadores al Calor.

El objetivo de los estabilizadores al calor es el neutralizar el HCl desprendido durante el proceso de degradación térmica previniendo así el cambio de coloración del material. Se usan de 2 a 4 phr dentro de las formulaciones.

Las características del estabilizador ideal son:

- Debe ser receptor de HCl.
- Los productos que se formen al reaccionar con HCl deben

ser insolubles.

- No presentar problemas de coloración, ser inodoros y resistentes al agua.
- No presentar problemas de compatibilidad.
- Deben ser antioxidantes para inhibir la formación de grupos carbonilo.
- Que puedan utilizarse en pequeñas cantidades.
- No ser demasiado caros.

Los estabilizadores al calor se basan en sales metálicas de ácidos inorgánicos, ácidos inorgánicos, fenoles, organometálicos de estaño y antimonio, compuestos epóxicos y fosfatos. Generalmente se usan combinados para obtener buenos resultados.

Proveedores de Aditivos para P.V.C.

Plastificantes.

Plastificantes Primarios:

- Aldeva S.A.
- Celanese Mexicana, S.A.
- Egon Meyer, S.A.
- Especialidades Industriales y Químicas, S.A. de C.V.
- Grupo Primex, S.A. de C.V.
- Industria Química Delgar, S.A.
- Nil, S.A. de C.V.
- Reichold Química de México, S.A.
- Síntesis Orgánicas, S.A. de C.V.

Plastificantes Secundarios:

- Aceites Polimerizados, S.A. de C.V.
- Argus Química Mexicana, S.A. de C.V.
- Plasticlor, S.A. de C.V.
- Resinas y Materiales, S.A. de C.V.
- Rohm and Hass de México, S.A. de C.V.

Estabilizadores al Calor.

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

Lubricantes.

- Argus Química Mexicana, S.A. de C.V.
- Derivados Metal Orgánicos, S.A.
- Ferro Mexicana, S.A. de C.V.
- Gardhol, S.A.

- Indepol.
- Nil, S.A. de C.V.
- Química Henkel, S.A. de C.V.
- Química Hoechst de México, S.A. de C.V.

Cargas.

- CO2 de México, S.A. de C.V.
- González Cano y Cía, S.A. de C.V.
- Liquid Carbonic de México, S.A. de C.V.
- Productos Industriales Mexicanos, S.A.
- Solventes y Productos Químicos, S.A. de C.V.

Pigmentos.

- Ciba-Geigy Mexicana, S.A. de C.V.
- Colorquím, S.A. de C.V.
- Complementos Químicos, S.A.
- Concentrados Plásticos, S.A.
- Ferro Mexicana, S.A. de C.V.
- Hexaquimia, S.A. de C.V.
- Pigmentos para la Industria del Plástico, S.A.
- Pigmentos Poli-Kron, S.A.
- Pigmentos y Óxidos, S.A.
- Pigmentos y Productos Químicos, S.A. de C.V.
- Química Hoechst de México, S.A. de C.V.

Modificadores de Flujo.

Ayudas de Proceso:

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

Depresores de Viscosidad:

- Argus Química Mexicana, S.A. de C.V.
- Ciba-Geigy Mexicana, S.A. de C.V.
- Cyanamid de México, S.A. de C.V.
- Dow Chemical Mexicana, S.A. de C.V.
- I.C.I. de México, S.A. de C.V.
- Gemisa, S.A. de C.V.
- Química Henkel, S.A. de C.V.

Modificadores de Impacto.

- Garca Cano y Cfa, S.A. de C.V.
- Industrias Resistol, S.A.
- Kaneka America Co. (U.S.A.).
- México Marubeni.
- Kurehaka N.Y. (U.S.A.).
- Rohm and Hass de México, S.A. de C.V.

Estabilizadores a la Luz Ultravioleta.

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

Espumantes.

- Compañía Mexicana Ameyal, S.A.
- Concentricel, S.A.
- Micro, S.A.
- Quimica Heterocflica Mexicana, S.A. de C.V.

Retardantes a la Flama.

- Celanese Mexicana, S.A.
- Ferro Mexicana, S.A. de C.V.

Antioxidantes.

- Argus Quimica Mexicana, S.A. de C.V.
- Compañía Mexicana Ameyal, S.A.
- Ciba-Geigy Mexicana, S.A. de C.V.
- Cyanamid de México, S.A. de C.V.
- Esquim, S.A. de C.V.
- Ferro Mexicana, S.A. de C.V.
- Reel Quimica, S.A.

Antiestéticos.

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

APENDICE 2

A) Extrusión.

En el proceso de extrusión el plástico se introduce a la tolva de alimentación de donde por gravedad cae a una cavidad llamada cañón ó barril que posee un husillo que es el encargado de transportar la resina a través de la extrusora. En la zona de compresión el plástico se compacta, se funde por aplicación de calor y por fricción; y se forma una corriente continua de polímero fundido. En la zona de dosificación el husillo contribuye a uniformar la velocidad de flujo y se crea suficiente presión para que la resina pueda seguir viajando hasta llegar al dado, el cual da al flujo fundido una determinada configuración que se vuelve permanente al ser enfriada la masa fundida.

La extrusora posee una válvula de ventilación que puede abrirse o conectarse a una bomba de vacío para eliminar los volátiles del fundido y evitar la formación de burbujas.

Existen extrusoras de doble husillo que ofrecen la ventaja de trabajar a temperaturas de proceso más bajas (de 205-225 °C para extrusoras de monohusillo a 130-170 °C para extrusoras de doble husillo). Para resinas en pellets se usan generalmente extrusoras monohusillo y para polímero en polvo de doble husillo.

El método de extrusión es muy atractivo por la amplia gama de productos que pueden ser fabricados, por ser un

proceso continuo con grandes capacidades de producción y ciclos cortos y por poseer una inversión razonablemente económica.

Su factor de costo es 3.4.

(Factor de Costo = Costo de Materia Prima = Costo del Producto Terminado).

La extrusión tiene la desventaja de que los productos fabricados por éste método deben ser de sección transversal constante.

En el campo de aplicación de la extrusión se cuentan :
mangueras flexibles, tubería rígida, tubos para aplicaciones quirúrgicas, canales para soportar líneas de alambre o cable eléctrico, películas para envolturas, sacos, bolsas, láminas de P.V.C. rígido, cintas y perfiles, barras sólidas, monofilamentos, recubrimientos de alambre y cable.

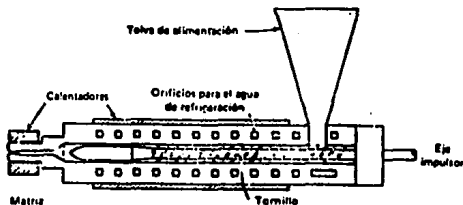


Diagrama de una extrusora monohusillo

B) Soplado.

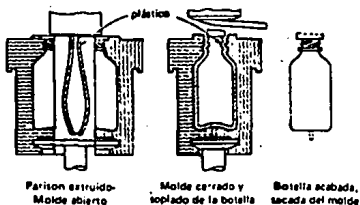
El P.V.C. es un material interesante para fabricar botellas y otros recipientes ofreciendo alta transparencia y brillo, buena resistencia al impacto y fácil procesabilidad con equipos e inversiones no muy altas. Su factor de costo es de 2-3.

Para soplar botellas de P.V.C. se extruye un parison (pequeño cilindro hueco semejante a un tubo de ensayo de gran espesor) y cuando todavía se encuentra caliente se coloca entre las mitades de un molde metálico. El molde se cierra a presión y se aplica aire con lo que el parison se expande disminuyendo su grosor. Al entrar en contacto el plástico con las paredes del molde se enfría y se fija la forma expandida. Cerca del 70% de los ciclos de producción se gastan en enfriar el artículo soplado lo suficiente como para ser manipulado.

Una variación de este proceso es el soplado-extrusión en el que se extruye de forma constante tubo, a intervalos de tiempo determinados el tubo se atrapa entre las mitades de un molde, éste se cierra y se sopla aire.

También se pueden fabricar artículos huecos a partir de películas planas. Dos películas se sostienen una arriba de otra con un cierto espaciado entre ellas en un molde. Se cierra el molde, se calientan las películas y se aplica aire

a presión y después se hace vacío. Las películas se expanden adquiriendo la forma del molde.



Fases de soplado para botellas de P.V.C.

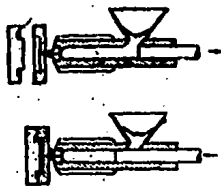
C) Inyección.

La resina se alimenta a la inyectora y es empujada, comprimida y derretida con la ayuda de un émbolo o husillo. El fluido fundido es inyectado a través de pequeños orificios a moldes. Los ciclos de trabajo dependen de la rapidez con que se enfría el plástico.

La temperatura de operación para el P.V.C. rígido está en el rango de 150-212 °C y para el P.V.C. flexible 160-196 °C.

La presión de inyección para el plástico rígido es de 10.000-40.000 psi en tanto que para el material plastificado es de 8.000-25.000 psi.

Mediante el moldeo por inyección los productos poseen excelentes propiedades dieléctricas. se pueden fabricar productos ligeros y firmes. se permite una relativamente fácil elaboración de productos de formas complicadas. se tiene un bajo costo por unidad. se logran buenas características superficiales con poca ó ninguna necesidad de acabado. El equipo es muy costoso al igual que los moldes. La inversión sólo se justifica para corridas de producción grandes. El factor de costo es 2-3.



Proceso de Inyección

Por el peligro potencial de la liberación de HCl deben evitarse altos esfuerzos de corte y ciclos largos. Los moldes deben ser de acero inoxidable o cromados.

La inyección se utiliza en calzado, juguetes, empaques, componentes eléctricos, autopartes, artículos del hogar.

D) Calandreo.

El proceso consiste en hacer pasar P.V.C. por un dispositivo de 3 ó más rodillos calientes con espaciamento, velocidad y temperatura controlados. De otra forma por compresión y rotación se forman películas con espesores entre 0.25 y 0.875 mm, películas más gruesas generalmente se producen por extrusión.

El calandreo se caracteriza por su alto capital de inversión, su bajo costo de producto terminado por unidad de peso de resina y por obtener películas virtualmente libres de stress interno. Su factor de costo es de 2-5.5.

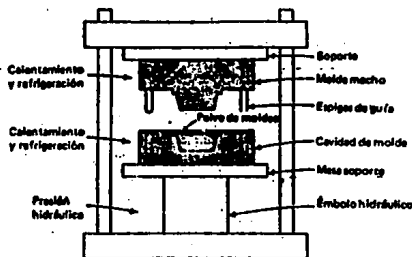
El P.V.C. rígido se usa como recubrimiento de pisos, forros, anuncios, tarjetas de crédito, impermeables y ropa. También se utiliza en cubiertas de diskettes, cintas y empaques.

El P.V.C. flexible se utiliza en películas y hojas decoradas, membranas a prueba de agua, láminas y pisos.

El Compresión.

El método consiste en dar forma al plástico vertido en moldes calientes aplicándose presión y seguidos de un tiempo de curado y apertura.

Una variante de este proceso es la de cerrar el molde vacío y posteriormente introducir el polímero a través de un pequeño orificio. El molde debe ser sobrellenado para que con la aplicación de presión no existan espacios vacíos en el molde. Posteriormente se presiona el contenido del molde, se calienta para fundirlo y se enfría para desmoldar la pieza. La diferencia entre éstos dos métodos es que en éste último el pistón forma parte de la prensa y no del molde.



Prensa y molde para moldeo por compresión

Las temperaturas de operación varían de 140 a 205 °C para P.V.C. rígido y de 140 a 176 °C para P.V.C. flexible. Mientras que la presión es de 750 a 2,000 psi para P.V.C. rígido y de 500 a 2,000 psi para P.V.C. flexible.

El moldeo por compresión ofrece bajos costos (FC=1.5-3) y poca pérdida de material; sin embargo, no se pueden fabricar piezas muy detalladas y finas.

F) Termoformado.

Una lámina se coloca sobre un molde ya sea macho o hembra. Se suaviza la película con calor y aplicando vacío se fuerza a la película a adherirse al contorno del molde. Se recurre al termoformado cuando las películas son demasiado delgadas para hacerse por extrusión o calandreo. El costo del equipo es generalmente bajo (FC= 3-5).

G) Moldeo por Vaciado o Casting.

Existen dos diferentes procesos de casting:

1.- Colado.- Se utilizan moldes ligeros de alta conductividad térmica, de materiales como aluminio, cobre y bronce. Se calientan los moldes y se llenan de plastisol. Se invierte el molde para drenar el plastisol que permaneció líquido. Una vez hecho esto se cierra el molde y se introduce en un

horno o baño de aceite caliente hasta la fusión total del polímero. Posteriormente se enfría el molde y se abre para extraer la pieza moldeada.

La operación de drenado se puede repetir en varias ocasiones para engrosar la pared del producto.

Mediante este proceso se fabrican piezas huecas de gran tamaño como maniqués, zapatos y juguetes.

2.- Moldeo Rotacional.- La única modificación con respecto al colado es que los moldes se hacen girar biaxialmente (alrededor de sus ejes vertical y horizontal) para distribuir uniformemente el plástico. Después de esta operación el molde se mete a un horno a unos 200 C.

La mayoría de los juguetes y pelotas se fabrican por este procedimiento. Su factor de costo es 2-2.5.

H) Recubrimiento por Inmersión.

Este proceso sirve para recubrir objetos metálicos con una capa delgada uniforme. Existen 3 versiones de recubrimiento por inmersión:

1.- Inmersión en Caliente.- La pieza a recubrir se calienta y se sumerge en plastisol. Acto seguido se extrae, se deja escurrir y se enfría. El espesor del recubrimiento depende de la viscosidad del plastisol y de la temperatura de la pieza.

2.- Inmersión en Frío.- El molde frío se introduce en una tina con plastisol formándose una capa. Se saca el artículo recubierto y se gelifica en un horno.

3.- Inmersión de Cama Fluidizada.- P.V.C. en polvo se fluidiza con una corriente de aire. La pieza caliente se introduce al flujo donde las partículas de P.V.C. se adhieren a la superficie del metal. Mediante un segundo calentamiento el recubrimiento de uniformiza.

I) Recubrimiento por Rociado.

Este método se utiliza para recubrir piezas muy grandes las cuales son rociadas con resina finamente diluida. La boquilla del aspersor es calentada derritiendo el P.V.C. que se solidifica en cuanto toca el objeto rociado.

J) Recubrimiento por Esparcido.

Una cuchilla se posiciona por arriba del material a recubrir, el cual a su vez se coloca en una banda. La pasta se alimenta enfrente de la cuchilla y conforme se mueve la banda, la cuchilla distribuye uniformemente el plástico. El espesor del recubrimiento depende de la altura entre la cuchilla y la pieza. Posteriormente al producto se le aplica calor, por lo menos 150 C, para gelificar el recubrimiento.

K) Espumado.

El espumado de P.V.C. se logra al agregar agentes espumantes físicos ó químicos. Posteriormente al espumado el material se calienta para luego enfriarse.

Dos tipos de estructura de espuma se pueden conseguir: si la distribución de espacios vacíos es discontinua se dice que se tiene una estructura de celda cerrada, si por el contrario la distribución es continua existe una estructura de celda abierta.

Al espumar el P.V.C. la resistencia al calor aumenta junto con la absorción de energía, la flotabilidad, la relación dureza/peso, se reducen las propiedades relacionadas con la resistencia mecánica y el costo por volumen disminuye.

La espuma de P.V.C. tiene aplicación en la industria automotriz, del calzado y textil, para relleno de muebles, equipaje, juguetes, cortinas de baño, recubrimiento de cable, cassettes.

Proveedores de Maquinaria para la Industria del P.V.C.

Investoras.

- Avance Industrial, S.A.
- CEM de México, S.A.
- Codimex, S.A.
- Fama Fábrica de Máquinas, S.A.
- Ferrostal Mexicana, S.A.
- Imocon de México, S.A.
- Inyectores Vulcano, S.A.
- Lessona Latinoamericana, S.A.
- Maq-Plas, S.A.
- Mecánica Oriente Mexicana, S.A.
- Plásticos y Derivados, S.A.
- Plastimac, S.A.

Extrusoras.

- Beutelspacher, S.A.
- CEM de México, S.A.
- Corporación Maquinaria Plástica Moderna, S.A.
- Codimex, S.A.
- Ferrostal Mexicana, S.A.
- Interplásticos, S.A.
- Maquinaria Plástica Mexicana, S.A.
- Maq-Plas, S.A.
- Merkinter, S.A.
- Oxo, S.A.
- Plastimac, S.A.
- Werner & Pfleinderer de México, S.A.

Sopladoras.

- Avance Industrial, S.A.
- Codimex, S.A.
- Enitec, S.A.
- Fama Fabricación de Máquinas, S.A.
- Inyectoras Vulcano, S.A.
- Maq-Plas, S.A.
- Plastimac, S.A.
- Stoffel & Cía, S.A. de C.V.

Molinos.

- Farrel Mexicana, S.A.
- Inyectores Vulcano, S.A.
- Lessona Latinoamericana, S.A.
- Merkinter, S.A.
- Plastimac, S.A.

Moldes.

- Fama Fabricación de Máquinas, S.A.
- Fabriplastic, S.A.
- Founts Moules de latinoamérica, S.A.
- Fun-Intal, S.A.
- Maq-Plas, S.A.
- Partes para Moldes DME, S.A.
- Plásticos e Ingeniería de Moldes, S.A.

Equipos Accesorios y Partes.

- Aceros Assab de México, S.A.
- Aceros Fortuna, S.A.
- Calfer de México, S.A.
- Cari de México, S.A.
- Chromalox, S.A.
- Distribuidora de Instrumentos Industriales, S.A.
- Emec, S.A.
- Elementos y Equipos Eléctricos, S.A.
- Maq-Plas, S.A.
- Pvroxex, S.A.
- Resistencias Eléctricas, S.A.
- Tryssenn Maraton.
- West Instruments de México, S.A.

Enfriadores de Líquidos.

- Epicsa.
- Frogotherm Mc. Quay.
- Frimold, S.A.
- Lessona Latinoamericana, S.A.

APENDICE 3

A continuación se incluyen las hojas técnicas de los productos comerciales de resinas de suspensión de Polímeros de México, S.A. de C.V., Policyd, S.A. de C.V. y Grupo Primex, S.A. de C.V.. Se nombran sólo los productos de suspensión ya que éstos constituyen cerca del 90% de la producción nacional.

Polímeros de México, S.A. de C.V.

Propiedades Típicas	Clave		Método
	Iztavil S-30	Iztavil S-50	
Apariencia	Polvo Fino Blanco	Polvo Fino Blanco	
Valor K Fikentscher .5 g/100 ml Ciclohexanona a 25 C.	63	67	ISO R-174
Viscosidad Inherente	0.83	0.915	ASTM 1243-A
Número de Viscosidad	98	112	ISO R-174
Densidad Aparente g/cm ³	0.47	0.45	ASTM 1895-A
Tamaño de Partícula % Paso Malla 40 % Paso Malla 200	100 ?	100 ?	ASTM-D 1921-63A
Volátiles %	0.30	0.30	ASTM D-3030

Policyd, S.A. de C.U.

Propiedades Típicas

Clave

	G-30	103-EPF-76	110X354	108X122	Método
Viscosidad Inherente	.99-1.5	.98-.94	.64-.68	.88-.88	ASTM D-1243
Valor K Filkenscher IX en Ciclohexanona	70	66	57	64	DIN-52726
Tamaño de Partícula % Retenido Malla 60 % Paso Malla 100 % Paso Malla 200	5 15 3	10 N.R. 2	1 35 N.R.	0.1 N.R. 90	ASTM D-1921-63A
Densidad Aparente g/cm ³	.45 min	.53-.68	.53-.56	N.A.	ASTM 1895A
Porosidad cm ³ /g	.27 min	.21	.17-.25	N.A.	Federal Standard 1881 5821
Flujo Embudo seg.	15-26	15-26	15-26	N.A.	
Pérdidas por Calentamiento % Máximo	.30	.30	.30	.50	ASTM D-3030

Propiedades Típicas	121	124	Método
Viscosidad Inherente	1.15-1.29	0.84-0.98	ASTM D-1243
Valor K Fikentscher 1% en Ciclohexanona	77	66	DIN-53726
Tamaño de Partícula % Paso Malla 200	100	100	ASTM D-1921-636A
Finura North Valores Mínimos	2.5	2.5	
Viscosidad Severs g/100 seg. Valores Mínimos	12	12	
Viscosidad Brookfield Inicial cps Valores Máximos	6,000	6,000	
Viscosidad Brookfield 24 hrs cps	12-15X10 ³	10-15X10 ³	
Pérdidas por Calentamiento % Máximo			

Grupo Primex, S.A. de C.U.

Propiedades Típicas

Clave

	180	225-1	225-2	250	Método
Viscosidad Inherente % Ciclohexanona 25 C	1.83	2.28	2.19	2.39	ASTM D-1243-79
Grado de Polimerización	680	1120	1000	1325	JIS-K-6721
Densidad Aparente g/cm ³	.54	.51	.54	.47	ASTM-D-1895-65B
Tamaño de Partícula % Paso Malla 40 % Paso Malla 200	99,5 2	99,5 2	99,5 2	99,5 1	ASTM-D1921-63A
Pérdidas por Cajentamiento % Peso	.4	.4	.4	.4	ASTM-D3030-72
Valor K Fikentscher % g/100 ml de Ciclohexanona 25 C					

Para mayor información dirigirse a:

Polímeros de México. S.A. de C.V.

Horacio 1855 5o Piso

Col. Los Morales Polanco

México D.F.

Polycyd. S.A. de C.V.

La Presa

Estado de Mexico

Grupo Primex, S.A. de C.V.

Alamo Plateado No 1

Fraccionamiento Los Alamos

Lomas Verdes Naucalpan, Estado de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- PRINCIPLES OF POLYMER CHEMISTRY.
Paul J. Flory.
Cornell University Press, Décima Edición 1978.
- 2.- TEXTBOOK OF POLYMER SCIENCE.
Fred W. Billmeyer Jr.
John Wiley and Sons, Segunda Edición 1971.
- 3.- MATERIALS AND TECHNOLOGY VOL VI.
Longman and J.H. De Bussay.
Longman Group LTD 1973.
- 4.- GUIDE TO PLASTICS.
- 5.- HANDBOOK OF PLASTICS AND MONOMERS.
Charles A. Harper.
Mc Graw Hill, New York 1975.
- 6.- ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY.
- 7.- ANUARIO 1990 A.N.I.D.
- 8.- INFORMACION ESTADISTICA DE IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES.
SECOFI.

- 9.- CHEMICAL ADDITIVES FOR THE PLASTIC INDUSTRY.
- 10.- HOJAS TECNICAS DE RESINAS DE P.V.C. DE POLIMEROS DE MEXICO
- 11.-HOJAS TECNICAS DE RESINAS DE P.V.C. DE POLICYD.
- 12.- HOJAS TECINAS DE RESINAS DE P.V.C. DE GRUPO PRIMEX.
- 13.- MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO VOL II.
Robert H. Perry and Cecil H. Chilton.
Mc Graw Hill, Quinta Edición.
- 14.- MANUAL DE PROCESOS QUIMICOS EN LA INDUSTRIA.
- 15.- P.V.C. DOCUMENTO PROMOCIONAL.
A.N.I.G.
- 16.- ICIS LOR REPORT ABRIL 26 1991.
Independent Chemical Information Services.
- 17.- MODERN PLASTICS ENERO 1988, ENERO 1989, ENERO 1990, ENERO 1991.
Modern Plastics International.
- 18.-CHEMICAL MARKETING REPORTER ENERO 1991.
- 19.-CHEMICAL ECONOMICS HANDBOOK 1990
- 20.-PATENTE 3,488,328 MAYO 1967 E.U. (METHOD FOR THE SUSPENSION POLYMERIZATION OF VYNIL CHLORIDE).
The Shin-Etsu Chemical Industry co., Ltd, Tokio, Japan.

21.- PATENTE 249,768 ABRIL 1981 E.U. (PROCEDIMIENTO MEJORA-
DO DE POLIMERIZACION POR SUSPENSION DE MONOMEROS DE VINILO).

The B.F. Goodrich Company Akron Ohio. U.S.A.