

28  
Zeje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

POLICLORURO DE VINILO (PVC) COMO MATERIAL  
DE FABRICACION DE EQUIPOS DE USO MEDICO.

LA PRESENTE TESIS  
ES PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
JAIME ROMAN ESCOBAR

ASESOR: DR FAUSTINO MIJANGOS SANTIAGO

MEXICO, D. F. TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN TUBRE DE 1994



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES \*ZARAGOZA\*

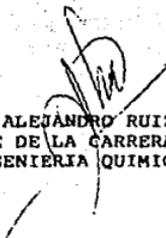
JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA

SR. JAIME ROMAN ESCOBAR  
P R E S E N T E.

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

PRESIDENTE:	ING. ROBERTO MENDOZA SERNA
VOCAL:	ING. TERESA GUERRA DAVILA
SECRETARIO:	DR. FAUSTINO MIJANGOS SANTIAGO
SUPLENTE:	ING. JOSE BERMUDEZ MOSQUEDA
SUPLENTE:	ING. ANA LUCILA ACOSTA CHAVEZ

A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
México, D.F., 30 de junio de 1994

  
M. en C. ALEJANDRO RUIZ CANCINO  
JEFE DE LA CARRERA DE  
INGENIERIA QUIMICA

Irm

CONTENIDO	Página
RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	2
OBJETIVO.....	3
DEFINICION DE ACTIVIDADES.....	3
<b>CAPITULO PRIMERO</b>	
Importancia del Policloruro de Vinilo en la Fabricación de Material de Curación.....	6
Definición del Mercado de Consumo.....	6
<b>CAPITULO SEGUNDO</b>	
Especificaciones generales de los productos de Material de Curación.....	14
Especificaciones.....	14
Desglose de componentes por equipo.....	15
Principales características y propiedades de PVC.....	18
<b>CAPITULO TERCERO</b>	
Aspectos técnicos de los procesos de transformación de las Materias Primas.....	23
Formulaciones características de PVC.....	24
Descripción de los procesos de transformación de PVC. Extrusión.....	30
Inyección.....	37
<b>CAPITULO CUARTO</b>	
Análisis y Determinación del Sistema de Producción.....	45
Análisis del sistema.....	48
Antecedentes históricos.....	48
Modelos de cálculo.....	54
Serie de Métodos Gráficos.....	59
<b>CAPITULO QUINTO</b>	
Conclusiones y Recomendaciones.....	72
ANEXO 1. Aspectos Generales de la Industria del Policloruro de Vinilo (PVC).....	75
ANEXO 2. Generalidades en la Formulación de Compuestos de PVC. .....	93
ANEXO 3. Metodología de cálculo y obtención de modelos matemáticos.....	105
BIBLIOGRAFIA.....	111
Indice de temas, gráficas, tablas y diagramas	

## POLICLORURO DE VINILO (PVC) COMO MATERIAL DE FABRICACION DE EQUIPOS DE USO MEDICO.

### Resumen

La elaboración de este informe se basa en la idea de presentarlo como un reporte de experiencia profesional, su contenido y proyección aquí mostrados ilustran la aplicación de criterios adquiridos en el desempeño de actividades de supervisión, programación y control de un sistema de producción, en un área de la industria poco discutida a nivel académico, razón por la que se decide estructurar el documento como tesis.

El Ingeniero de Procesos tiene la capacidad de analizar, simular y optimizar un sistema dado, sin requerir una especialización en el campo de ejecución; sin embargo, la aplicación y definición de criterios para la toma de decisiones se fortalece a través de la experiencia empírica, desarrollada en una continua interacción con el sistema y una adecuada canalización de la información.

El presente documento intenta mostrar de manera muy breve la ingeniería aplicada dentro de la industria del plástico, en particular en un área de especialidades, como lo es la fabricación de material de curación.

Se inicia con la definición del mercado de consumo de equipos de curación, en su principal característica de desechables encontraremos la importancia de los materiales utilizados: los termoplásticos, entre ellos por su versatilidad, el Policloruro de Vinilo (PVC) ha de servir como eje de referencia para desarrollar el tema, ya que conjuga una serie de procesos de gran interés por su contenido, relacionando así diferentes asignaturas del Plan de Estudios de la carrera de Ingeniería Química.

Finalmente se presenta un análisis de las diferentes etapas del proceso, así como la determinación gráfica de modelos de índices y variables que caracterizan al sistema de producción, con el propósito de tomar las decisiones adecuadas en la elaboración de planes y programas, así como su ejecución.

Para completar el perfil técnico y económico de la industria del PVC se elaboraron anexos que se podrán consultar en la sección final del documento.

## Introducción.

La Industria Química presenta una gama bastante amplia de actividades en la vida económica del país. Dentro de este conjunto, la Industria de los Plásticos integra y relaciona una línea de procesos industriales que dirigen sus productos a múltiples aplicaciones.

La participación del Ingeniero Químico juega un papel importante en las áreas de investigación, desarrollo de tecnología, transformación e inclusive comercialización; desde materias primas y aditivos hasta productos finales.

Cotidianamente, se presentan situaciones que exigen una respuesta rápida y efectiva; se pueden originar en el plano técnico, económico, laboral, administrativo, etc. La capacidad de tomar una decisión adecuada se interroga con mucha frecuencia.

En el presente informe y con el deseo de proporcionar un panorama de aplicación especial dentro del sector de los plásticos, se mostrará la fabricación de equipos de uso médico con carácter desechable, básicamente elaborados con Policloruro de Vinilo (PVC), uno de los polímeros más importantes en términos de consumo debido a los rangos de propiedades físicas y procesabilidad.

Dada la oportunidad de conocer y participar dentro de una Empresa, con el giro de fabricación y distribución de equipos de medicina funcional o material de curación. Se obtendrán los elementos de análisis, simulación y control de planes y programas de producción, aplicados a procesos de transformación de termoplásticos; desde la formulación de compuestos de PVC con propiedades específicas, su procesamiento en operaciones de extrusión e inyección de partes plásticas, hasta su integración en las áreas de ensamble.

Del análisis de las funciones desempeñadas, se encuentran actividades administrativas diversas: de supervisión, de implementación de normas y procedimientos, de atención a los asuntos de carácter laboral, del diseño y construcción de dispositivos mecánicos, entre otras, englobando de ésta manera algunos de los aspectos prácticos de la ingeniería desarrollados en el plano profesional.

Retomando el comentario inicial de este documento, se pretende estructurar el informe con características de un Estudio de Mercado, enfocado al material base en la fabricación de la línea de productos, de la Empresa Des Var de México S.A. de C.V.

La empresa Des Var de México tiene aproximadamente 20 años de existencia, su línea de cerca de 60 productos se forma de:

- Sondas de alimentación para prematuros, infantiles y adultos.
- Sondas de administración de oxígeno.
- Sondas de enemas de Harris
- Sondas de extracción de secreciones
- Equipos de venoclisis y volumen medido
- Tubos de extensión, conectores y otros.

El interés de analizar el sistema de producción a través del Policloruro de Vinilo (PVC) radica en la contribución por cantidad y procesos involucrados; el 70 % de la materia prima consumida es PVC, en el área de extrusión, representa casi la totalidad del material procesado. El uso de PVC en esta rama comercial no es una casualidad, es el segundo termoplástico en importancia y su versatilidad de obtener desde productos rígidos hasta flexibles hacen que sea la opción más factible para el cumplimiento de las propiedades y características de los productos antes mencionados.

La realización de esta tesis expone la experiencia profesional, plantea su desarrollo en términos del siguiente Objetivo:

**Análisis y Determinación de un Sistema de Producción de equipos de Medicina Funcional o Material de Curación fabricados básicamente con Policloruro de Vinilo (PVC).**

#### **Definición de actividades**

Las actividades desarrolladas en la elaboración de este documento responden a la secuencia establecida por el proceso, es decir, primeramente se define el mercado de consumo de productos de material de curación, la línea de productos con los que participa la Empresa y el impacto en el mercado consumo de materiales termoplásticos utilizados. Se tomará como referencia de cálculo para su participación en el mercado, la relación entre la capacidad de producción de la Empresa contra la demanda total descrita por los Concursos de Adquisición para el Sector Salud.

Sobre la base de utilización se determinará al P.V.C. como la materia prima más importante. Finalmente, con los parámetros anteriores se establecerá la ubicación de la empresa en el contexto establecido por tipo de compuesto y procesabilidad de PVC, así como un estimado del beneficio económico de esta rama industrial. (CAPITULO PRIMERO: *Importancia del Policloruro de Vinilo en la fabricación de Material de Curación.*)

Establecer las principales características y propiedades requeridas en el PVC para su procesabilidad y en los productos finales. Continúa, como se mencionó, con la secuencia del proceso. (CAPITULO SEGUNDO: *Especificaciones Generales de los productos de Material de Curación.*)

Conforme al propósito didáctico de esta tesis se presenta una breve descripción de los procesos de transformación de los materiales termoplásticos utilizados para la elaboración de la línea de productos de material de curación. Las consideraciones técnicas aplicadas en la formulación, inyección y extrusión de PVC servirán para el planteamiento de criterios y parámetros de evaluación del Sistema.

(CAPITULO TERCERO: *Aspectos técnicos de los procesos de transformación de las Materias Primas.*)

Revisión y análisis de las producciones de años anteriores para el desarrollo de modelos matemáticos y gráficos que permitan caracterizar al Sistema de Producción de manera global bajo condiciones particulares, con el propósito de establecer un método rápido de evaluación para la adecuada toma de decisiones.

(CAPITULO CUARTO: *Análisis del Sistema de Producción de Material de Curación.*)

Evaluación de resultados y comentarios de carácter técnico y económico de las condiciones actuales de la Empresa, que permitirán establecer la confiabilidad de los métodos utilizados para determinar los requerimientos de recursos y estimar la tendencias o proyecciones del mercado de esta especialidad.

(CAPITULO QUINTO: *Conclusiones*)

Finalmente, con la intención de complementar la información sobre la industria del PVC, se desarrollan dos anexos en los cuales se presentan una reseña de antecedentes históricos, de la industria nacional y aspectos generales de la formulación del compuesto.

Se anexa una memoria de cálculo de la obtención de ecuaciones para los modelos matemáticos.

**CAPITULO PRIMERO:**

**IMPORTANCIA DEL POLICLORURO DE VINILO EN LA FABRICACION DE MATERIAL DE CURACION.**

La fabricación de equipos de esta especialidad, se basa para la selección de sus procesos de transformación, así como, de la materia prima mas apropiada en criterios de orden económico y funcional. La inversión relativamente baja en equipos de inyección o extrusión de tipo comercial y el costo de las materias primas, justifican entre otros la utilización de compuestos de PVC en esta industria. Las propiedades requeridas en partes y componentes utilizados en productos de esta naturaleza son ampliamente satisfechas, tales como; flexibilidad, procesabilidad, resistencia mecánica y química, atoxicidad, disponibilidad y costo.

Los materiales termoplásticos utilizados además del PVC, son: Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS), Polietilenos de Baja y Alta Densidad (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Celcon y Nylon. Actualmente, en nuestro país la línea de productos en los que participa Des Var de México y las demás empresas del ramo, contienen en sus artículos un 70 % de compuesto de PVC aproximadamente.

Un segundo aspecto que alienta a estas empresas es el factor Beneficio/Costo que muestra índices de 4 a 6 veces, aunque los lineamientos de operación son particularmente estrictos, ya que exigen una infraestructura especial con la correspondiente inversión y gastos de mantenimiento que al final impactarán sobre las utilidades. Cabe hacer notar que bajo condiciones económicas adversas sólo se recupera el costo, situación propiciada por políticas internas de ventas, o bien, provocada por altos desperdicios o deficiencias en el sistema productivo.

Para conocer mejor el campo de aplicación de esta especialidad se presenta una semblanza del Mercado que se está considerando.

**Definición del Mercado de Consumo de Material de Curación.**

El punto de partida y que justifica la existencia de cualquier empresa, es la de satisfacer una necesidad, estableciendo la demanda en el mercado.

El mercado de medicina funcional, concentra los requerimientos de Instituciones de Servicios Médicos, tanto Públicos como Privados, pueden ser desde clínicas de consulta externa, hasta hospitales de especialidades; los artículos requeridos, son utilizados en el tratamiento de pacientes, auxiliando funciones vitales y para su recuperación. Existen una gran cantidad de productos y equipos, fabricados en materiales plásticos, textiles, metálicos, vidrio, equipos electrónicos, etc.

Este conjunto de productos que conforman el Cuadro Básico Institucional de Material de Curación; se forma a través de subgrupos, uno de ellos denominado 060, contiene aproximadamente 1480 productos codificados, entre los que encontraremos los siguientes: Aguja hipodérmica con pabellón de plástico, algodón en láminas, espumas antisépticas y germicidas, cepillos dentales, cintas de tela para uso quirúrgico microporosa, gasas, guantes de latex, papel graficador para registro de temperatura, etc.

Entre los productos ofrecidos por la empresa Des Var de México, se presenta una línea de más de 60 productos diferentes, sólo cerca de 27 productos están reconocidos dentro del Cuadro Básico Institucional. Sin embargo, cabe la aclaración que algunos productos son aceptados e incluidos en el cuadro básico hasta con dos códigos numéricos y otros aunque no lo estén son consumidos directa o indirectamente por el mismo Sector.

Un aspecto adicional es el uso exclusivo a ciertas especialidades médicas de algunos artículos que generan rangos de demanda individual desde unas cuantas unidades hasta millones en productos de usos más generales, con características individuales desde las más simples hasta equipos muy complejos.

Aunque no se conocen los criterios en la conformación de los subgrupos de productos de material de curación, se observa que entre los mencionados se mantiene una constante, todos ellos son desechables. [1]<sup>1</sup>

A continuación se presenta la Tabla 1. con la línea de productos de material de curación ofrecidos por la Empresa Des Var de México, indicando en cada caso la clave del artículo asignado por el Sector Salud y la familia a la que corresponde. [2]

1. LOS NUMEROS ENTRE CORCHETES SE REFIEREN A LAS "BIBLIOGRAFIAS SELECCIONADAS" QUE APARECEN AL FINAL DE LOS CAPITULOS.

DES V A P D E M E X I C O S . A .

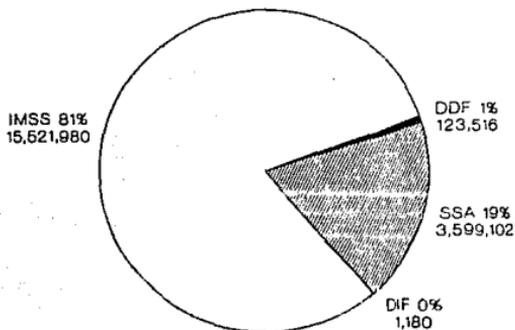
TABLA 1. LINEA DE PRODUCTOS DE MATERIAL DE CURACION CONSIDERADOS.

Artículo No.	Descripción del Producto	Clave del Sector	Familia
1	Campanilla de circuncisión ch.		Otros A
2	Campanilla de circuncisión med.		Otros A
3	Campanilla de circuncisión gde.		Otros A
4	Bolsa recolectora de orina para adulto		Otros A
5	Bolsa recolectora de orina infantil		Otros B
6	Bolsa de colostoma para adulto	060.125.7194	Otros B
7	Bolsa de colostoma infantil		Otros B
8	Sonda para alimentación para adulto. Calibre 12 Fr.	060.168.4608	Sondas
9	Sonda para alimentación para adulto. Calibre 14 Fr.	060.168.9896	Sondas
10	Sonda para alimentación para adulto. Calibre 16 Fr.	060.168.4616	Sondas
11	Sonda para alimentación para adulto. Calibre 18 Fr.		Sondas
12	Sonda Gastrointestinal Desechable Mod. Levin Cal 12	060.168.2305	Sondas
13	Sonda Gastrointestinal Desechable Mod. Levin Cal 14	060.168.9896	Sondas
14	Sonda Gastrointestinal Desechable Mod. Levin Cal 16	060.168.9904	Sondas
15	Sonda Gastrointestinal Desechable Mod. Levin Cal 18	060.168.2313	Sondas
16	Canula desechable para oxígeno cal. 10 Fr.	060.168.5761	Sondas
17	Canula desechable para oxígeno cal. 14 Fr.	060.168.5746	Sondas
18	Sonda desechable para conexión de oxígeno	060.168.4301	Sondas
19	Sonda para administrar oxígeno con canula 5mm x 180cm	060.168.5044	Sondas
20	Sonda para administrar oxígeno con canula 2mm x 180cm	060.168.5010	Sondas
21	Sonda para administrar oxígeno con canula 2mm x 220cm	060.168.5028	Sondas
22	Sonda para administrar oxígeno con canula 5mm x 220cm	060.168.5036	Sondas
23	Sonda para alimentación infantil 8 Fr. y Long. 90cms	060.168.9250	Sondas
24	Sonda para alimentación infantil 8 Fr. y Long. 19cms	060.167.8089	Sondas
25	Sonda para alimentación prematuros 5 Fr. y Long. 19cms	060.168.9243	Sondas
26	Sonda para alimentación prematuros 5 Fr. y Long. 90cms	060.168.6504	Sondas
27	Tubo para enema de Harris 24 Fr. y long. 75cms	060.168.2206	Sondas
28	Tubo para enema de Harris 24 Fr. y long. 150cms		Sondas
29	Tubo para extensión intravenosa	060.168.5423	Otros A
30	Llave de tres vías con tubo de extensión long. 83cms	060.598.0036	Otros A
31	Tubo para drenaje urinario Cal. Delgado	060.168.5415	Sondas
32	Tubo para drenaje urinario Cal. Grueso	060.168.5449	Sondas
33	Sonda para aspirar secreciones sin adaptador Cal.14 Fr		Sondas
34	Sonda para aspirar secreciones sin adaptador Cal.10 Fr		Sondas
35	Sonda para aspirar secreciones sin adaptador Cal.18 Fr		Sondas
36	Sonda para aspirar secreciones con adaptador Cal.14 Fr		Sondas
37	Sonda para aspirar secreciones con adaptador Cal.10 Fr	060.168.0085	Sondas
38	Sonda para aspirar secreciones con adaptador Cal.18 Fr	060.168.0077	Sondas
39	Bolsa recolectora de orina para pierna		Sondas
40	Conector grueso de plástico	060.233.0052	Otros A
41	Conector delgado de plástico	060.233.0010	Otros A
42	Conector en T		Otros A
43	Brazalete identificación		Otros A
44	Brazalete identificación		Otros A
45	Tubo tipo nelaton 8 Fr.		Sondas
46	Tubo tipo nelaton 10 Fr.		Sondas
47	Tubo tipo nelaton 12 Fr.		Sondas
48	Tubo tipo nelaton 14 Fr.		Sondas
49	Tubo tipo nelaton 16 Fr.		Sondas
50	Tubo tipo nelaton 18 Fr.		Sondas
51	Tubo tipo nelaton 20 Fr.		Sondas
52	Tubo tipo nelaton 22 Fr.		Sondas
53	Equipo para venoclisis normogotero sin aguja	060.532.0167	Venoclisis
54	Equipo para venoclisis normogotero con aguja		Venoclisis
55	Equipo para venoclisis microgotero sin aguja	060.532.0084	Venoclisis
56	Equipo para venoclisis microgotero con aguja		Venoclisis
57	Equipo para admón. de volumen medido	060.532.0503	Vol. Med.
58	Equipo para admón. de sangre o plasma		Vol. Med.
59	Dialisis peritoneal		Venoclisis
60	Equipo para venoclisis en vena craneal Cal. 19	060.345.1360	Otros A
61	Equipo para venoclisis en vena craneal Cal. 21	060.345.1378	Otros A
62	Equipo para venoclisis en vena craneal Cal. 23	060.345.1386	Otros A
63	Equipo para venoclisis en vena craneal Cal. 25	060.345.1394	Otros A

Es difícil establecer la magnitud o proporción de los productos ofrecidos con respecto al conjunto global. Lo que si es posible, es estimar la participación en el mercado de los productos ofertados por la Empresa, tomando como referencia los Concursos Anuales de 1992 y 1993.

Primero, se presenta el nivel de la demanda de los productos de la línea, alcanzando la cantidad de 22 millones de equipos de diferentes clases, considerando las Instituciones del Sector Salud mas representativas en el año de 1992. (Gráfica 1: Distribución del Mercado de Consumo)

### Distribución del Mercado de Consumo para Línea de Productos Propia de Material de Curación.



Gráfica 1.  
Concurso Anual 1992 (Sector Público)

La demanda del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) represento el 81 % del consumo del Sector, y será utilizada como modelo del esquema de producción. Adicionalmente se cuenta con la presencia de Instituciones de Sector Privado y otros del mismo Sector Público como lo son el Hospital de Petroleos Mexicanos y los de la Secretaría de la Defensa Nacional que recurren a concursos de adquisición propios.

Para simplificar y clasificar las diferentes clases de productos, se agruparán por familias, quedando de la siguiente manera: *Sondas*

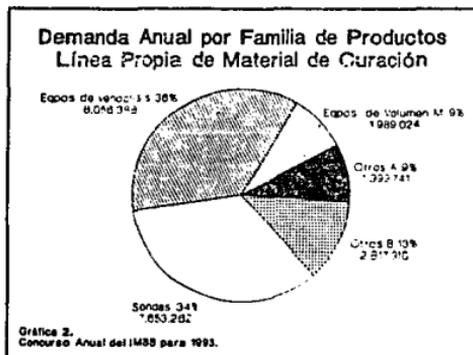
*Equipos de Venocclisis*

*Equipos de Administración de Volúmenes Medidos*

*Otros tipo A con requerimientos de piezas y tubos*

*tipo B con materiales adquiridos externamente*

Para estimar la demanda potencial por familia de productos se presenta la Gráfica 2. con la Demanda Anual por Familia de Productos que corresponde al Concurso Anual del IMSS para 1993, en donde se observa un aumento en la demanda de 30 % con respecto al año anterior, es importante establecer que el Consumo Aparente está sujeto a desviaciones por causas de tipo administrativo o político, es decir, desde manejos de los niveles de inventario hasta la asignación de presupuestos, que no necesariamente se ajustan a necesidades reales. [1]



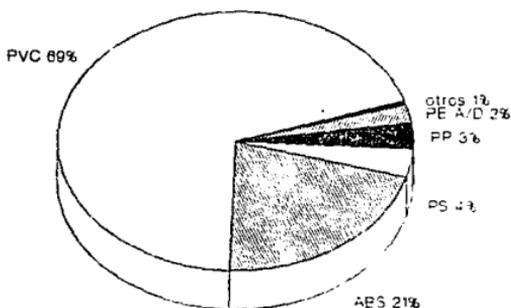
Para determinar los tipos de plásticos y sus niveles de utilización necesarios para producir los equipos requeridos por el IMSS y estipulados en sus concursos anuales, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Se seleccionaron del concurso aquellos en que al menos un componente fuese termoplástico.
- 2) De la lista resultante se eligieron aquellos que efectivamente se fabricaran en ésta empresa. (v. gr. sondas).

La tabla 2 resume los resultados obtenidos, en tanto que en la gráfica 3 salta a la vista la importancia del PVC como materia prima utilizada.

TABLA 2. REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA (TERMOPLASTICOS)		PARA LA TOTALIDAD DEL CONCURSO ANUAL DEL IMSS 1993.	
MATERIA PRIMA	CANTIDAD	PRECIO(\$/TON)*	
PVC	311.241 TONELADAS	NS 4 400.00	
ABS	95.058 TONELADAS	NS10 000.00	
PP	14.051 TONELADAS	NS 3 300.00	
PE A/D	10.600 TONELADAS	NS 3 200.00	
PE B/D	0.161 TONELADAS	NS 2 718.00	
PS	16.147 TONELADAS	NS 5 010.00	
CELCON	1.218 TONELADAS	NS13 123.00	*datos de 1993
NYLON	0.879 TONELADAS	NS 8 670.00	

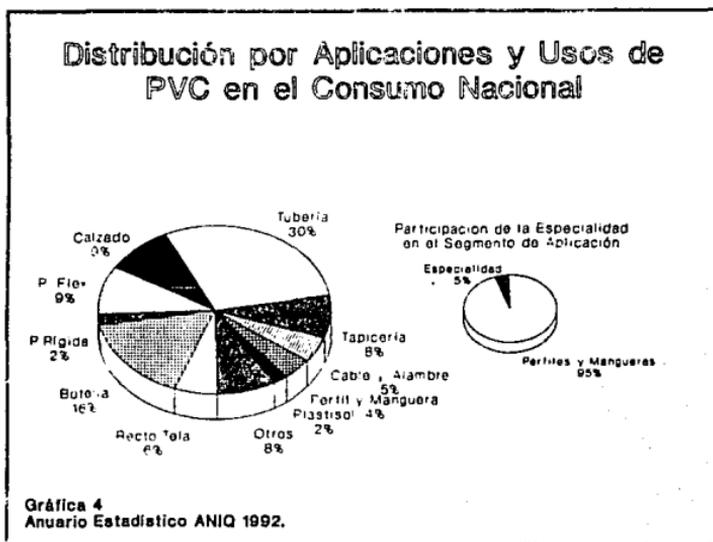
### Requerimiento de Materia Prima para Productos de Línea



Gráfica 3.  
Concurso Anual IMSS de 1993.

Con la estructura y diseño de nuestros productos, como datos ilustrativos, se producirían usando 220 toneladas de materiales diversos (de los cuales 37 % son de PVC), cerca 125 millones de piezas inyectadas y con 229 toneladas de PVC se obtendrían 22 millones de tramos de tubo extruidos.

De acuerdo con lo anterior podemos establecer la importancia del policloruro de vinilo como la base de esta rama industrial, pero considerando las aplicaciones, producción y consumo de PVC, los requerimientos para esta especialidad no impactan de manera importante en el consumo nacional del compuesto. Sobre el total del consumo aparente sólo representa el 0.2 % y dentro del campo de aplicación de perfiles y mangueras se estima una contribución al consumo del 5 % (Gráfica 4. Distribución por aplicaciones y usos de PVC en el Consumo Nacional). [3]



## BIBLIOGRAFIA SELECTA

1. BASES DEL CONCURSO DE ADQUISICIONES DE MATERIAL DE CURACION PARA EL SECTOR SALUD, CONVOCADAS POR EL INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL. MEXICO 1992 Y 1993.

2. REGISTROS Y REPORTE DE PRODUCCION DE DES YAR DE MEXICO S.A. DE C.V. EDITADOS POR EL DEPARTAMENTO DE PRODUCCION, 1986 A 1993.

3. ANUARIO ESTADISTICO.

ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA (ANIQ) 1992.

**ESPECIFICACIONES GENERALES DE LOS PRODUCTOS DE MATERIAL DE CURACION.**

En función del campo de aplicación se requiere precisar las características y especificaciones de los productos, así como, la conformación de los mismos.

Como se mencionó, los productos de material de curación se utilizan en las áreas de terapia, su descripción establece un carácter desechable, en algunos casos si así se requiere deberán ser estériles, libres de pirógenos y en términos generales deberán ser atóxicos e inertes; elaborados con materiales de grado médico.

Los equipos están compuestos por un conjunto de piezas ensambladas entre sí, para formar un sistema unitario hermético y libre de obturaciones.

**Especificaciones.**

Los materiales plásticos empleados para la fabricación de las distintas partes que integran el producto, son de grado médico y deben estar libres de defectos tales como; roturas, fisuras, nódulos, ampollas, oquedades, partes infusibles, débiles o chiclosas, etc.

Los equipos estériles deben estar provistos de protectores para garantizar la esterilidad interna, cuando éste sea extraído de su empaque para ser utilizado, además de estar libres de pirógenos.

Las distintas superficies, que se pongan en contacto con líquidos administrados, o contra tejidos del paciente no deberán tener la posibilidad de desprender partículas, ni contener sustancias que puedan disolver o causar reacciones con los fluidos administrados.

Los pigmentos usados, no deben contener en su composición, impurezas o sustancias que pueden emigrar o provocar reacciones con los líquidos administrados al paciente.

Los elementos que integran el equipo, deben ensamblar y proporcionar cierres herméticos que eviten la fuga de líquidos, estos ensambles, deben resistir una fuerza de ensamble de 3.5 Kgf durante 15 segundos, y en uniones 1.5 Kgf durante el mismo tiempo, no deben presentar fugas al aplicar una presión mínima de

100 mm Hg. (Normas expedidas por el departamento de Normas y Procedimientos de la Subdirección General de Abastecimiento del Instituto Mexicano Del Seguro Social).

La especificación para los tubos establece la flexibilidad, transparencia y dimensiones, en condiciones normales de uso y para los distintos climas en el país, siendo lo suficientemente resistentes para no sufrir deformaciones que afecten su funcionalidad.

En piezas, las características quedan definidas por la funcionalidad y el diseño particular de cada fabricante.

Se entiende por *plástico grado médico* aquel polímero o copolímero, moldeable en múltiples formas por efectos del calor y de presión, el cual es procesado mediante formulaciones específicas que garantizan la atoxicidad del producto.

Concentrando las características generales a las que se sujetan los productos fabricados en esta especialidad, se presenta el siguiente recuadro:

RESUMEN DE PRUEBAS REQUERIDAS EN LA MAYORIA DE LOS PRODUCTOS, SEGUN LAS NORMAS APLICABLES(\*).

CODIGOS DE COLOR: Deben ser los indicados.

DIMENSIONES: Deben cumplir con la especificación.

PRUEBA DE INTEGRIDAD: No debe tener fugas de aire.

ESTERILIDAD: Debe satisfacer la prueba.

PIROGENOS: No pirogénico.

OXIDO DE ETILENO RESIDUAL: 25 ppm máximo.

PARTICULAS: Debe cumplir la especificación.

PRUEBA DE SEGURIDAD: Debe ser atóxico.

METALES PESADOS: 1 ppm máximo.

RESISTENCIA DE LOS ENSAMBLES: 34.10 N (3.5 Kgf) mínimo

en partes pegadas.

14.71 N (1.5 Kgf) mínimo en

partes ensambladas.

(\*) COMUNMENTE NORMAS DEL IMSS, ISSSTE Y SSA.

Desglose de componentes por equipo.

En este momento se necesita de establecer la relación de las

distintas partes que integran un producto, la importancia radica en el hecho de que un producto no es considerado como tal, hasta no haber sido completamente terminado. Por esta razón, se requiere reconocer las distintas combinaciones e interrelaciones al programar la producción en cantidades y tiempos que coincidan para un fin común.

Se presenta la matriz de desglose de componentes para cada equipo enumerado en la Tabla 1, está formada por las piezas y tubos con códigos alfanuméricos contra el número del artículo correspondiente (Tabla 3. Matriz de Desglose de Componentes).

Cabe aclarar que la configuración de los equipos queda sujeta a variaciones debidas en ocasiones al destinatario del producto, ya que se cumplen con normas particulares del usuario. Sin embargo, con el propósito de presentar un esquema didáctico, cumple con un gran nivel de veracidad de las condiciones reales de producción.

Falta incluir materiales de empaque y embalaje que son adquiridos de proveedores diversos y que no tienen incidencia alguna en la capacidad de los procesos de transformación.

La forma de utilización de esta matriz se inicia reconociendo el número correspondiente al equipo deseado, encontrándose en la parte superior de la misma como columnas. En el extremo izquierdo de la hoja encontraremos los siguientes datos; *No. de parte, Peso de la pieza en gramos, estandar de producción en máquinas en piezas por hora (Std.) y finalmente el tipo de material con que se fabrica el componente en cuestión.*

El cruce de columnas y renglones indicará si la pieza o tubo forma parte del equipo indicando el número de partes de cada clave que lo conforman. Para ello se reproduce una sección de la matriz a modo de ejemplo.

MATRIZ DE DESGLOSE DE COMPONENTES.										
No. Parte	Peso (gr)	Std. (pzas/hr)	Tipo de Material	Número del artículo.						
					53	54	55	56		57
G 38	1.16	2045	PEA/D		2	1	2	1	2	
T 60	5.68	545	PVC		1	1	1	1	1	

Tabla 3. Matriz de Desglose de Componentes.

Componente	Categorías		Subcategorías		Indicadores		Medidas	
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Estructura Organizativa	1.1. Estructura Organizativa	1.1.1. Estructura Organizativa	1.1.1.1. Estructura Organizativa	1.1.1.1.1. Estructura Organizativa	1.1.1.1.1.1. Estructura Organizativa	1.1.1.1.1.1.1. Estructura Organizativa	1.1.1.1.1.1.1.1. Estructura Organizativa	1.1.1.1.1.1.1.1.1. Estructura Organizativa
2. Recursos Humanos	2.1. Recursos Humanos	2.1.1. Recursos Humanos	2.1.1.1. Recursos Humanos	2.1.1.1.1. Recursos Humanos	2.1.1.1.1.1. Recursos Humanos	2.1.1.1.1.1.1. Recursos Humanos	2.1.1.1.1.1.1.1. Recursos Humanos	2.1.1.1.1.1.1.1.1. Recursos Humanos
3. Procesos Operativos	3.1. Procesos Operativos	3.1.1. Procesos Operativos	3.1.1.1. Procesos Operativos	3.1.1.1.1. Procesos Operativos	3.1.1.1.1.1. Procesos Operativos	3.1.1.1.1.1.1. Procesos Operativos	3.1.1.1.1.1.1.1. Procesos Operativos	3.1.1.1.1.1.1.1.1. Procesos Operativos
4. Resultados	4.1. Resultados	4.1.1. Resultados	4.1.1.1. Resultados	4.1.1.1.1. Resultados	4.1.1.1.1.1. Resultados	4.1.1.1.1.1.1. Resultados	4.1.1.1.1.1.1.1. Resultados	4.1.1.1.1.1.1.1.1. Resultados
5. Impacto Social	5.1. Impacto Social	5.1.1. Impacto Social	5.1.1.1. Impacto Social	5.1.1.1.1. Impacto Social	5.1.1.1.1.1. Impacto Social	5.1.1.1.1.1.1. Impacto Social	5.1.1.1.1.1.1.1. Impacto Social	5.1.1.1.1.1.1.1.1. Impacto Social
6. Sostenibilidad	6.1. Sostenibilidad	6.1.1. Sostenibilidad	6.1.1.1. Sostenibilidad	6.1.1.1.1. Sostenibilidad	6.1.1.1.1.1. Sostenibilidad	6.1.1.1.1.1.1. Sostenibilidad	6.1.1.1.1.1.1.1. Sostenibilidad	6.1.1.1.1.1.1.1.1. Sostenibilidad
7. Innovación	7.1. Innovación	7.1.1. Innovación	7.1.1.1. Innovación	7.1.1.1.1. Innovación	7.1.1.1.1.1. Innovación	7.1.1.1.1.1.1. Innovación	7.1.1.1.1.1.1.1. Innovación	7.1.1.1.1.1.1.1.1. Innovación
8. Gobernanza	8.1. Gobernanza	8.1.1. Gobernanza	8.1.1.1. Gobernanza	8.1.1.1.1. Gobernanza	8.1.1.1.1.1. Gobernanza	8.1.1.1.1.1.1. Gobernanza	8.1.1.1.1.1.1.1. Gobernanza	8.1.1.1.1.1.1.1.1. Gobernanza
9. Transparencia	9.1. Transparencia	9.1.1. Transparencia	9.1.1.1. Transparencia	9.1.1.1.1. Transparencia	9.1.1.1.1.1. Transparencia	9.1.1.1.1.1.1. Transparencia	9.1.1.1.1.1.1.1. Transparencia	9.1.1.1.1.1.1.1.1. Transparencia
10. Responsabilidad Social	10.1. Responsabilidad Social	10.1.1. Responsabilidad Social	10.1.1.1. Responsabilidad Social	10.1.1.1.1. Responsabilidad Social	10.1.1.1.1.1. Responsabilidad Social	10.1.1.1.1.1.1. Responsabilidad Social	10.1.1.1.1.1.1.1. Responsabilidad Social	10.1.1.1.1.1.1.1.1. Responsabilidad Social

## Principales características y propiedades del PVC.

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

Las características de comportamiento y procesamiento de las resinas de PVC pueden variar con el peso molecular (el cual para muchas resinas de PVC comerciales están entre 50,000 y 120,000), su tamaño de partícula y las características de la superficie de la misma. [2]

Para el PVC como resina tenemos las siguientes propiedades:

### **ESTRUCTURA**

La estructura de las partículas de PVC varía según el proceso de obtención de la resina:

#### *Suspensión*

Cada partícula con un diámetro de unos 100 micrones en promedio, que se obtiene después de la polimerización, se compone de una gran cantidad de subgranos, rodeados de una película pericelular. Los subgranos cuyo diámetro en promedio es de unos 40 micrones está formado por aglomerados de partículas primarias cuyo tamaño es del orden de 0.2 a 1.5 micrones.

#### *Emulsión y Masa*

También, se encuentran estructuras análogas, pero en ellas falta la cutícula típica del PVC de suspensión.

### FORMA Y TAMAÑO DE LA PARTICULA

Su forma es esférica y en algunos casos tiene similitud a la de una bola de algodón. El tamaño varía según se trate de resina de suspensión o de pasta (emulsión). En el caso de la resina de suspensión, el diámetro de la partícula va de 40 micrones (resina de mezcla) a 100-200 micrones (resina de uso general). En el caso de resina de pasta, el diámetro de la partícula es de 0.2 a 5 micrones, configurando el siguiente recuadro:

TAMAÑO DE PARTICULA SEGUN EL PROCESO DE OBTENCION DE LA RESINA DE PVC.	
PROCESO	TAMAÑO DE LA PARTICULA
SUSPENSION	* 100 - 200 MICRONES
PASTA	* 100 - 200 MICRONES
EMULSION	** 0.2- 5 MICRONES
SOLUCION	0.2- 5 MICRONES

\* Resinas especiales de 20 a 70 micrones  
\*\* Algunos tipos contienen aglomerados de hasta 60 micrones

### POROSIDAD DE LA PARTICULA

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

### PESO MOLECULAR

El peso molecular promedio se mide indirectamente determinando la viscosidad específica en soluciones al 0.4 % de nitrobenzeno o la viscosidad inherente en soluciones al 0.5 % de ciclohexanona. En el primer caso, nos da valores de 0.30 a 0.71 y en el segundo de 0.650 a 1.348. Conforme disminuye el peso molecular, las temperaturas de procesamiento de las resinas serán más bajas y más fácilmente procesables; las propiedades físicas en el producto terminado, tales como tensión y resistencia al rasgado serán más pobres; el brillo y la capacidad de aceptar más carga y la fragilidad a baja temperatura será mayor.

### DENSIDAD RELATIVA.

El valor típico para el PVC tipo homopolímero es de 1.4 g/cc. Los compuestos modifican su densidad relativa al incorporar

cargas o plastificantes.

El plastificante reduce el peso específico del compuesto. Por cada 10 partes de DOP se reduce en aproximadamente 0.02 g/cc, mientras que la carga lo aumenta en función del tipo de que se trate.

#### **ESTABILIDAD TERMICA**

A mayor peso molecular, se tiene mayor estabilidad térmica, durante su procesamiento, la resina se degrada al recibir calor y trabajo. La degradación se presenta en forma de amarillamiento y empobrecimiento de las propiedades mecánicas del producto. Es para evitar esto que se usan los estabilizadores, que pueden ser de varios tipos dentro de los cuales tenemos los de estaño, calcio-zinc, de antimonio, bario-cadmio, bario-cadmio-zinc y plomo.

#### **CARACTERISTICAS DE PROCESABILIDAD**

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

#### **PROPIEDADES REOLOGICAS**

##### **A) Resina de emulsión pasta**

Como resultado de la formulación de la resina de pasta, se obtiene el plastisol. Las principales propiedades del plastisol son:

La viscosidad, la dilatancia y el esfuerzo mínimo de deformación:

-La viscosidad, en las resinas de pasta es una característica básica, pues mediante la apropiada viscosidad se controlan los espesores y las velocidades de aplicación y las características de flujo observadas son no newtonianas.

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

-Dilatancia es cuando la viscosidad aparente del plastisol se aumenta al aumentar el esfuerzo cortante; a menor cantidad de plastificantes mayor dilatancia.

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

#### B) Resinas de homopolímeros suspensión y masa.

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

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

#### PROPIEDADES QUÍMICAS

El PVC es soluble en ciclohexanona y tetrahidrofurano. Con los copolímeros de acetato de vinilo y cloruro de vinilideno, se reduce la temperatura de fusión. Puede post-clorarse, elevando su temperatura de distorsión. El PVC resiste a líquidos corrosivos, soluciones básicas y ácidas, soluciones salinas y otros solventes y productos químicos; tiene buena estabilidad dimensional, es termoplástico y termosellable. Sólo arde en presencia de fuego; de otra forma, no sostiene la flama y tiene además buena resistencia a los efectos del medio ambiente, principalmente al ozono.

#### PROPIEDADES ELÉCTRICAS

El PVC tiene gran poder de aislamiento eléctrico, para medirlo se usa el método de resistividad volumétrica. Esa propiedad se puede modificar con los aditivos adecuados (ejemplo: estabilizadores y cargas).

Las resinas de emulsión y solución tienen pobres propiedades

dieléctricas, debido a la presencia de los diversos aditivos usados durante la polimerización.

#### PROPIEDADES DEL PVC EN COMPUESTO

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

PROPIEDADES BASICAS		
	RIGIDO	PLASTIFICADO
DENSIDAD (g/cc)	1.35-1.45	1.15-1.35
CALOR ESPECIFICO (cal/°C/g)	0.24	
COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA(1/°C)	$6 \times 10^{-5}$	
TEMPERATURA DE DISTORSION POR CALOR(°C)	55-75	
ABSORCION DE AGUA (24 Hrs/1/2 in)(%)	0.08-0.4	0.2-0.8
RESISTIVIDAD VOLUMETRICA ( $\Omega$ cm)	$10^{16}$	$10^{-11}$ -14
RESISTENCIA A LA TENSION (Kg/cm <sup>2</sup> )	400-650	100-250
ELONGACION (%)	10-100	100-250
RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD (Kg-cm/cm <sup>2</sup> Notch)	5-12	

PROPIEDADES PRACTICAS	
LIBRE DE OLOR AUTOEXTINGUIBLE BUENA RESISTENCIA QUIMICA BUENA RESISTENCIA A LA INTEMPERIE EXCELENTE AISLAMIENTO ELECTRICO AMPLIA GAMA DE APLICACIONES	
LIGERAMENTE SOLUBLE EN SOLVENTES ORGANICOS	
SOLVENTES	SOLUBILIDAD
TETRAHIDROFURANO (THF)	BUENA
ACETONA, BENCENO (1:1)	BUENA
CLOROBENCENO, NITROBENCENO	SOLUBLE CON CALENTAMIENTO
DIOXANO, CICLOHEXANONA	SOLUBLE CON CALENTAMIENTO

#### BIBLIOGRAFIA SELECTA

1. REGISTROS Y REPORTES DE PRODUCCION DE DES VAR DE MEXICO S.A. DE C.V. EDITADOS POR EL DEPARTAMENTO DE PRODUCCION, 1986 A 1993.
2. PVC DOCUMENTO PROMOCIONAL. SECCION DE PVC Y COMISION DE ESTUDIOS DE MERCADO. ANIO, 1990.

**ASPECTOS TECNICOS DE LOS PROCESOS DE TRANSFORMACION DE LAS MATERIAS PRIMAS.**

El análisis de un proceso de transformación de materiales plásticos permite la aplicación de conceptos manejados durante la formación profesional. Sin embargo, la conjugación de los mismos con las experiencias empíricas, observan una evolución con equilibrios muy frágiles. Parecería que la información teórica no coincide con las necesidades prácticas, ni mucho menos con la velocidad de respuesta exigida, comúnmente la toma de decisiones presenta etapas iniciales de gran incertidumbre, la carga de trabajo no deja espacio para analizar detalladamente al sistema y conducirlo en niveles de control.

Finalmente, el ordenamiento de la información obtenida por aciertos y errores, conforma una base de datos y la capacidad de manipularla favorece a un desempeño más eficaz.

Se puede establecer que asimilando los aspectos que caracterizan al sistema, permitirán adaptarse a él o modificarlo.

En base a lo anterior la implantación de programas de capacitación permanente reflejarían un aumento en la productividad de la empresa, aunque la mayoría de las veces, se considera un gasto infructuoso y es motivador pugnas de tipo laboral.

Continuando con la ruta determinada por el proceso, primeramente se considera la adquisición de materiales, los cuales deberán cumplir con las características exigidas para la elaboración del material de curación.

El total del material consumido en las áreas de proceso se compraba a proveedores, actualmente todo el PVC procesado es formulado dentro de la empresa. Las características de los materiales en general son las siguientes:

\* **Procesabilidad:** Propiedad definida por la fluidez o viscosidad de la masa termoplástica, define un cuadro operativo de mayor rendimiento en términos de velocidad de inyección.

\* **Resistencia Mecánica, Flexibilidad, Ruptura y Dureza:** predeterminadas según el desempeño de la pieza.

\* Color según códigos de identificación, preparados o pigmentados en planta.

La materia prima en sí, representa una mezcla de resinas y aditivos que confieren propiedades específicas a los polímeros o copolímeros, para dirigir su aplicación, en este caso para procesos de inyección o extrusión.

A través de la formulación característica de compuestos de PVC observaremos las contribuciones a modificar las propiedades para adecuarlas a la funcionalidad del producto.

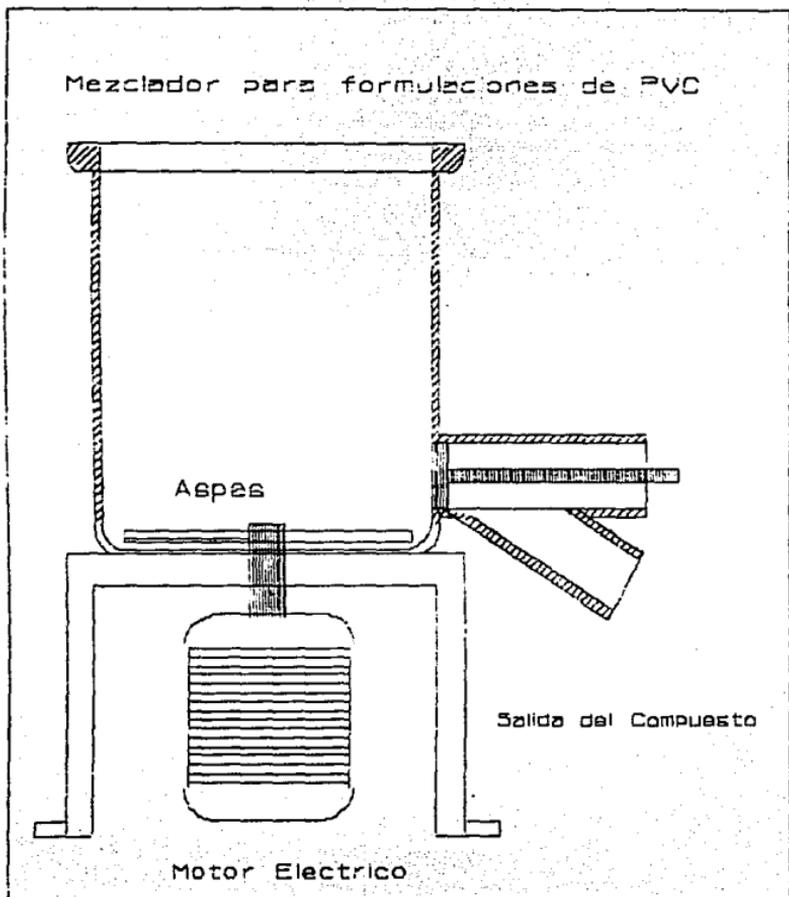
#### Formulaciones Características de PVC para Material de Curación.

El PVC es utilizado tanto en la fabricación de piezas inyectadas, como de tubos extruidos. Y se requiere de diferentes durezas según la funcionalidad del componente deseado, por ejemplo: Tubos para penetración al paciente, deberán ser relativamente blandos; Tubos para drenaje podrán ser más duros que los anteriores para evitar dobleces, y presentando una menor pared considerando el diámetro de este tipo de tubos. En la misma situación se requiere de piezas blandas para contacto con la piel y más duras y cristalinas como lo es una cámara de goteo.

En el anexo 2 se desarrollan los principios básicos de una formulación, lo que se presentará a continuación es el análisis de las formulaciones realizadas dentro de la empresa. Las cuales se llevan a cabo dentro de un reactor cilíndrico, como se muestra en la Figura 1. Mezclador para compuestos de PVC fabricado en acero inoxidable, en su interior cuenta con espas colocadas en el fondo y una desviación para la descarga.

Cuenta además, con un motor de 20 HP para accionar las espas.

FIGURA 1. MEZCLADOR PARA FORMULACIONES DE COMPUESTOS DE PVC.



El procedimiento inicia agregando la resina;

#### Resina

Se utiliza resina de policloruro de vinilo de homopolímero obtenida por el proceso de polimerización por suspensión, es adquirido en bultos de 25 kg, un polvo blanco muy fino con un valor K de 70. Comercialmente se adquiere como Vinicel G-30 a Polycyd, S.A. de C.V.<sup>1</sup>

Se recuerda que por si sólo no es procesable debido a su baja resistencia térmica, razón por la cual se mezclará con estabilizadores térmicos.

#### Estabilizadores térmicos

Se proponen estabilizadores no tóxicos tipo Ca/Zn en niveles de 1 a 2 PRC (partes por cien de resina)<sup>2</sup> junto con 5-10 PCR de aceite de Soya Epoxidado<sup>3</sup> para obtener una óptima estabilidad al calor. Se recomienda el uso de Fosfito no tóxico en niveles de 0.5 a 1 PCR para optimizar el color inicial del compuesto. Este sistema produce una buena claridad así como retención de color inicial en productos que requieran aprobación del FDA (Food and Drugs Association).

Los anteriores se integraran al reactor cuando éste se haya calentado por acción de la fricción generada por las aspas agitando la resina, se presume temperaturas entre 70 a 80 °C.

Las cantidades propuestas no presentan diferencias importantes para las distintas aplicaciones. tal vez alguno de ellos se aumenta para procesos de inyección, considerando una mayor exposición al calor dadas las características del proceso que implican mayor tiempo de residencia del material dentro del "cañón" de la máquina.

---

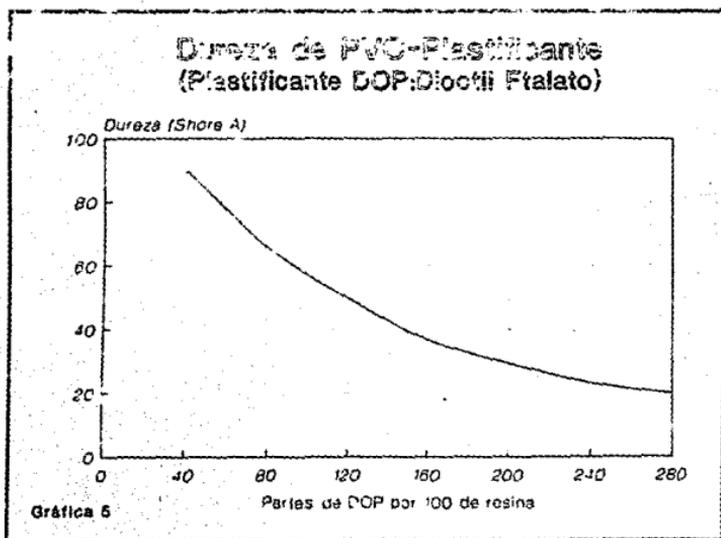
1. Fuente: DATOS TÉCNICOS, VINICEL G-30. POLICYD, S.A. DE C.V.

2. Fuente: INFORMACION TÉCNICA, MARK-3203. ARGUS QUÍMICA MEXICANA S.A. DE C.V.

3. Fuente: INFORMACION TÉCNICA, PANTOPOX. RESINAS Y MATERIALES S.A. DE C.V.

### Plastificantes

El reactor seguirá agitando la mezcla y se integrará de manera pausada el plastificante, a una temperatura aproximada de 40°C, esta condición de operación propiciada por la falta de cambio de velocidades, habitualmente se incorpora el plastificante a velocidad baja y temperatura de 70°C. En caso contrario se espera degradación del material, observando cambio de color principalmente. Se utiliza un plastificante primario denominado comercialmente como RYMSAPLAS 390 (DOP:Diocetil Ftalato) para aplicaciones con Resinas de PVC, líquido claro agregado en mayor cantidad en relación a los otros aditivos. La cantidad de plastificante determinará la dureza del producto final, la Gráfica 5. presenta la relación entre la dureza del compuesto en función de las partes de DOP por cada 100 de resina de PVC.<sup>4</sup>



4. Fuente: INFORMACION TECNICA, RYMSAPLAS 390, RESINAS Y MATERIALES S.A. DE C.V.

### **Lubricantes**

Se utiliza el lubricante marca Mark BS 400, líquido ligeramente cristalino, recomendado para compuestos rígidos y semirrígidos de PVC que requieren de buena transparencia. Se usa en niveles de 1 a 2 PCR dependiendo de las características finales del producto. Es considerado como un lubricante interno-externo que tendrá contribuciones específicas en el acabado del producto y la procesabilidad en máquinas, ya que se incrementa su cantidad en procesos de inyección en comparación con los de extrusión, por razones similares referidas a los estabilizadores de calor.<sup>5</sup>

Los lubricantes serán agregados al final en la mezcla a una temperatura cercana a los 120°C. para inmediatamente descargar, se podrá utilizar en máquinas de extrusión o permanecerá en reposo y posteriormente se pulveriza en molinos para su almacenamiento.

Como ejemplo se proponen las siguientes formulaciones típicas, una para procesos de extrusión y otra para inyección.

Es importante establecer que para la primera se pretende una dureza aproximada de 60 a 65 grados Shore A, mientras que para inyección se desea una dureza de 70 a 75 Shore A. Propiedad modificada principalmente por la proporción del plastificante incorporado. [1]

#### Formulación Típica de PVC para Extrusión.

Resina	100 partes
Plastificante (DOP)	80 partes
Aceite Epoxidado de Soya	5 partes
Estabilizador Ca/Zn	1 parte
Fosfito Quelante	1 parte
Lubricante Ext-Int.	0.5 partes

5. Fuente: INFORMACION TECNICA, MARK BS 400, ARGUS QUIMICA MEXICANA S.A. DE C.V.

### Formulación Típica para PVC para Inyección.

Resina	100 partes
Plastificante (DOP)	65 partes
Aceite Epoxidado de Soya	5 partes
Estabilizador Ca/Zn.	1 parte
Fosfito Quelante	1.2 partes
Lubricante Ext-Int.	1.2 partes.

Algunos materiales requieren preparaciones específicas antes de procesarlas tales como: secado de gránulos, pigmentación, mezclar material de primera con remolido, etc.

Antes de poder establecer un balance de materiales para los estimados de requisición de materiales y rendimientos, es necesario conocer los procesos de transformación, se describen a continuación los aspectos generales de estos para posteriormente integrar un cuadro operativo que nos conduzca a conocer la capacidad de producción y establecer los parámetros para una rápida evaluación del sistema.

### **Descripción de los Procesos de Transformación de PVC**

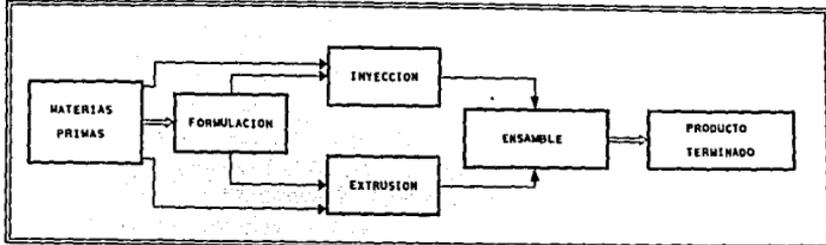
A continuación se describen algunos de los procesos empleados para la transformación del PVC.

#### PROCESOS MAS COMUNES PARA LA TRANSFORMACION DEL PVC

EXTRUSION  
INYECCION  
SOPLADO  
CALANDREO  
COMPRESION  
TERMOFORMADO  
MOLDEO VACIADO O CASTING  
RECUBRIMIENTOS POR INMERSION, DEPOSITO ELECTROSTATICO  
RECUBRIMIENTO POR ESPARCIDO  
ESPUMADO QUIMICO O MECANICO

Los procesos de transformación de interés para este trabajo son los procesos de Extrusión e Inyección, pues son los únicos empleados en la fabricación de partes de los productos de la línea de material de curación, los cuales se ubican en el siguiente diagrama.

DIAGRAMA DE BLOQUES



### Extrusión

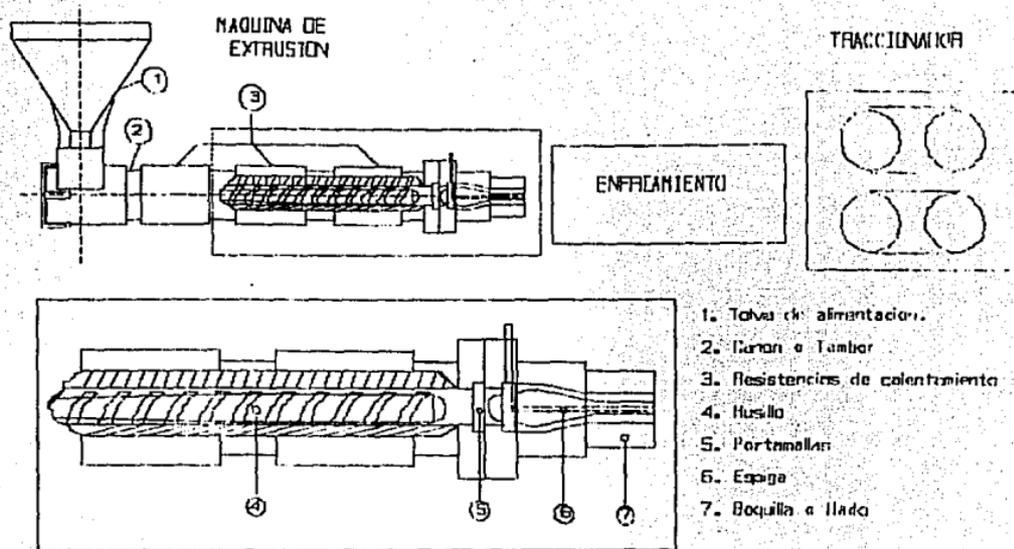
La extrusión termoplástica consiste en difundir y comprimir las partículas plásticas, mientras son forzadas mediante un tornillo, que gira dentro de una cavidad llamada "cañón", para conducir las hasta el extremo que desemboca en un "dado" o "boquilla" que le da al material fundido una determinada configuración, de acuerdo a la sección definida de ese dispositivo, forma o perfil que se vuelve permanente al solidificarse, por enfriamiento de la masa termoplástica fundida.

El proceso se puede calificar de versátil y continuo, siendo un parámetro para establecer una inversión razonablemente económica.

### Descripción del Proceso.

En la Figura 2 se muestra esquemáticamente una extrusora de un husillo utilizada en la fabricación de PVC. Existe un motor eléctrico en la parte posterior de la máquina, transmitiendo el movimiento de giro por medio de un reductor de velocidad y finalmente al husillo. El husillo recoge el material en la Tolva (1) de carga en gránulos o finos polvos, así mismo en el trayecto sobre el Husillo (4) se observan tres zonas; la primera de transporte y mezcla, la segunda de plastificación a través del calentamiento de Cañón (2) con Resistencias Eléctricas (3) y finalmente la tercera zona la de compresión de la masa termoplástica desplazada gracias al husillo, diseñado como un canal helicoidal a lo largo del cilindro o cañón, se consigue la homogenización del termoplástico fundido y su extrusión a través de las Mallas Filtrantes (5) y entre al Cabezal formado por la Espiga (6) y la Boquilla (7) perfiladora.

# SISTEMA DE EXTRUSION DE PVC



El cilindro está dividido en varias zonas anteriores donde la temperatura se controla y regula automáticamente.

La acción impelente del husillo depende de la velocidad de giro, ángulo de hélice de la espiral y del coeficiente de fricción, que surge como consecuencia del roce del material con las paredes del cilindro y la superficie del husillo. Estos coeficientes dependen principalmente del material a transformar y de las temperaturas de las superficies del cilindro y del husillo.

El material será impulsado con mayor efectividad por el husillo cuanto mayor sea la fricción entre el material y las paredes del cilindro y cuanto mayor sea en la superficie del husillo.

El proceso de extrusión propiamente dicho depende de la temperatura en las diferentes zonas, razón que define criterios de formulación del compuesto de PVC.

El proceso puede ser analizado en las diferentes zonas de alimentación, compresión y dosificación (extrusión) donde el termoplástico atraviesa tres estados físicos; sólido, conglomeración del material sólido con la masa caliente, y finalmente se transforma en masa fundida. Al flujo de material plastificado de esta zona se le pueden aplicar leyes hidrodinámicas para líquidos viscosos.

Hablando en términos matemáticos el trabajo de una extrusora de husillo (como bomba helicoidal) puede obtenerse aplicando las ecuaciones correspondientes a las leyes de conservación de masa, energía y movimiento, con las que describen el estado físico de un líquido a presión, en nuestro caso, la masa fundida.

#### *Máquinas de Extrusión*

El husillo es el órgano fundamental de trabajo de una extrusora. Tanto la producción como la aplicación de la extrusora dependen del diámetro del husillo, de la relación de su longitud al diámetro (L:D), de la velocidad de giro y de las particularidades geométricas del canal helicoidal, perfil del vértice de los filetes y del cabezal, existencia de refrigeración, número de zonas, etc.

Generalmente, para la transformación de los plásticos se emplean extrusoras con husillo de 9 a 580 mm y una relación L:D = (60/40):1. Es más común una relación L:D = (20/25):1.

El número de revoluciones del husillo comúnmente se regula con un variador mecánico o caja de cambios. Cuando el accionamiento es por medio de motores asincrónicos de colector y motores de corriente continua o hidráulicos el cambio de las revoluciones lo realiza directamente el motor.

Según el material a transformar y en parte según la forma y finalidad de los artículos a fabricar, los husillos se construyen de uno o varios canales, con paso y profundidad del canal constante o variable. Sin embargo, por su mayor capacidad de producción y facilidad de fabricación generalmente se emplean los husillos de paso constante y profundidad del canal variable.

El grado de compresión, es decir, la relación de los volúmenes de los canales helicoidales en las áreas correspondientes a un paso de las zonas de alimentación y extrusión, se encuentra en el intervalo de 1.5:1 a 5:1. Ahora bien, para la transformación de poliolefinas y poliamidas se suelen aplicar valores mayores; al fabricar cables y películas, cuando se requiere mayor presión de extrusión, el grado de compresión es menor.

Tiene mucha importancia en el trabajo de una extrusora la medida del huelgo anular entre la cresta del filete del husillo y la superficie interior del cilindro. Cuando el huelgo es grande el material se mezcla con mayor efectividad, pero disminuye el avance del mismo por aumentar el flujo inverso del material. Generalmente, se suelen emplear husillos de diámetro constante, manteniendo un huelgo entre el husillo y cilindro de  $0.002D$  para los husillos de diámetro grande y  $0.005D$  para los de diámetro pequeño. Ahora bien, al trabajar con material de reducida viscosidad, como poliamidas y algunas clases de polietileno este huelgo no deberá sobrepasar de 0.1 mm.

Tanto o más importancia que el diámetro y el huelgo anular tiene la longitud del husillo, o mejor la relación L:D. Al aumentar la longitud del husillo, aumenta el efecto de calor sobre el material, la velocidad de giro y la producción de la

extrusora, aumentando al mismo tiempo la potencia del accionamiento.

Por otro lado, para fabricar tubos, perfiles continuos y láminas resulta conveniente utilizar husillos cortos. Los largos deberán emplearse en las extrusoras rápidas, destinadas a la fabricación de películas, fibras, gránulos, para revestimientos en papel y tela, para formar la envoltura aislante de cables y alambres. En la mayoría de los casos los husillos se hacen con paso constante, igual al diámetro.

La configuración geométrica del husillo depende fundamentalmente del material a transformar. En la Figura 3. se puede apreciar husillos de tres zonas: alimentación, compresión y extrusión, con longitudes correspondientes en función de las dimensiones del diámetro, con profundidades del canal constantes o variables.

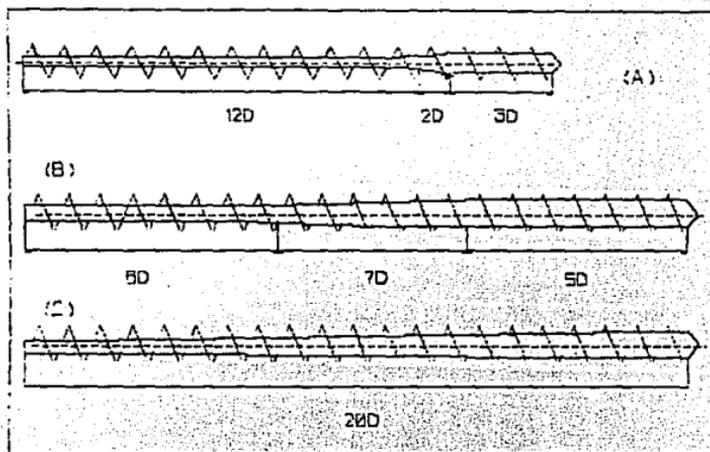


FIGURA 3. Husillos generalmente empleados en la transformación de diversos materiales termoplásticos:

(A) Husillo con zona de alimentación larga y zona de compresión corta; (B) Husillos con zona de compresión larga; (C) Husillo con una zona de compresión creciente para transformar PVC.

Para transformar PVC se suelen emplear husillos de 20D con una sola zona de compresión paulatina, al comienzo de la cual se efectúa la alimentación y al final la extrusión del material plastificado homogéneo. La ausencia de cambios bruscos entre zonas permite eliminar la destrucción térmica del material.

Los cilindros, medios de calefacción y refrigeración, así como los dispositivos periféricos de carga y tracción complementan el conjunto de elementos que forman una máquina extrusora.[2]

Actualmente se cuenta con dos máquinas extrusoras con las siguientes características:

Máquina	Díametro	Longitud	Compresión	Potencia	Calefacción
Grande	50 mm	20 D	3:1	20 HP	5 zonas
Chica	32 mm	20 D	3:1	10 HP	3 zonas

#### Condiciones de Operación

Particularmente las condiciones de operación que se controlan después de la formulación del compuesto de PVC, son las que definen el perfil de temperaturas y la velocidad de tracción en función del diámetro del tubo producido.

El perfil de temperatura contempla temperaturas en la alimentación de 120 a 130°C para la primera zona de calentamiento, para las zonas subsecuentes se incrementa hasta los 150°C en la cuarta zona y en la última zona que se encuentra en la boquilla perfiladora registra una temperatura de 140 a 145°C. Las variaciones entre distintos compuestos y los del medio ambiente, no definen una condición única de operación, por ejemplo; En operacines matutinas se registran temperaturas ambientales dentro de la planta hasta de 36°C y las temperaturas de las zonas de calentamiento se mantienen relativamente bajas, en comparación con condiciones de operación nocturna, que son completamente contrarias.

Lo relativo al dimensionamiento del producto obtenido, se rigen por la boquilla perfiladora, básicamente se cuenta con dos tamaños de éstas, pero con ellas podemos obtener la gama de más de cuarenta claves diferentes, que van desde los 2.66 mm de diámetro exterior hasta los 9.31 mm. En algunos casos la diferencia se observa solamente en la longitud del tramo, y los que pertenecen a

la línea de administración de oxígeno se pigmentarán en verde.

La forma de dimensionar las boquillas y espigas se basa en un balance de diámetros establecido por la ecuación del diagrama siguiente:

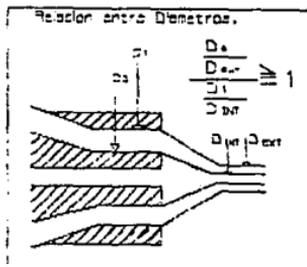


FIGURA 4. RELACION DE BALANCE ENTRE DIAMETROS.

La velocidad de tracción, independiente de la velocidad de la extrusora, siempre y cuando sea mayor, determinará las dimensiones finales del tubo de manera inversamente proporcional, es decir, a mayor velocidad de arrastre menor diámetro externo del tubo; otro elemento a considerar es la posición de la tina de enfriamiento, que contiene agua a una temperatura de 15 °C contribuyendo de manera inversa en la pared del tubo con relación a la distancia entre la boquilla y la tina de enfriamiento, esto es, a mayor distancia menor pared, aunque los cambios no son muy significativos.

El punto medular de esta sección es la de establecer la forma y la cantidad de procesamiento de PVC. Con la anterior exposición se pretende explicar el sistema de transformación por extrusión, y para fines de requerimiento de materiales, se presentan los consumos promedios para las máquinas existentes:

Máquina Grande	19 a 20	Kg/hr.
Máquina Chica	4	Kg/hr.

Los consumos presentan pequeñas variaciones en relación al cabezal utilizado, entre menor sean los diámetros, el área de paso disminuye al igual que el gasto de flujo másico.

Los rendimientos observados promedian un 80 % de productividad, el calibrar diferentes diámetros, las operaciones de puesta en marcha y paro, cumplir con las especificaciones principalmente las relacionadas con "ojos de pescado", "puntos

"negros" y otras que afecten su apariencia, restringen la continuidad de operación con la consecuente generación de desperdicio. Además, las limitaciones al uso de material reprocesado para extrusión, y las deficiencias acreditables al operador, a la máquina y a la formulación de PVC forman el conjunto de elementos que determinan el porcentaje de productividad indicado, es decir, los 450 Kgs. procesados en extrusión se convierten en 360 Kgs. de Tubo en la máquina grande. [1]

#### **Descripción del Proceso de Inyección de Termoplásticos.**

En el proceso de inyección se introduce una masa dosificada de material termoplástico fundida de manera homogénea en la cavidad del molde relativamente frío (provisto de la reproducción en negativo de la pieza a fabricar). Posteriormente solidificada la masa inyectada la pieza se puede extraer con el molde abierto.

#### *Consideraciones Tecnológicas.*

- Exactitud de la forma y dimensiones de las piezas inyectadas.
- Posibilidad de formar orificios, refuerzos, ajustes y marcas, así como la inserción de elementos de otros materiales, con lo que la producción se hace completa, o las piezas quedan considerablemente listas para montaje.
- Superficies con acabados distintos.
- Capacidad de producción relativamente alta y gran aprovechamiento del material empleado.

#### *Descripción del proceso.*

Siguiendo la ruta del material, se inicia en la tolva, dispositivo dosificador situado sobre la unidad inyectora de la máquina. Una determinada cantidad de este material cae ante el émbolo en máquinas de este tipo, o bien sobre el husillo para ser empujadas hacia adelante en el curso de un ciclo de operación. Desarrolla su movimiento de trabajo a través del cilindro de plastificación. Las resistencias eléctricas de calentamiento situadas en la superficie exterior del cilindro elevan la temperatura que produce la transformación de la masa de inyección prensada en una fusión termoplástica.

La pared interior del cilindro transmite continuamente su calor propio al granulado, que empieza rápidamente a modificar su consistencia sólida de granos bajo la influencia de la temperatura. Para impeler el material hacia la pared interior del cilindro y conseguir una influencia térmica uniforme, se ha dispuesto en el interior del mismo un dispositivo de presión de la masa, conocido como torpedo por su configuración hidrodinámica.

El proceso de inyección es un método de trabajo intermitente, ya que observa una breve pausa en el avance del material a través del cilindro de la unidad de plastificación, resulta por tal motivo una operación cíclica. Cada avance aumenta la disgregación del material, llegando a la parte delantera del cilindro calefactor como fusión plástica homogénea y lista para la inyección, a través de la boquilla se presiona la masa caliente hacia el molde cerrado. El flujo de este proceso se efectúa con un despliegue de energía relativamente elevado, ha motivado que en la práctica se denomine como disparo el ciclo de trabajo de la unidad inyectora. La velocidad de inyección (velocidad de disparo) depende de las propiedades del plástico que se emplea; el émbolo puede moverse en forma lenta o brusca según el diseño de la máquina.

El molde de inyección es parte de la unidad de cierre de la máquina y consta fundamentalmente de dos mitades, fijadas respectivamente a las platinas portamolde, uno del lado de la boquilla y la otra del lado del extractor.

El material inyectado atraviesa el bebedero o boquilla del molde y llega a través de los canales de llenado o venas de alimentación de los huecos del molde o cavidades, que corresponden a la imagen en negativo de la pieza a fabricar.

La cantidad de material dosificada debe ser tal que su volumen sea suficiente para llenar las cavidades del molde. La masa plástica enfría al poco tiempo dentro del mismo, debido a que un sistema de enfriamiento dispuesto en sus dos mitades disipa el calor y acelera el proceso de solidificación de la pieza.

Finalizado el proceso de solidificación puede abrirse el molde, para extraer la pieza por los expulsores o pernos botadores del sistema extractor. Ello ocurre cuando casi se ha alcanzado la posición de apertura máxima de la platina portamolde

del lado extractor donde se localiza un tope en el soporte de la máquina con el que choca el sistema para expulsar la colada. Con el desmoldeo de la pieza inyectada termina el ciclo de trabajo.

#### *Plastificación del Material en Unidades de Inyección.*

La transformación de materias termoplásticas, desde el granulado hasta la masa plástica homogénea y de viscosidad estructural, lista para la elaboración, tiene lugar en el sistema de plastificación de la unidad inyectora de la máquina.

En el curso de la disgregación del material, la masa de inyección recorre tres estados distintos, cuyas transiciones no pueden delimitarse con nitidez a causa de las diversas longitudes de las cadenas macromoleculares. El material se encuentra en estado sólido en su forma de suministro, cuando llega al cilindro de plastificación. El estado termoelástico se inicia al alcanzar la temperatura de reblandecimiento y se caracteriza por una reducción de las fuerzas de cohesión intermoleculares, registrando un descenso de la resistencia del material debido a la disgregación de la estructura molecular.

Al progresar la influencia térmica se hace cada vez mayor la flexibilidad de los elementos de unión intermoleculares, hasta que se pierden por completo al sobrepasar la zona de temperatura de fluidez y se hace posible un desplazamiento de la macromolécula. El material ha alcanzado con ello su estado de aplicación, se encuentra en estado termoplástico.

#### *Ciclo del Sistema de Inyección*

El proceso de inyección como se comentó recorre un ciclo operativo, de la siguiente manera:

El material termoplástico es introducido a la Tolva de la máquina, de donde se dosificara según la Carga suficiente para el llenado del molde. Dependiendo del material utilizado se ajustaran las temperaturas por zona, presiones y tiempos de inyección y enfriamiento, cuando la máquina cuente con estos controles.

1. El ciclo de inyección inicia cuando el material ha sido cargado y plastificado y el molde se cierra.

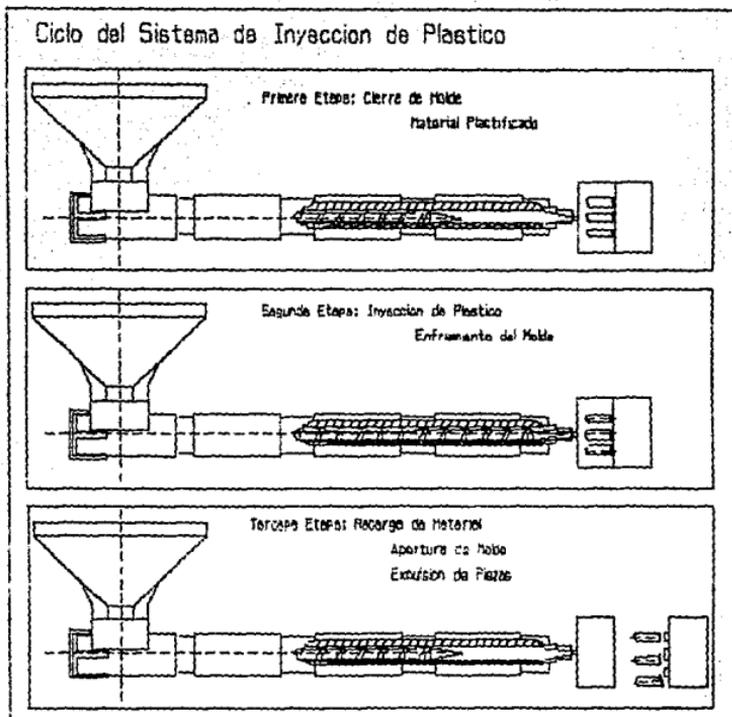
2. El material es inyectado cuando en la unidad inyectora el Husillo o Embolo empuja el material, manteniendo la presión el

tiempo de inyección preestablecido. Al término de éste, el husillo o émbolo retrocede y prepara a la vez la siguiente carga. En el molde las cavidades han sido llenadas e inicia el tiempo de enfriamiento.

3. El ciclo termina cuando se ha cumplido con el tiempo suficiente para que el material se haya solidificado y pueda ser extraído por medio de dispositivos mecánicos provistos en la apertura del molde. Y queda lista la máquina para iniciar otro ciclo de inyección.

A continuación se presenta un diagrama esquematizando el ciclo de inyección de termoplásticos.

FIGURA 5. CICLO DE INYECCION DE TERMOPLASTICOS.



### **Características Mecánicas de los Moldes.**

El diseño y fabricación de moldes de inyección requiere de la observación de los siguientes parámetros:

**Materiales de Construcción.** Dependen del material plástico a utilizar, sujeto a grandes presiones de operación y trabajo constante.

**"HOLDER" Base Estructural.** Placas metálicas que contendrán cavidades, pernos del sistema de extracción, canales del sistema de enfriamiento, boquilla de alimentación, pernos de apertura de "peines" u otros dispositivos de accionamiento neumático o mecánico que definen características del producto, como cuerdas o huecos internos.

**Cavidades y Corazones** Reproducción del negativo de la forma, dimensionadas considerando contracciones del material al solidificarse. En su geometría presentará inclinaciones para su desmoldeo. Define el acabado de la pieza, pulido o rugoso.

**Sistema de Alimentación** Para los moldes trabajados, se utiliza una boquilla y venas de alimentación. Se conjuga el sistema de alimentación con las cavidades, ya que deben presentar una distribución simétrica de igual presión y carga, para una fluidez y llenado homogéneos.

**Sistema de Enfriamiento.** Consisten en canalizaciones a través de las placas porta-cavidades en las que fluye agua fría (15°C), para reducir tiempos del ciclo de inyección.

## Sistema de Extracción

Pernos o placas que empujan las piezas moldeadas fuera de las cavidades o corazones, se accionan al abrir el molde.

## Otros Dispositivos

Algunos moldes requieren dispositivos, como cremalleras que formaran cuerdas, pistones para accionar pernos formando huecos en planos perpendiculares al de las placas.

## Dimensiones

Las dimensiones del molde se rigen por tres parámetros básicamente; el primero se determina por tamaño y capacidad de la máquina. El segundo, por las dimensiones de la pieza y por último un mínimo de producción. Bajo los criterios anteriores, puede condicionarse el tamaño del molde a la máquina disponible, o bien, proponer un mínimo de cavidades para alcanzar una cantidad predeterminada.

Dentro de las consideraciones de diseño y fabricación del molde, un factor de suma importancia en costos es el *tiempo de vida útil* del molde. Este parámetro estimará la reposición parcial o total del molde, así como aspectos del mantenimiento preventivo y correctivo necesarios.

A continuación se presenta el dibujo de un molde típico, para reconocer las partes, antes mencionadas, que lo forman.[4]

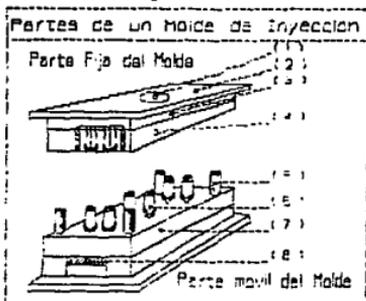


FIGURA 6. PARTES DE UN MOLDE DE INYECCION.

- (1) Soquilla del molde
- (2) Placa Porta-molde
- (3) Holder con canales de enfriamiento.
- (4) Holder sección porta-cavidades
- (5) Perno guía
- (6) Corazon de la cavidad
- (7) Holder sección porta-corazones
- (8) Placa y pernos botadores

Para concluir con esta sección revisemos las características técnicas de algunas máquinas de inyección disponibles en Planta para observar los parámetros más comunes en la selección de las mismas.<sup>6</sup>

TIPO DE MAQUINA	<i>Máquina automática de fundición inyectada de émbolos de husillo</i>	
MARCA-MODELO	<i>BOY 15</i>	
<u>Unidad de Cierre.</u>		
Fuerza de Cierre	270	kN
Carrera de abertura	170	mm
Distancia entre pistas	350	mm
Luz entre columnas	200	mm
Altura mínima de ruido	50	mm
Fuerza de expulsión	112	kN
Carrera de expulsión	60	mm
<u>Unidad de Inyección</u>		
Diámetro del husillo	24	mm
Volumen de inyección	29	cm <sup>3</sup>
Presión de inyección (regulable)	1270	kp/cm <sup>2</sup>
Rendimiento de plastificación	10	kg/h
Superficie de pieza inyectada	70	ca <sup>2</sup>
<u>Hidráulica, accionamiento, varios</u>		
Velocidad del husillo	100/200	rpm
Potencia total instalada	7	kW

La hoja de datos anterior corresponde a una de las 17 máquinas enumeradas y distribuidas de la siguiente manera:

MAQUINA	MARCA	MODELO	Potencia de Cierre	Capacidad de inyección.
1 y 2	Negrí Bossi	V9/12	50 ton	130 gr.
3,7 y 8	Negrí Bossi	V7/9	50 ton	90 gr.
4 y 10	Paganí	P-25	Fuera de servicio	(Manuales)
5	Boy	15/7-20	40 ton	40 gr.
6	Boy	15/7	20 ton	30 gr.
9	No existe la máquina			
11, 12 y 13	Negrí Bossi	R-20	20 ton	30 gr. (Manuales)
14 y 15	Máquinas de cremallera (changos-manuales)			
16	Arburg	(Vertical)	10 ton	28 gr.
17	Rotatoria (12 estaciones)		10 ton	30 gr.

6. INSTRUCCIONES DE SERVICIO BOY 15/7. BOY

Finalmente el sistema máquina-molde, requiere de un cuadro operativo que contiene la siguiente información;

- \* Compatibilidad de molde-máquina.
- \* Dada la combinación de piezas requeridas el parámetro principal es el estandar de piezas por unidad de tiempo para definir el tiempo de ocupación en horas-máquina.
- \* Según el material establecer el perfil de temperaturas para las zonas de calentamiento disponibles por máquina.
- \* Para garantizar un moldeo eficaz se deberá adecuar aparte de la temperatura, la masa inyectada, los tiempos de inyección, contrapresión y enfriamiento, así como la presión del sistema.

Como dato se dispone en promedio de 4160 hrs-máquina, y servirá como limitante de la Capacidad Instalada de la Empresa. Los consumos de materiales se ven afectados por el rendimiento de moldeo, que tiene contribuciones acreditables a la eficiencia del operador, las condiciones del molde y la máquina, que repercuten directamente en mermas y tiempos muertos de operación.

Se recomienda revisar los datos de la columna de Estandar de piezas (Std.) en la Tabla 2. Matriz de Desglose de componentes por equipo presentada en el Capítulo Segundo.

En este momento sólo se ha conformado el aspecto técnico del proceso, a continuación se establecerá la estructura administrativa aplicada en el aprovechamiento de los recursos humanos, materiales y financieros. Englobando así, la relación e integración de los distintos factores que definen éste Sistema Productivo.

#### BIBLIOGRAFIA SELECTA

1. REGISTROS Y REPORTES DE PRODUCCION DE DES VAR DE MEXICO S.A. DE C.V. EDITADOS POR EL DEPARTAMENTO DE PRODUCCION, 1986 A 1993.
2. TRANSFORMACION DE PLASTICOS. V. K. Savgorodny. Editorial Gustavo Gili S.A., 1978.
3. INYECCION DE PLASTICOS. W. Mink. Editorial Gustavo Gili S.A., 1981.

**ANALISIS DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE MATERIAL DE CURACION.**

El análisis y la estimación de la capacidad de respuesta de un Sistema de Producción tiene como objetivo primario obtener una aproximación de su comportamiento a través de un modelo que simule los requerimientos, el consumo de recursos y la integración de ambos, elaborando planes y programas, que permitan controlar la ejecución, cumpliendo con los pronósticos y presupuestos definidos.

El análisis se basará en el tratamiento estadístico de los datos históricos, recurriendo a métodos determinísticos para sugerir, un modelo matemático o gráfico de fácil evaluación.

Previamente se propone un diagrama en el cual se observa la ruta administrativa y de materiales que completan un ciclo económico - productivo, que inicia y concluye en el departamento de Ventas al tomar el pedido y facturarlo. (*Diagrama 1*).

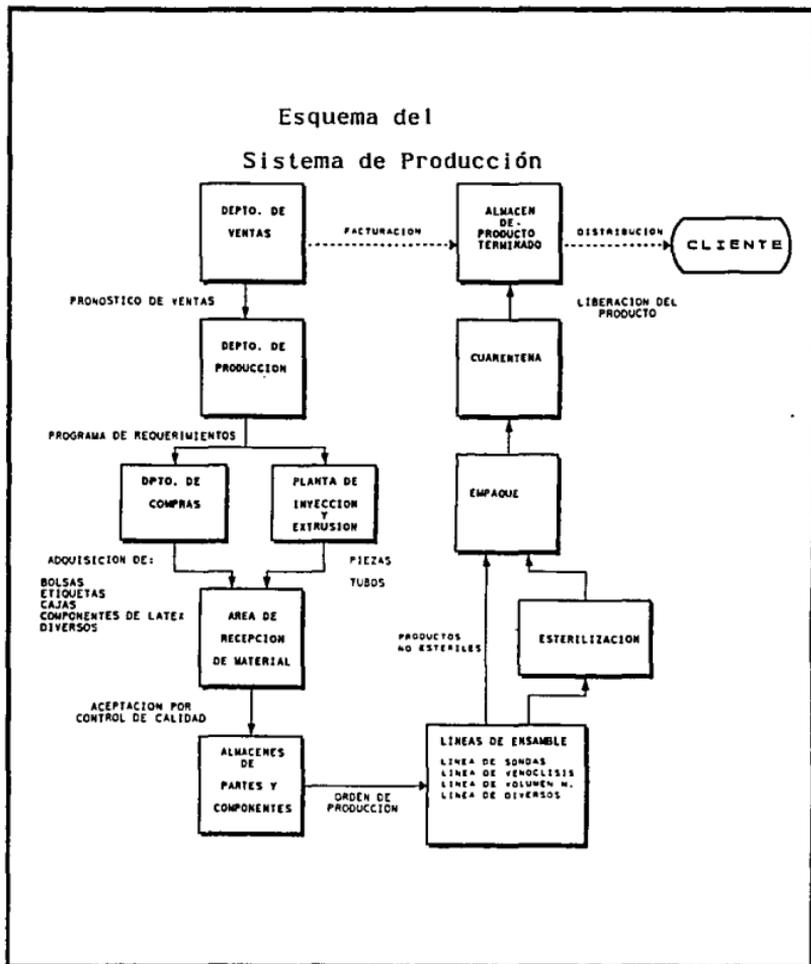
El ciclo se inicia con la elaboración de un documento mensual denominado Pronóstico de Ventas, del cual se determina la cantidad de productos ha fabricar en el periodo establecido.

***Pronóstico de Ventas.***

Se asume que existe la suficiente información directa, e indirecta, formal e informal, que tiende a ubicar al fabricante en el mercado, y así prepararse en la forma mas conveniente para ofrecer la cantidad, especificaciones y servicio requeridos por el cliente. El primer indicio de la demanda lo establecen los *Concursos*, permitiendo conocer precios de los productos, volúmenes de demanda, fabricantes autorizados, etc. El Sector Público generalmente queda sujeto a condiciones de orden político sobre presupuestos, niveles de inventario y otros que registran irregularidades en el consumo aparente del material de curación.

Por otra parte, la decisión sobre la fabricación de los diversos productos de línea no se deben sujetar únicamente a las condiciones expresadas en el párrafo anterior, sino también a las políticas internas de ventas, las que

Diagrama 1. ESQUEMA DE ORGANIZACION DEL SISTEMA DE PRODUCCION



deben reaccionar en condiciones adversas a producir preferentemente algunos artículos que permitan reactivar su ciclo económico y en consecuencia los ciclos productivos.

De ésta manera el pronóstico de ventas pretende advertir sobre un consumo potencial durante el período establecido, absorbiendo los compromisos pendientes. A partir de la información generada en este documento se plantean y desarrollan estrategias de producción con la documentación y acciones inherentes.

El Departamento de Producción genera los siguientes documentos:

PROGRAMA DE PRODUCCION DE EQUIPOS TERMINADOS

PROGRAMA DE REQUERIMIENTOS DE PIEZAS Y TUBOS

PROGRAMA DE REQUERIMIENTOS DE EMBALAJE, EMPAQUE Y OTROS.

REQUERIMIENTOS DE PERSONAL PARA EL AREA DE ENSAMBLE.

#### *Programa de Producción.*

Contiene información sobre la cantidad de artículos que hayan quedado pendientes en el período anterior, más los que se supone se desplazarán en el curso del mes, descontando la cantidad existente en almacenes, redondeando la cantidad final como la programada en términos de lotes mínimos de producción. Esta es la primera sección de cuatro, la segunda establece los requerimientos de partes (piezas y tubos) solicitadas a la planta de inyección y extrusión, que a su vez requerirá de la materia prima para su transformación.

La tercera sección del programa contiene los requerimientos de partes y componentes adquiridos de proveedores diversos, tales como: Bolsas transparentes e impresas, etiquetas, cajas, componentes de latex (Tapón reversible, bulbo, disco), cánulas y agujas de acero inoxidable, papel filtro, etc. Esta sección se dirige al Departamento de Compras, quién deberá surtirlos al igual que la Planta de Máquinas, en los tiempos establecidos, definidos por prioridades de producción. Las prioridades son función directa de las fechas de entrega, tiempos de elaboración y volumen de producción.

Aunque no se indica en el diagrama, la cuarta sección corresponde a los requerimientos de personal solicitados al Departamento de Recursos Humanos, sobre la base de un balance de tiempos y movimientos, que definen la capacidad de producción por línea con un mínimo de personal calculado, para las áreas de ensamble son la base del sistema, y en el área de máquinas se maneja de manera independiente.

#### **Recepción y Manejo de Materiales.**

Considerando la Materia Prima del sistema, hablaremos de materiales termoplásticos, resina de PVC y aditivos sin transformar. Para ensamble, se maneja el concepto partes y componentes que conformaran un producto: piezas, tubos y diversos que serán recibidos en la planta de ensamble. Tanto para la Materia Prima, como para partes y productos finales se sujetan a inspección por parte del Departamento de Control de Calidad que permitirá o no el flujo de materiales en sus distintas etapas de transformación, ensamble y en algunos esterilización, si cumplen con las especificaciones establecidas.

En caso de aceptación de cualquier elemento, éste se destinarán al almacén correspondiente con códigos de identificación y la documentación que formará un expediente de fabricación que garantice la seguridad del usuario principalmente.

#### **Análisis del Sistema.**

El análisis del sistema se dirige a la relación insumo-producto; reconocer la contribución y distribución de los distintos elementos en un sólo conjunto, nos permitirá asimilar la dependencia entre la Demanda del Mercado y la Capacidad instalada de la Empresa.[1]

Para ello cabe recordar lo tratado en el Capítulo Primero en relación al mercado de consumo, y completarlo con las siguientes consideraciones y manejo de datos.

#### **Antecedentes Históricos.**

Se presenta la recopilación de datos generados en las Areas de Producción (No de Ventas) durante los años 1986 a 1993. Se

consideran los siguientes aspectos en el manejo e interpretación de la información:

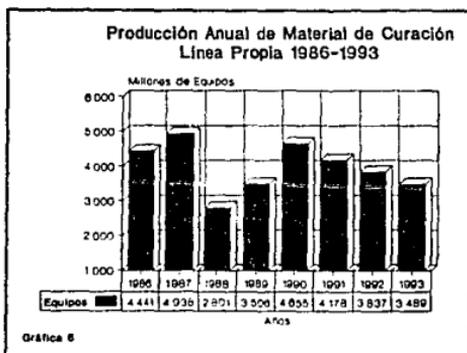
\* Las producciones responden a necesidades vigentes y por ello se utilizan para simular el comportamiento de ventas.

\* Para propósitos de cálculo se consideran a los equipos con características actuales (sin cambios de forma, cantidad y tipo de materiales).

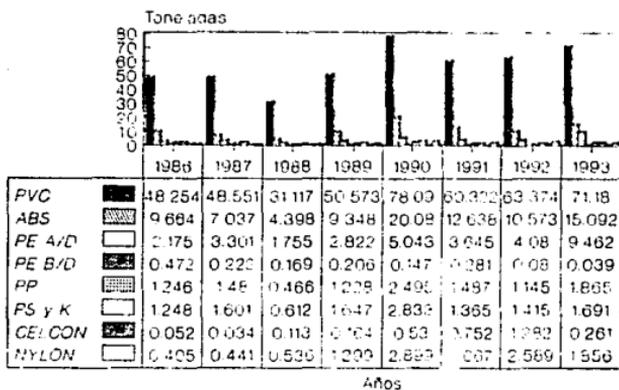
\* Las agrupaciones de artículos por familias no especifican el producto o productos dominantes y se basan en las líneas de ensamble existentes.

La razón de establecer las consideraciones anteriores es reducir las variables del problema enfocado a su primera etapa, la transformación y manejo de materiales termoplásticos. Y como consecuencia y análogamente se aplicará el mismo tratamiento a lo que sería la segunda etapa y final, correspondientes a ensambles y comercialización del producto terminado.

Se muestra el comportamiento de equipos obtenidos con con el mínimo de recursos materiales, y que para las áreas de ensamble el recurso humano corresponde al personal efectivo ocupado. La serie de gráficos corresponden al volumen total anualizado de equipos, el consumo total anualizado de los diferentes materiales y por último el consumo total anualizado de partes de plástico. [2]

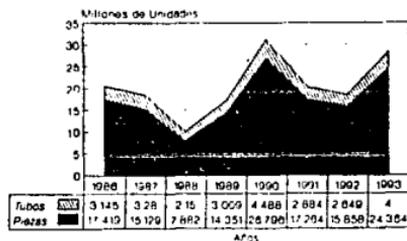


## Consumo Interno de Materias Primas para Productos de Línea 1986-1993



Gráfica 7

## Consumo de Partes de Plástico Línea Propia 1986-1993



Gráfica 8  
Consumo de Piezas y Tubos.



Al presentar la gráfica, se desea no perder de vista las irregularidades provocadas por ineficiencias o deficiencias, que se atenúan al presentar un bloque de datos que tan sólo resume una época y no describe los por menores ocurridos.

Regresando a la Tabla 4, el consumo de piezas y tubos son sobre la base anualizada al igual que el consumo de materiales parcial individual y totales. En este caso no se establece la continuidad de suministro, marcas u otras características.

Al observar la *Diversidad* de productos y consumos, se decide restringir las variables, con la formación de grupos de productos llamados *Familias*, las que se conforman de aquellos productos elaborados en la misma línea de trabajo.

El resultado en cantidades y en porcentajes se incluye en esta tabla, en la que se establece la contribución de cada familia en la producción global, independiente del volumen alcanzado.

Relacionando conceptos como volumen de equipos contra su consumo total de materiales, podemos definir la *Densidad* del esquema producido anualmente. Cuando las producciones se inclinan hacia productos con pocas piezas y poco material como algunas sondas, podemos sugerir una producción *ligera*, y sobre productos de hasta 10 o más piezas podemos asociar ideas y considerarla una producción *Pesada*. Se incluyen además las relaciones de Piezas por equipo y Tubos por equipo.

TABLA 4. BANCO DE DATOS DE 1986 A 1993.

Artículo	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
1	321	392	317	2-1	226	277	379	0
2	664	0	218	2-7	403	0	0	33
3	1482	7-18	5175	-2515	1668	5218	2311	1222
4	1575	7-23	1217	-4511	187	379	3893	2351
5	5924	0-37	1-11	-1521	1668	10-1	4-6-0	0
6	7490	5-21	1497	1115	1115	2906	2092	0
7	2908	81-35	8-15	2501	1810	3219	1811	1818
8	10187	10187	3-11	3018	3018	11-1	1918	1918
9	2683	6-10	0	0	2262	1662	2895	3160
10	11959	17-4	4-15	9-12	9-12	17-4	0	313
11	1721	1807	8-19	8-19	1727	1201	0	0
12	6532	4-4-4	11-14	11-14	1120	2600	2027	3187
13	1561	1-13	6184	1-7	153	1731	0	0
14	1727	4-7-7	1113	1-13	1174	3270	3181	0
15	2178	20-9-9	1115	20-9-9	1276	212-0	212-0	1811
16	912	7-29	6-29	10-7	827	12-0	233	2100
17	761	1104	10-2	10-2	1093	4006	1275	173
18	1725	2419	2366	2719	1993	4324	1202	2-2
19	118	1-0	0	0	0	0	0	0
20	1186	1-0	4786	0	2206	1-1-2	51-1-7	1084
21	1821	1824	1821	2139	3-0	1820	1172	1304
22	4-11	3121	2050	4-11	6822	1511	1-1	1-1
23	1355	1815	1873	-1-17	1179	1179	1179	1375
24	7929	7-17	35-6	35-6	35-6	1-1-1	1-1-1	2-6
25	2173	813	1111	1-2	873	4-1	-1-7	101
26	683	1231	1-7	23-2	182	111	-1-7	829
27	118	5-9	0	0	4317	4-7	4-7	31-87
28	281	-2-7	180	332	281	-2-1	0	0
29	1727	1-7-6	2177	6066	4916	4-9	4-9	161
30	6473	5-7-7	3113	12105	16816	1054	3172	1924
31	188	8-9	8-9	8-9	162	162	162	162
32	5104	61-6-8	11187	-17-8	7309	2815	1-1	1-1
33	817	434-2	234-2	196	818	1200	1581	15-2
34	814	8-1	8-2	8-2	814	8-1	8-1	8-1
35	609	7-5	228	221	1443	1300	1313	1313
36	483	4-1	7-5	-1-13	124	124	124	124
37	483	12-1	3-1	7-5	2313	2-4-0	2323	2940
38	483	4-1	7-5	-1-13	1623	2-7-6	2323	2940
39	0	0	0	0	597	576	62	1-7
40	1384	-2	138	103	-17	376	820	115
41	1042	3179	1023	58-18	11210	-7790	48215	6728
42	831	4-15	0	5-2	1122	5182	0	1704
43	18354	7-11	2683	12-2	21366	2-7-0	19181	14024
44	0	0	0	0	1027	813	667	133
45	25934	8317	131	266	24-0	-7671	12179	23122
46	362	1-80	1-83	68	877	21	4-0	0
47	12140	1586	486	276	483	661	313	0
48	25110	10-12	10-7	1111	3093	1001	1518	1731
49	5623	10286	2113	1036	7607	7667	7667	7667
50	3415	1440	2864	2864	204	139	139	-41
51	0	113	110	125	0	691	892	0
52	0	0	485	0	0	0	57	207
<b>Concepto</b>								
Total Mensuales(Equipos)	368,283	411,466	231,418	292,073	437,082	348,078	318,087	290,761
Total Anual (Equipos)	4,419,190	4,937,950	2,801,016	3,504,870	4,858,980	4,176,510	3,817,039	3,489,137
Consumo de Piezas	17,418,863	15,120,010	7,582,233	14,350,713	26,799,861	17,263,886	16,669,410	16,346,230
Consumo de Tubos	3,144,939	3,279,623	2,149,528	3,506,425	4,488,877	2,884,358	3,167,370	4,000,081
<b>Consumo de Materias Primas</b>								
PC (pes.)	48,254	48,561	31,117	50,573	78,090	60,522	63,37-	71,182
AS (pes.)	9,564	7,137	4,108	9,148	20,052	12,636	10,573	15,092
PE B/D (pes.)	2,175	3,313	1,550	2,722	5,043	1,818	4-0	4-2
PE (pes.)	1,624	1,222	1,699	2,064	1,67	1,281	1,20	38
PP (pes.)	1,864	1,862	460	1,218	2,195	1-5	1-15	1,685
PS (pes.)	1,428	1,601	113	1,647	2,183	1,185	1,415	1,621
CE/COM (pes.)	52	44	612	1,364	2,500	2,067	2,067	1,890
WT/OW (pes.)	479	4-1	536	1-99	2-0	2,067	2-067	1,890
RESINA K (pes.)	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Anual (pes.)	43,515	42,665	39,167	67,288	112,118	82,557	84,537	76,444
<b>Capacidad de Equipos</b>								
por Línea de Productos	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Tandas	168,950	266,242	160,773	153,466	116,000	163,455	168,271	168,846
Equipos de Varocilla	41,609	38,343	27,449	64,212	150,102	75,565	69,811	90,713
Equipos de Volumen Med	139,341	78,899	47,324	60,795	25,377	87,890	98,460	277,702
Otros	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Configuración de Producción (% en Configuración)</b>								
Tandas	41.82%	64.70%	68.88%	53.2%	38.57%	46.97%	46.61%	51.19%
Equipos de Varocilla	11.31%	15.12%	12.31%	18.6%	31.12%	17.1%	17.9%	31.03%
Equipos de Volumen Med	7.31%	2.11%	1.71%	3.42%	4.21%	5.14%	5.42%	8.25%
Otros	35.85%	18.06%	18.14%	20.81%	21.77%	20.18%	27.06%	9.55%
<b>Relaciones</b>								
Tandas (Eqs./Res./Piezas)	0.0143	0.0127	0.0110	0.0182	0.0229	0.0198	0.0223	0.0276
Equipos (Eqs./Res./Piezas)	1.9416	3.5639	2.8111	4.2963	4.4884	4.3312	4.1191	4.9829
Tubos (Eqs./Res.)	0.7116	0.666	0.7476	0.8387	0.8768	0.8406	0.8406	0.8406
<b>Personal Dispuesto por</b>								
por hombre por familia Promedio Mensual	99	90	52	80	138	109	64	104
<b>Porcentaje por familia Promedio Mensual</b>								
Tandas	44.3	50.37	35.53	35.16	44.20	45.12	44.25	50.56
Equipos de Varocilla	26.29	44.68	16.53	26.62	10.666	56.71	52.37	67.82
Equipos de Volumen Med	13.84	7.88	7.11	9.81	3.777	40.67	46.27	23.81
Otros	45.57	26.01	15.12	19.10	27.77	32.04	23.87	48.3
<b>Costo de producción</b>								
Ingresos Brutos	8268,818	8255,808	8143,029	8221,711	8388,064	8206,263	8206,827	1709,360
Ingresos Nominales	8500,370	8302,339	8240,861	8359,688	8632,974	8428,976	8419,491	8523,097
<b>Beneficio-Costo</b>								
	42.28%	34.7%	0.25%	38.36%	38.55%	39.04%	39.2%	42.78%

## Modelos de Cálculo.

El punto medular de este trabajo es una rápida estimación del consumo de materiales, para dar una respuesta de la capacidad en cantidades y tiempo. La habilidad desarrollada a través del desempeño de diferentes actividades relacionadas con producción, permite cierta simplificación en el manejo de información para la toma de decisiones, no así para el requerimiento detallado de materiales y otros.

El primer modelo o configuración se basa en el tratamiento estadístico de datos de los diferentes conceptos, obteniendo Promedios, Desviación Estandar, Valores máximo y mínimo. Con lo que se obtiene la Tabla 5. Tratamiento Estadístico de Datos.[3]

	Familia				Otros	Densidad (kgs/eqpo.)	Piezas por Equipo	Tubos por Equipo
	Sondas	Eqpos. de Venocllisis	Eqpos. de Volumen Med.					
1986	45.65t	11.30t	7.09t		35.96t	0.0143	3.922	0.708
1987	64.70t	14.23t	2.11t		18.96t	0.0127	3.064	0.664
1988	68.88t	9.63t	3.25t		18.14t	0.0140	2.814	0.767
1989	52.18t	23.25t	3.62t		20.85t	0.0192	4.093	0.858
1990	38.56t	33.43t	6.23t		21.79t	0.0229	5.484	0.919
1991	46.96t	21.71t	5.14t		26.20t	0.0198	4.133	0.690
1992	46.27t	21.87t	3.41t		28.36t	0.0220	4.396	0.825
1993	51.19t	31.03t	8.25t		9.53t	0.0276	6.983	1.146
Promedio	51.81t	20.82t	4.90t		22.47t	0.0191	4.361	0.822
Desviación	9.87t	7.81t	1.94t		5.66t	0.0048	1.326	0.351
Maximo	68.88t	33.43t	8.25t		28.36t	0.0276	6.983	1.146
Minimo	38.56t	9.63t	2.11t		9.53t	0.0127	2.814	0.664

Con base en la información obtenida, podemos establecer que el promedio de las contribuciones por familia, coincide de manera individual para obtener un esquema al 100 %, es decir, se puede proponer como punto de referencia un esquema con la siguiente configuración y relaciones del conjunto.

LINEA	CONTRIBUCION	RELACIONES EN CONJUNTO
SONDAS	51.90 x	DENSIDAD (kgs/EQUIPO): 0.0170
EQ.VENOCLLISIS	19.36 x	PIEZAS/EQUIPO: 3.9865
EQ.VOLUMEN MED.	4.42 x	TUBOS/EQUIPO : 0.7761
DTROS	24.32 x	

El tratamiento anterior observa la media y los valores máximos y mínimos, con ellos podemos definir un rango de acción en evaluaciones posteriores.

Sin embargo, ha sucedido que los pronósticos distan mucho del promedio mensual obtenido, por ejemplo, en la línea de Sondas, la producción del equipo de administración de oxígeno registro el nivel más alto durante el primer trimestre de 1993 con 240,000 equipos, que equivalen a lo fabricado durante todo el año de 1992.

En una situación similar ocurre con las sondas de aspiración de secreciones, que la producción también del primer trimestre del mismo año equivale a lo fabricado en más de siete años. Durante el año de 1992 se ensamblaron tantas llaves de tres vías con tubo de extensión como en el total de dos años anteriores.

La Línea de equipos de vonocclisis alcanzó un promedio mensual durante 1990 de 135,000 equipos, siendo que en años anteriores se obtenían de 20,000 a 35,000 equipos mensuales.

La única constante es la *Diversidad* de productos y niveles de producción, tendencias irregulares debidas principalmente a cambios estructurales en el equipo, por revisión de normas y diseños que provocan la discontinuidad de algunos de ellos.

En resumen el tratamiento estadístico de datos, no permite dar una respuesta inmediata sobre el conjunto de recursos requeridos para cumplir con el pronóstico, sobre la base de un período de tan corto plazo como lo es un mes de 20 días de producción. Y sin determinar claramente la Capacidad Instalada que confirme la entrega oportuna del artículo o artículos involucrados.

Por esta razón se propuso manejar un primer modelo, en el que se ordenan las diferentes variables y relaciones, para obtener una ecuación objetivo sujeta a rangos y condiciones más amplias.

En la búsqueda de una técnica aplicable, se retoman los principios de la programación lineal desarrollada a partir del análisis de insumo-producto. Consiste en la descripción de la relación entre dos o más variables, que son directa y precisamente proporcionales. Como los recursos son limitados, la empresa debe encontrar la mejor asignación de esos recursos a fin de aumentar al máximo las ganancias.

Casi todos los problemas de mezcla de producción hacen impracticables soluciones algebraicas debido al tamaño del problema. Un procedimiento es el método Simplex formando la inversa de una matriz para resolver una serie de ecuaciones simultáneas [4]

Se propone un arreglo matricial: cantidades contra conceptos, con base en la siguiente serie de ecuaciones;

Ecuaciones:  $(C_s * p_s) + (C_{ev} * p_{ev}) + (C_{vm} * p_{vm}) + (C_o * p_o) = C_t p_t \dots (1)$

Si  $C_i / C_t = x_i$  y  $\sum x_i = 1 \dots (2)$

entonces  $x_s * p_s + x_{ev} * p_{ev} + x_{vm} * p_{vm} + x_o * p_o = p_t \dots (3)$

- Donde: Subíndices s: Sondas  
 ev: Equipos de Venoclisis  
 vm: Equipos de Volumen Medido  
 o: Otros  
 t: Total de Equipos

C : Cantidad del subíndice indicado (equipos ó piezas ó tubos)

p : Densidad del subíndice indicado (Kgs./equipo)  
 (piezas/equipo)  
 (tubos/equipo)

Xi: Fracción parcial

Se propone resolver este sistema de ecuaciones, en el cual los valores conocidos son: cantidades fabricadas anualmente por familia, volumen total de equipos, consumos totales de materiales, piezas y tubos.

ARREGLO MATRICIAL					
AÑO	CANTIDADES POR FAMILIA				CONCEPTO
	C1	C2	C3	C4	P
1	C11	C21	C31	C41	P1
2	C12	C22	C32	C42	P2
3	C13	C23	C33	C43	P3
4	C14	C24	C34	C44	P4

Al resolver el sistema de ecuaciones para los diferentes conceptos se consideraron los años de 1986, 1987, 1990 y 1992. El anexo 3 contiene la memoria de cálculo, mostrando el método de Gauss Jordan para la solución del sistema de ecuaciones.

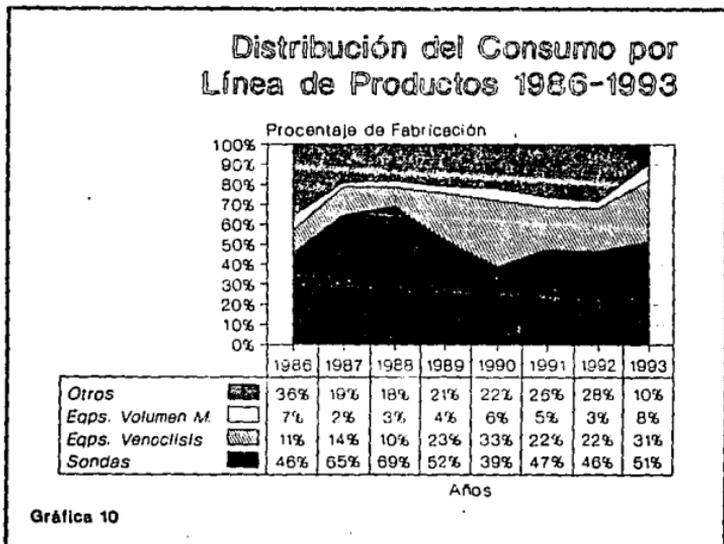
$Cs(-0.0713) + Cev(0.7881) + Cvm(-1.5686) + Co(0.6294) / Ct = \text{Densidad}$   
 (Kgs./equipos).. (4)

$Cs(0.6409) + Cev(1.7906) + Cvm(-0.6914) + Co(0.7408) / Ct = \text{Relación}$   
 (Tubos/equipo).. (5)

$Cs(3.8774) + Cev(11.7205) + Cvm(-9.0065) + Co(4.1475) / Ct = \text{Relación}$   
 (Piezas/equipo).. (6)

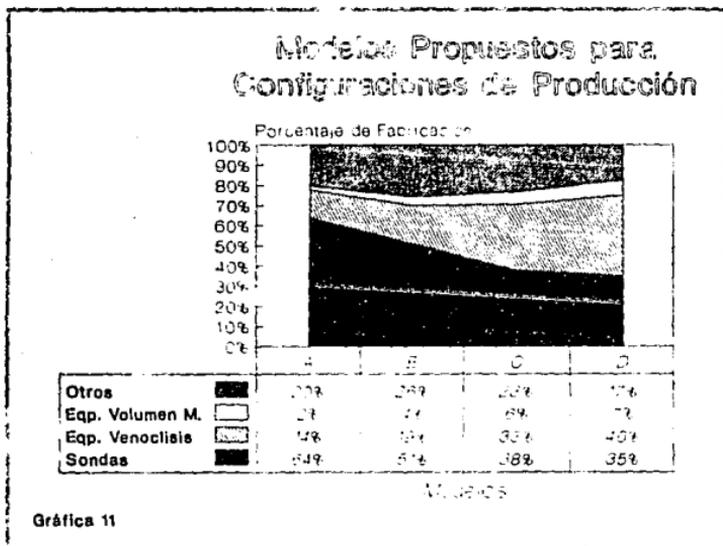
De esta manera al suponer la cantidad a producir para cada familia, podemos estimar los requerimientos de materiales, tubos y piezas. Sin embargo, el comportamiento recopilado no permite suponer arbitrariamente, surgiría la interrogante sobre el límite de capacidad por familia o por producto.

Al revisar las propuestas desarrolladas, y visualizar la distribución del consumo interpretado para cada línea de productos entre 1986 a 1993, se presenta en la Gráfica 10. Distribución de Consumo por Línea de Productos de 1986 a 1993.



Hay que expresar un objetivo bien definido, que pueda servir para maximizar la contribución, utilizando los recursos disponibles, usando cantidades limitadas de factores productivos, o determinar la mejor distribución de los mismos.

En base a lo anterior se conforman cuatro arreglos o configuraciones de producción, que cumplen las aspiraciones más regulares de demanda, y que han condicionado al sistema de producción, al implantar o adaptarse a condiciones individuales. (Ver Gráfica 11. Modelos Propuestos para Configuraciones de Producción). Es decir, los moldes se fabricaron según el tamaño de la pieza y de la máquina disponible, en el incremento de nuevos productos, se fue ordenando sobre un caos, sin considerar un plan global o integral de diseño y adquisición de maquinaria para satisfacer alguna demanda pre-establecida. Por ejemplo, la línea de equipos de venocllisis ha sufrido modificaciones estructurales en el 80 % de sus piezas tanto en cantidad como forma, y nunca se estableció un proyecto de diseño, ni la capacidad de moldeo requerida. Actualmente se estima una capacidad aproximada de moldeo sobre las 200,000 unidades mensuales unicamente trabajando para esta línea.



Los requerimientos de ventas, producción e inventarios no son iguales para cada periodo, lo que da por resultado amplias variaciones de volúmenes en cada uno de ellos. Generalmente, los costos serán muy altos durante el periodo máximo de ventas, ya que habrá que adiestrar nuevos trabajadores, pagar una fuerte cantidad de tiempo extra, y considerar la ineficiencia de los nuevos trabajadores durante breves periodos, requerimientos adicionales de maquinaria y equipo, y otras consideraciones semejantes.

Considerando los modelos propuestos, se conforman una serie de gráficas que ofrecen un Método Rápido de Estimación de Recursos Humanos y Materiales en el sistema analizado.

#### Series de métodos gráficos.

1. REQUERIMIENTO DE MATERIA PRIMA VS. NUMERO EQUIPOS.
2. REQUERIMIENTO DE PIEZAS POR EQUIPO
3. REQUERIMIENTO DE TUBOS POR EQUIPO
4. ESTIMACION DE TIEMPOS DE MAQUINA DE EXTRUSION
5. ESTIMACION DE TIEMPOS DE MAQUINA DE INYECCION
6. REQUERIMIENTOS DE HORAS-HOMBRE DE ENSAMBLE POR EQUIPO
7. ESTIMACION DE COSTOS
8. ESTIMACION DE INGRESOS
9. RELACION BENEFICIO COSTO

### 1. Requerimientos de Materias Primas por Equipo.

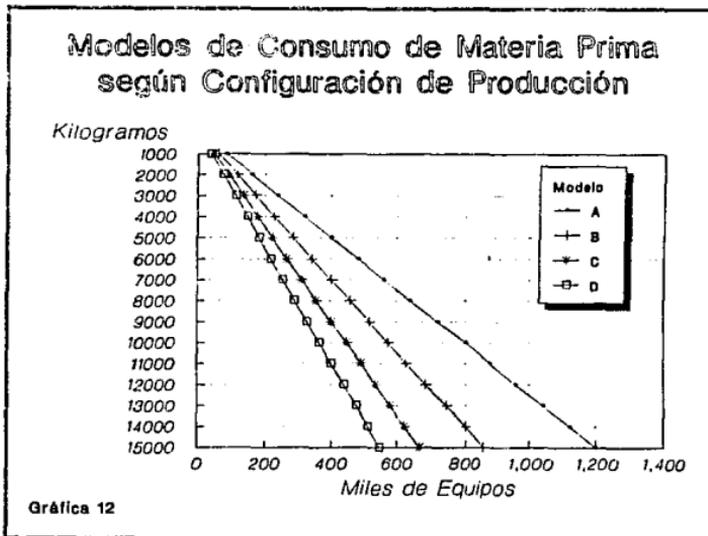
En base a las configuraciones propuestas para producción, se consideran los siguientes valores de densidad:

MODELO A: 0.0125 (KG/EQPO.)	LIMITE INFERIOR: 0 KGS.
MODELO B: 0.0165 (KG/EQPO.)	LIMITE SUPERIOR:
MODELO C: 0.0200 (KG/EQPO.)	14,100 KGS.
MODELO D: 0.0250 (KG/EQPO.)	BASE MENSUAL (21 DIAS)

El dato de límite superior se calculó por consumos promedios tanto de máquinas de inyección como de extrusión con los siguientes valores promedio;

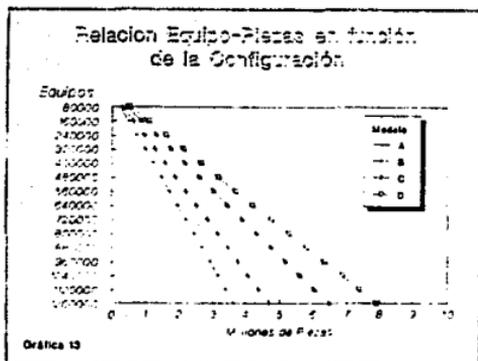
Area de Extrusión: 7,400 kgs BASE MENSUAL (Alcanza los 10,000 kgs)

Area de Inyección: 6,700 Kgs BASE MENSUAL

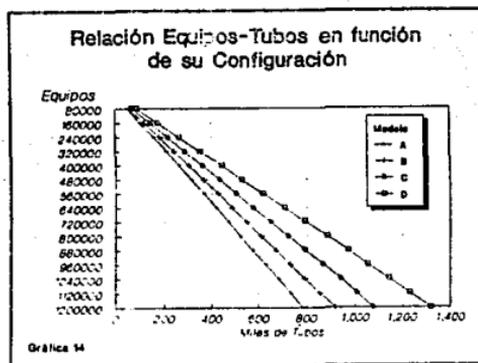


Distribución Típica:			
PVC	70.0 X	PS	2.5 X
ABS	17.9 X	PP	2.2 X
PE A/D	4.5 X	NYLON	2.6 X

## 2. Requerimientos de Piezas.

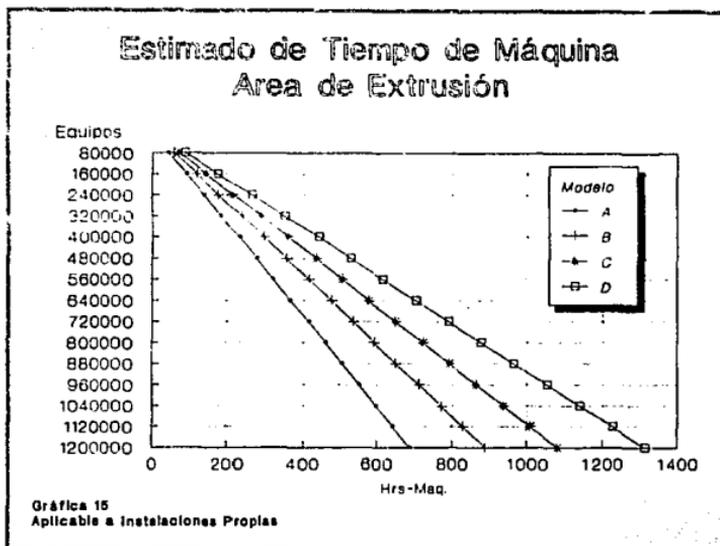


## 3. Requerimientos de tubos.



Modelo	Piezas/Equipo	Tubos/Equipo
A	3.0178	0.6542
B	3.9098	0.7611
C	5.3775	0.9007
D	6.5712	1.1007

#### 4. Estimación de Tiempos de Máquina de Extrusión



La estimación del tiempo de ocupación del conjunto de máquinas de extrusión contempla las siguientes contribuciones:

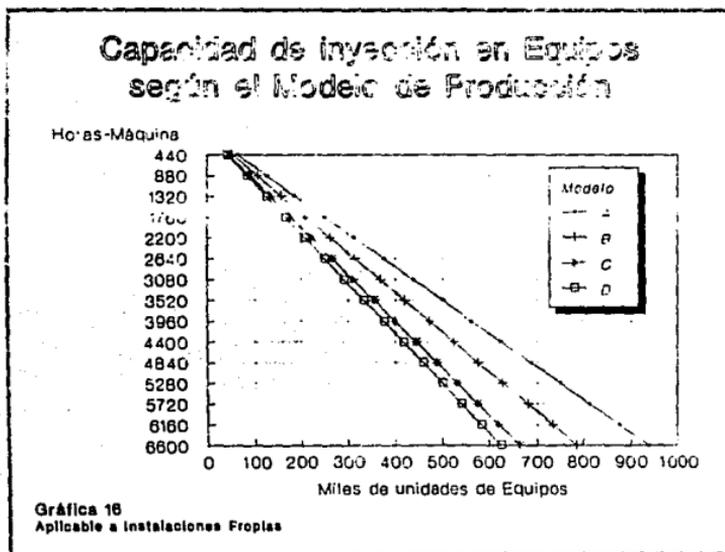
*Tiempo de Limpieza.*

*Tiempo de Preparación de boquillas y calibración.*

*Tiempo de Operación continua.*

Con los parámetros anteriores y definiendo la base de cálculo sobre el tiempo de operación podemos estimar el número de equipos a obtener dada la configuración. Por ejemplo, considerando un período mensual de 22 días hábiles a 24 horas por día, obtenemos 528 horas-máquina. O bien, de manera inversa estimar los requerimientos de tiempo de máquina para establecer políticas de tiempo extra o el ofrecimiento a maquilados externos.

## 5. Estimación de Tiempos de Máquina de Inyección



Al estimar el tiempo de ocupación de las máquinas de inyección se aplicaron los siguientes criterios:

*Compatibilidad entre máquina-molde*

*Disponibilidad de máquinas en función de la mejor opción*

*Secuencia de uso de materiales*

*Definición de prioridades a través de niveles de inventario y conformación de un mismo equipo.*

*Tiempos de preparación por cambio de molde.*

La simulación de un programa que contempla la utilización de todos los moldes en un mismo programa mensual (poco frecuente), los tiempos muertos de operación se incrementan sustancialmente. Las relaciones obtenidas son:

Modelo A - 3,58 piezas/equipo.

Modelo C - 5.91 piezas/equipo.

Modelo B - 4.53

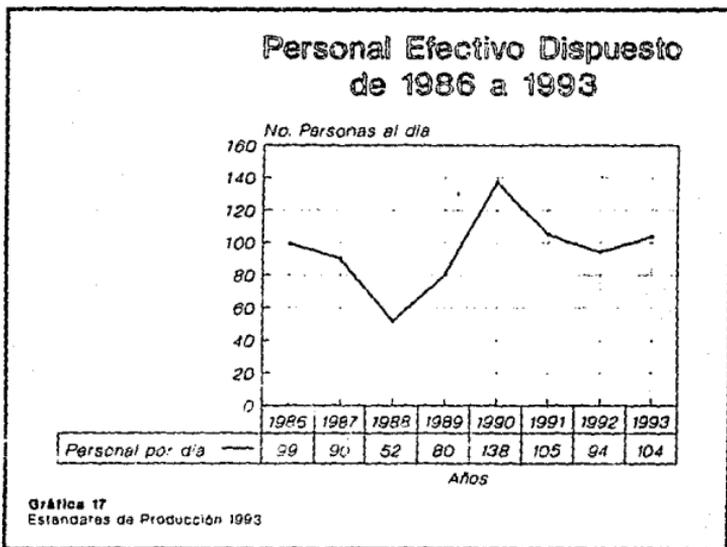
Modelo D - 6.57

## 6. Requerimientos de Horas-Hombre de Ensamble por Equipo.

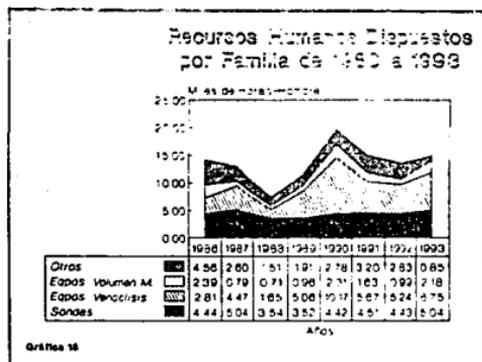
Los métodos de trabajo están sujetos a cambios dadas las especificaciones y características del producto, que regularmente son revisadas. Bajo esta situación la estimación de los requerimientos de recursos humanos es relativa y deberá actualizarse frecuentemente.

Las consideraciones para la caracterización de parámetros de cálculo son:

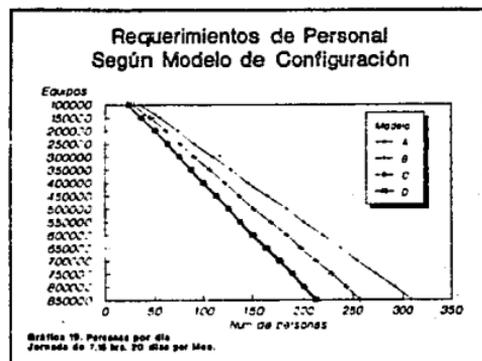
Revisión histórica de ocupación de horas-hombre en el área de ensamble. (Gráfica 17. Personal Efectivo Dispuesto de 1986 a 1993)



**Caracterización por familia del personal asignado por equipo fabricado. (Gráfica 18. Recursos Humanos Disponibles de 1986 a 1993)**



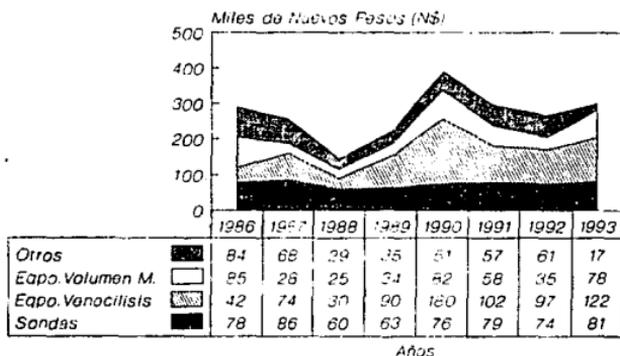
Con los elementos proyectados en las gráficas anteriores se presentan los modelos de producción ya establecidos.



### 7. Estimación de Costos por Equipo.

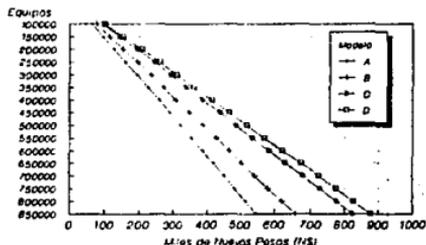
Para la estimación de los costos se consideraron evaluaciones realizadas en 1991, actualizando precios de materiales y servicios para 1993.

### Análisis de Costos Generados por Familia 1986 a 1993



Gráfica 20  
Evaluación a Valor Presente  
En Nuevos Pesos (Costo 1993)

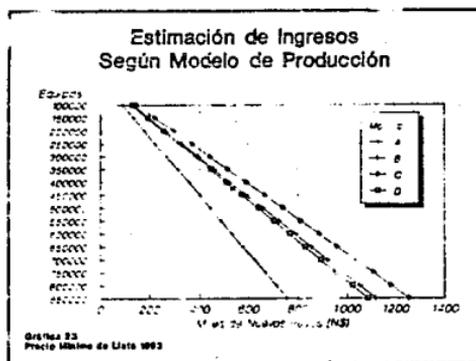
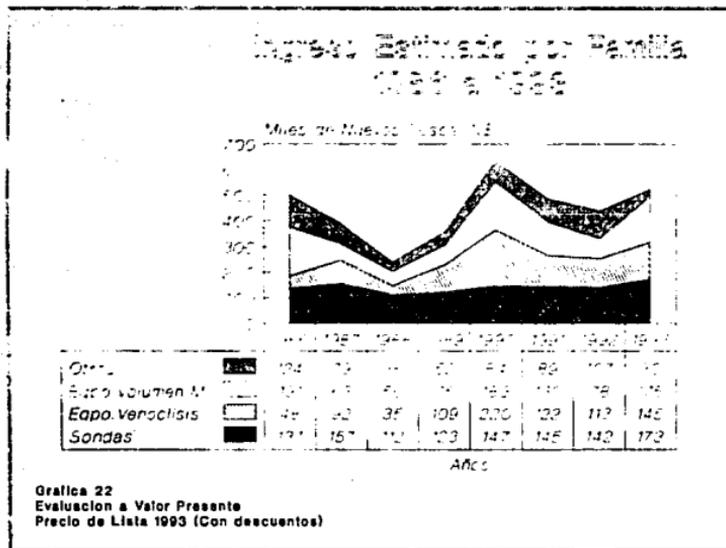
### Estimación de Costos Según Modelo de Producción



Gráfica 31  
Costos de 1993

### 8. Estimación de Ingresos por Equipo.

El cálculo de los ingresos se basa en el precio de fabrica que resulta de los descuentos aplicados al precio de lista vigente.



### 9. Análisis Beneficio-Costo.

Conviene señalar que todas las decisiones que se toman en las diversas áreas de una empresa, vienen a reflejarse en el monto de las inversiones requeridas para su realización, enfocado en los presupuestos de egresos e ingresos. Por tal motivo, la factibilidad de todos los factores que inciden en la ejecución, cualesquiera que sea su naturaleza, suelen desembocar en una evaluación económica.

Desde el punto de vista de los inversionistas los méritos de un proyecto se valúan esencialmente en función de la proporción entre las virtudes previstas y el monto de los recursos que es necesario invertir para llevar a cabo el proyecto. A esta relación se le denomina rentabilidad esperada de la inversión y generalmente se expresa en por ciento.

La rentabilidad en un índice de evaluación económica que se usa frecuentemente, en virtud de que uno de los principales objetivos de una empresa industrial es procurar el máximo aprovechamiento de sus recursos. Sin embargo, este índice tiene la desventaja de no reflejar la magnitud absoluta del rendimiento económico previsto para el proyecto.

La rentabilidad tiene un defecto conceptual, ya que es el cociente de magnitudes heterogéneas, la utilidad que se obtiene en un determinado período de tiempo, y la inversión, que se puede considerar se realiza en un punto del tiempo, a consecuencia de ello, frecuentemente ocurren confusiones en su aplicación.

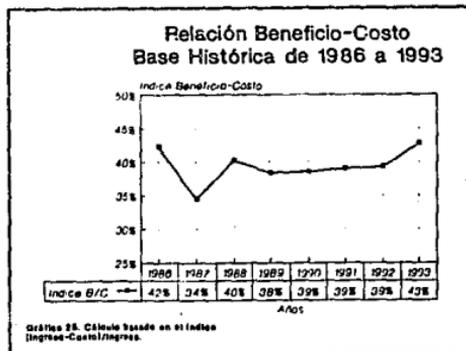
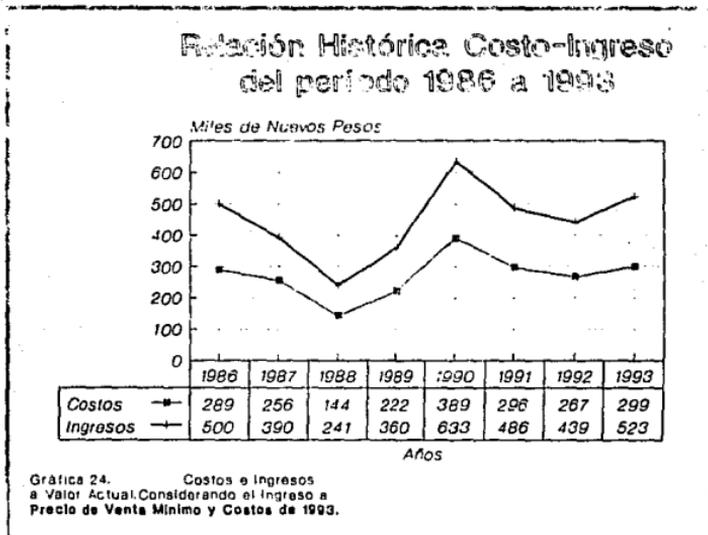
La confusión respecto al concepto de rentabilidad se incrementa debido a que las utilidades consideradas para su estimación pueden ser las utilidades antes o después de impuestos, mientras que la inversión considerada puede ser la inversión total, la inversión fija y aún puede ser substituida por el capital contable, dependiendo de la entidad para la cual se haga la evaluación.

Los índices de rentabilidad son de dos clases: los que muestran la rentabilidad en relación con las ventas y aquellos que la muestran en relación con la inversión. Los dos, en conjunto, indican la eficiencia en la operación de la Empresa.

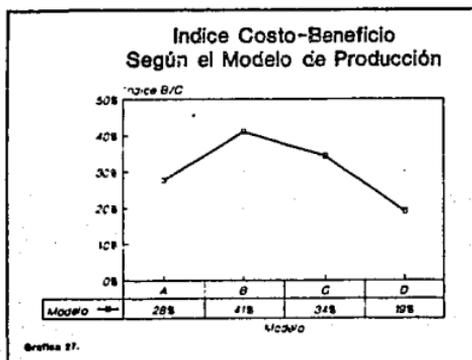
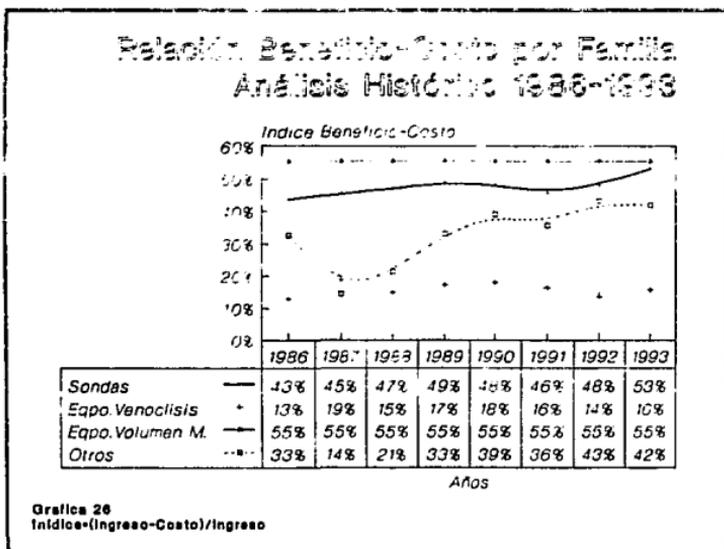
El índice que consideramos es el *margen o porcentaje de utilidad bruta*:

$$\text{Utilidad Bruta} = \frac{\text{Ventas} - \text{Costo de los bienes vendidos}}{\text{Ventas}}$$

Sin embargo, formalmente no se manejan los datos de ventas, sino se supone la realización del producto fabricado, a tal cociente se denominará como un índice de beneficio-costo. [5]



Finalmente observando las gráficas que relacionan los egresos e ingresos, se termina obteniendo los índices de beneficio-costo para los distintos esquemas de producción que puedan guiar las decisiones de los mandos superiores de la empresa.



## BIBLIOGRAFIA SELECTA

1. LA FORMULACION Y EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DE PROYECTOS INDUSTRIALES. Ing. Humberto Soto, Ing. Ernesto Espejel e Ing. Hector F. Martinez. EDITORVISUAL CENETE, 1978.
2. REGISTROS Y REPORTES DE PRODUCCION DE DES VAR DE MEXICO S.A. DE C.V. EDITADOS POR EL DEPARTAMENTO DE PRODUCCION, 1986 A 1993.
3. INTRODUCCION A LA ESTADISTICA MATEMATICA. PRINCIPIOS Y METODOS. Erwin Kreyszing. Editorial LIMUSA, 1979.
4. Toma de decisiones por medio de INVESTIGACION DE OPERACIONES. Robert J. Thiereuf, Richard A. Grosse. LIMUSA, 1979.
5. FUNDAMENTOS DE ADMINISTRACION FINANCIERA. James C. Van Home.

## CONCLUSIONES

La participación dentro de un área de la Industria de la Transformación de Plásticos permite engranar conocimientos teóricos con experiencias empíricas. El desempeño práctico cotidiano muestra funciones multidisciplinarias, identificando para este caso la potencialidad en líneas de investigación relacionadas a las áreas de polímeros, reología, diseño de equipo y otras contenidas en asignaturas del Plan de Estudios de la carrera de Ingeniería Química, así como, de Ingeniería Industrial en lo referente a tiempos y movimientos, desarrollo e implementación de dispositivos mecánicos, configuraciones de líneas de ensamble, higiene y seguridad, etc.

Al revisar la secuencia establecida en el proceso de transformación y elaboración de productos de aplicación especial, permitira realizar los siguientes comentarios:

El PVC mantendrá sin cambios significativos su consumo aparente, debido primeramente a la condición económica del país, que puede ser calificada como recesiva, aunque considero cierta expectativa del Sector Industrial ante convenios comerciales internacionales y otros de Política Interna.

Existe suficiente Capacidad Instalada en la fabricación de Resina de PVC a nivel Nacional y puede incrementarse con futuras importaciones de países en las que existen restricciones al uso del mismo estableciendo su clara disponibilidad.

Se confía en que se mantendrá al PVC como material base en la fabricación de material de curación para un largo plazo, debido a su costo y versatilidad. Continuando de esta manera la estructura de formular el compuesto según las distintas aplicaciones exigidas por línea de productos elaborados.

En relación al Consumo Aparente de la Línea de Productos, se considera vital para la compañía, un estudio de mercado que establezca la magnitud de la Demanda y la Capacidad Total Instalada de productores nacionales, ante la apertura comercial internacional, que obliga principalmente a una reducción de costos, aumentando la Productividad de la empresa, a reducir tal vez la línea de productos en los que se puedan ser más

competitivos y finalmente, a ponderar la capacidad financiera que permita estos cambios a mediano plazo. De lo contrario se puede esperar una contracción sistemática de la Empresa, que puedan generar cambios de giro o estructura, tal vez se convierta en maquiladora de ensamble o simplemente de empaque con el uso de la marca propia o como distribuidor concesionado.

Hablando sobre el Consumo y Demanda en el Mercado de la línea de productos, se espera un incremento similar al de Población y se intensifica con campañas tales como el "Programa Contra el Cólera", así pues los productos requeridos se pueden considerar como indispensables, estableciendo que "alguien" los fabrique con buena calidad y servicio.

Con respecto a los aspectos técnicos, iniciando con la formulación de PVC, se puede resumir que la gama de propiedades en particular la dureza está en función directa del plastificante. Se requiere de un análisis mucho más formal en relación la variación de propiedades contra formulaciones y el establecimiento de normas que protejan el proceso contra desviaciones en cadena de la calidad de los diferentes componentes de la mezcla y repercutan en el producto final.

Sobre máquinas y moldes, es definitivo invertir para renovar, la pauta de esta decisión es un análisis de costos de operación y en condiciones actuales el gasto de mantenimiento correctivo que limita directamente la continuidad del proceso.

La caracterización del sistema a través de modelos de rápida evaluación agilizan la mecánica de estimación, reduce la incertidumbre sobre capacidad y la interrelación entre los distintos conceptos, se minimiza o distingue el porcentaje de error.

En base al desarrollo del estudio presentado y los comentarios anteriores, podemos concluir lo siguiente:

Primeramente, la esencia observada en la técnica de análisis de este sistema de producción es aplicable a cualquier sistema de la misma naturaleza, entendiéndose como pequeñas o medianas empresas, con enfoques personalizados.

En relación a los modelos de producción, se puede apreciar en el modelo B la mayor rentabilidad del esquema, en la que predomina la fabricación de sondas y otros, productos de pocos componentes y

cantidad de material. Adicionalmente, los equipos de venoclisis y volumen medido, tienen la desventaja de exigir una fuerte inversión al inicio y tiempos de recuperación muy largos.

Sin embargo, aunque se culmina determinando cual configuración es la más conveniente, el origen de este análisis surgió más como un mecanismo de defensa ante la incertidumbre creada por los pronósticos de venta, que reflejan más la captura de oportunidades y relaciones públicas, que la de satisfacer una fracción de la demanda, dada la capacidad instalada.

**A N E X O 1**

**Aspectos Generales de la Industria del Policloruro de Vinilo  
( P V C )**

*Reseña Histórica*

*Monómero de Cloruro de Vinilo (VCM)*

*Polímero de Cloruro de Vinilo (PVC)*

*Producción de PVC*

*Empresas Productoras de PVC*

*Aplicaciones y productos.*

*Perfil Económico.*

### Reseña Histórica.

El PVC, uno de los polímeros con menor estabilidad térmica, entre los existentes en el mercado, sea también en términos de consumo, uno de los materiales plásticos más importantes de los disponibles hoy en día por su versatilidad. Su éxito comercial ha repercutido en un extenso uso, después del descubrimiento de buenos estabilizadores térmicos y otros aditivos que lo han hecho extraordinariamente útil para elaborar compuestos termoplásticos.

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

Baumann en 1872, al encapsular cloruro de vinilo en un tubo de vidrio sellado y dejarlo expuesto a la luz solar, descubrió la formación (polimerización) de un polvo blanco: el PVC. Al principio no tuvo idea de la composición del nuevo producto, pero sus exámenes demostraron que no era afectado por una amplia gama de solventes.

El interés sobre el policloruro de vinilo nació con el informe de Regnault sobre la síntesis del VCM y el informe de su polimerización por Baumann. Después de 40 años de inacción se dió una sobrecapacidad en Europa de la producción de Carburo de Calcio. El potencial del acetileno como gas iluminante, había sido sobreestimado y ésto había guiado a la construcción de muchas nuevas plantas de carburo, lo que propició una caída en el precio durante la primera parte del siglo XX. La posición fué particularmente aguda en Alemania y fué ahí donde se desarrolló un intenso programa para investigar los posibles usos químicos del acetileno.

En 1912, Klatte de "Griesheim-Elektron", patentó la manufactura del monómero de cloruro de vinilo por la reacción entre acetileno y ácido clorhídrico, en presencia de cloruro mercúrico como catalizador. La formación del polímero por la acción de radiación ultravioleta, fué confirmada y en 1914 es reportado el uso de peróxidos orgánicos, como aceleradores para la

polimerización.

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

El uso de plastificantes (actualmente una gran variedad de ellos) ha contribuido al desarrollo del mercado. Muchos investigadores hicieron posible esto al trabajar con diferentes polímeros y plastificantes como es el caso de John Wesley Hyatt que patentó el celuloide el cual es el resultado de agregar alcanfor a la nitrocelulosa haciéndola más flexible. Con esta misma idea "The Celluloid" patenta el uso de fosfato tricresilo y para la década de los veinte se descubren los ésteres ftálicos de dimetilo, dietilo y dibutilo, para disolver goma laca y con solución impregnar telas "ahuladas".

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

Para 1929, Kyorioes, patenta el uso de Di 2 etilhexil ftalato (DOP; dietyl Phtalate) como plastificante para resinas de PVC.

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

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

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

En el Reino Unido, ICI había continuado con sus desarrollos con la construcción de una planta polimerizadora de 85 tons/año, la cual comenzó a operar a fines de 1940. En 1942, esta planta fué seguida por una planta de producción con capacidad de 450 tons/año.

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

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

Justo en los albores de la Segunda Guerra Mundial y debido al bloqueo Japonés de las plantaciones de hule en Java/Sumatra y el peligro de submarinos alemanes en el Atlántico, que aislan a los Estados Unidos de "Hevea Brasilensis", se impulsa enormemente

la polimerización del PVC y, su compuesto plastificado y rígido para hacer artículos de guerra y domésticos, en sustitución a los del hule.

El PVC se empezó a comercializar en México desde 1947. En 1953 y 1955 se instalaron las primeras plantas productoras de esta resina. La capacidad instalada ha sido capaz de satisfacer adecuadamente la demanda nacional, a pesar de las amplias variaciones en el crecimiento del mercado.

#### Monómero de Cloruro de Vinilo

Se denomina VCM (Vinyl Chloride Monomer) al Monómero de Cloruro de Vinilo, el cual es un producto petroquímico básico derivado principalmente del etileno.

SU FORMULA ES:

Es un gas, incoloro a temperatura ambiente, inflamable, de olor dulce - característico; su temperatura de ebullición de de  $-13.8^{\circ}\text{C}$ , su densidad relativa al agua, en estado líquido es 0.9121 ( $20^{\circ}\text{C}$ ). Su punto de ignición es de  $-77^{\circ}\text{C}$  y su temperatura de autoinflamación es de  $472^{\circ}\text{C}$ . ligeramente soluble en Eter y Alcohol. Límite explosivo en aire, entre 4 y 22%.



|

Cl

Se almacena como líquido a presión (34 a 75 psig) en tanques herméticos de acero al carbón y se transporta a presión también en buque-tanque, auto-tanque y carro tanque.

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

En México su producción se inicia con la cloración directa del Etileno para producir Dicloroetano (DCE). El cual por pirólisis, se descompone en Cloruro de Vinilo (VCM) y Acido

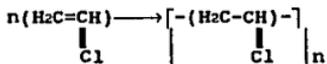
Clorhídrico (HCl); el Cloruro de Vinilo se separa y se envía al almacenamiento y venta, el Acido Clorhídrico se alimenta al tren de Oxidación, en donde junto con Etileno y Oxígeno (tomado del aire), forma agua y Dicloroetano que se alimenta a la producción de VCM, aprovechandose así el Acido Clorhídrico obtenido y reduciendo costos, riesgos y eliminando una fuente de contaminación ambiental ácida.

### Policloruro de Vinilo (PVC)

El PVC es un polímero termoplástico. La polimerización es la creación de ligaduras químicas entre unidades moleculares denominadas monómeros. El monómero tiene la capacidad de unirse a otro, y este dímero a otro; forma el trímero y repetidas n veces la polimerización. La polimerización descrita es básicamente lo que sucede en el tipo de polimerización por "adición" o por "pasos", por el cual se fabrica el PVC. Es necesario mencionar que existen otros tipos de polimerización, tales como "condensación" y una combinación entre adición y condensación y que no serán descritas ya que están fuera del objetivo del presente documento.

El PVC (Policloruro de Vinilo) es un producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo (VCM), que se lleva a cabo mediante una reacción vía radicales libres promovidas por un catalizador.

#### POLIMERIZACION POLICLORURO DE VINILO



El PVC es una resina termoplástica lineal, en la cual los átomos de cloro provocan un aumento en la atracción intercadena lo que trae proporcional, un incremento de la dureza y rigidez del polímero. El PVC, es soluble en solventes como la ciclohexanona y el tetrahydro-furano.

El PVC puede ser homopolímero si solo está hecho de cloruro de vinilo o puede ser copolímero si se combina el VCM con diferentes cantidades menores de algún otro monómero, al cual se le llama comonómero. Dentro de los principales comonómeros,

encontramos el acetato de vinilo, el etileno, el polipropileno, el cloruro de vinilideno, el anhídrido maleico, los acrilatos y los éteres vinílicos y fumáricos.

Por lo general, tanto el homopolímero como el copolímero se encuentran como productos en forma de polvos blancos, que después de ser formulados con ingredientes auxiliares, se convierten en una gran variedad de productos plásticos a través de diferentes tipos de procesos que emplean calor. Los extruyen, inyectan, soplan disuelven o los suspenden.

El PVC es el polímero termoplástico de más versatilidad y tienen diferentes presentaciones para su utilización, las cuales son:

#### **Resina**

Polímero puro, no procesable por sí, pero es la base para elaborar compuestos de PVC.

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 1. <i>Compuesto Rígido</i>        | Resinas mezclada con aditivos prácticamente sin plastificantes.                              |
| 2. <i>Compuestos Flexibles</i>    | Resina mezclada con aditivos con más de 25 partes por cien de resina (PCR) de plastificante. |
| 3. <i>Compuestos Semirrígidos</i> | Mezcla con concentración intermedia de plastificantes (menos de 25 PCR)                      |
| 4. <i>Plastisol</i>               | Dispersión de resina de pasta en plastificante.  |
| 5. <i>Organosol</i>               | Plastisol con más de 10 PPCR de solventes o diluyentes.                                      |

#### **PRODUCCION DEL PVC**

Es uno de los materiales más importantes disponibles actualmente, la producción del policloruro de vinilo, para ello se han desarrollado cuatro procesos básicos: Suspensión, Emulsión, Masa y Solución. Todos por el método de lotes o cargas (batches).

### **PROCESO DE POLIMERIZACION**

En todos los procesos, la polimerización es iniciada por radicales libres producidos por la descomposición térmica de peróxidos o persulfatos y continúa a temperaturas de 40 - 70 °C con producción de calor. La velocidad de polimerización es parcialmente sensible a la temperatura de reacción y la concentración y el tipo de iniciadores usados. La distribución del peso molecular del producto final, el cual es de gran importancia para las características de procesamiento de la resina, es también influenciado sustancialmente por estos parámetros.

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

### **Suspensión**

Tradicionalmente, éste proceso de polimerización ha sido más utilizado para producir homopolímeros y copolímeros. Este proceso emplea agua como fase continua, con monómero de cloruro de vinilo dispersado por medio de agentes de suspensión. El sistema de suspensión empleado, es la clave para obtener la calidad deseada en la resina producida.

En el proceso de suspensión se obtienen partículas con un tamaño entre 100 y 200 micrones, que sedimentan inmediatamente en la fase acuosa o que se mantienen en suspensión por medio de una acción mecánica y la existencia del agente de suspensión.

Se usan reactores de acero inoxidable al carbón vitrificados, encaquetados, provistos de agitadores y de deflectores para mejorar la agitación y diseñados para soportar fuertes presiones internas.

El diseño de los agitadores, la velocidad de agitación, la localización de los deflectores, el nivel del líquido, la viscosidad y los tipos de agentes de suspensión usados durante la polimerización, son factores que afectan el tamaño y distribución de la partícula.

Como agentes de suspensión se usan el alcohol polivinílico, gelatina, copolímero de anhídrido maleico-acetato de vinilo, derivados de celulosa, todos ellos solubles en agua para reducir la aglomeración de partículas durante la polimerización.

El peróxido de laurilo actúa como indicador de la reacción de polimerización. El peso molecular de la resina producida, es una función de la temperatura de polimerización. La disminución de la temperatura incrementa el peso molecular.

Después de que finaliza la reacción y previa recuperación del monómero residual, la suspensión se pasa a centrifugación al vacío o decantación para separar el agua, continuando con el secado y enfriado de la resina para reducir el contenido de humedad. Los siguientes pasos para terminar el proceso consisten en tamizar la resina para pasar inmediatamente al empaque.

#### Emulsión

En este proceso se obtienen partículas finas por dispersión del polímero en agua mediante el uso de agentes emulsificantes, se producen resinas con tamaño de partícula extremadamente finas que también pueden ser aplicadas como látices.

Para resinas de emulsión se tienen tamaños de partículas de 1-5 micras aproximadamente para látex.

La presencia de agua como fase continua permite una eficiente eliminación del calor. Normalmente se usan emulsificantes o surfactantes, tales como ésteres sulfatados.

Las resinas de dispersión para ser utilizadas en plastisoles son producidas mediante secado por aspersion controlando la aglomeración de las partículas.

#### Masa

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

La polimerización en masa a escala industrial se realiza en dos etapas. En la primera se polimeriza hasta una conversión del

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

#### **Solución**

Esta técnica utiliza un solvente conteniendo monómero. El Polímero que es insoluble en el solvente precipita durante la polimerización, facilitando su separación y su secado. Si el polímero es soluble en el solvente usado, el producto puede ser utilizado en solución o bien la resina puede ser convertida en polvo.

El sistema permite mejorar la transmisión de calor y también elimina el uso de emulsificantes o agentes de suspensión, dando como resultado un producto con bajo nivel de impurezas. El proceso se emplea principalmente para producir copolímero de gran uniformidad. Su principal desventaja es el alto costo de producción.

#### **COPOLIMERIZACION**

Dentro de la producción de resinas, tenemos varios procesos para modificar las propiedades de las mismas. La copolimerización es uno de ellos. Los copolímeros tienen principalmente una mejor procesabilidad que el PVC homopolímero.

Los copolímeros son fabricados por emulsión ó suspensión, siendo el último proceso el más usado. La polimerización en masa no se usa para la fabricación de copolímeros, con excepción de algunos casos en que usan cantidades muy pequeñas del co-monómero.

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

Algunos de los monómeros que reaccionan de esta manera son: cloruro de vinilideno, ésteres acrílicos y ésteres maléicos. Un copolímero de composición uniforme puede ser obtenido solamente dosificando el co-monómero dentro de la polimerización a la misma tasa a la que se está consumiendo por la reacción.

Entre los principales copolímeros tenemos:

*El del acetato de vinilo.* - Es indudablemente uno de los principales comercialmente. El contenido de acetato de vinilo varía de 2% hasta cerca de 20%. Los copolímeros de bajo contenido son usados para calandreo y los de alto contenido de acetato son usados para aplicaciones de solución, fabricación de discos fonográficos y lozeta para pisos.

*El de vinilideno.* - Estos son posibles con un contenido de vinilideno entre 4 a 40 %. El copolímero con un contenido del 40 % de vinilideno es utilizado en recubrimiento de latas de cerveza.

*El de ésteres acrílicos.* - El acrilato de metilo fue usado como comonómero en un porcentaje entre 14 y 20 %. Los terpolímeros también son fabricados con el uso de ésteres maléicos como tercer monómero.

El desarrollo más reciente es la polimerización por injerto (polimerización "graft") en donde a la cadena del polímero previamente formado se le insertan monómeros o polímeros, obteniéndose así productos homogéneos con una infinidad de propiedades dependiendo del polímero original y de los monómeros o polímeros insertados. Se obtienen polímeros con alta resistencia al impacto cuando se inserta el cloruro de vinilo en polímeros como hule natural, poliacrilonitrilo o polibutadieno y etileno-vinil acetato (EVA).

#### **EMPRESAS PRODUCTORAS DE PVC**

a continuación presentamos una semblanza sintética del desarrollo que ha tenido cada una de las empresas productoras de PVC en México y que podrá proporcionar una idea del desarrollo de esta resina.

**POLICYD, S. A. DE C. V.**

Polycyd, S.A. de C.V., es la empresa pionera en México en la producción de resinas de Policloruro de vinilo (PVC). En 1953 The B.F. Goodrich Co., uno de los principales productores mundiales de PVC, se asoció con la Cfa. Hulera Euzkadi, S.A., para formar la compañía Geon de México, S. A. esta empresa inició su producción en 1954 en la planta ubicada en La Presa, Edo. de México, con una capacidad de 1500 tons. por año.

En 1962 la empresa aumentó su producción a 9,100 tons. por año y en 1971 produjo más de 17,000 tons. En este año el grupo CYDSA de Monterrey compró la participación total de Euzkadi y Reestructuró la compañía, quedando como accionista mayoritario y cambiando el nombre de la empresa a Polycyd, S.A.

En 1980 la capacidad instalada en La Presa llegó a 40,000 ton-anales. En ese año se construía una nueva planta en Altamira, Tamps., con capacidad nominal de 72,000 ton. Esta nueva planta inició su producción en octubre de 1981. El exceso de capacidad instalada permitió a Polycyd iniciar las exportaciones de sus productos en 1982. Actualmente, en 1988, la empresa Polycyd, S.A. de C.V. cuenta con las dos plantas mencionadas, que producen bajo licencia tecnológica de The B.F. Goodrich Co., una amplia variedad de resinas, homopolímeros y copolímeros de PVC, por los procesos de suspensión y de emulsión. Entre ambas plantas se tiene una capacidad instalada de 140,000 ton por año, de las cuales se exporta el 60 % a más de veinte países en los cinco continentes.

En noviembre de 1988 el Grupo CYDSA adquirió el 40% de las acciones de Polycyd, S.A. de C.V. que pertenecían a The B.F. Goodrich Co., por lo que Polycyd, S.A. de C.V. se convierte en empresa 100% mexicana operando bajo la licencia tecnológica de The B.F. Goodrich Co.

Polycyd ha ganado un sólido prestigio en los mercados nacionales e internacionales por su comprobada calidad.

#### **ALTARE SIN, S.A. DE C.V.**

Empresa 100% Mexicana, inicio actividades bajo la denominación social de "Plásticos Omega, S.A." en el año de 1962

produciendo compuestos para la elaboración de discos fonográficos y calzado de plástico. En el año de 1965 se obtuvo el permiso petroquímico para la producción de 3000 ton/año de resinas de PVC (homopolímero y copolímero).

En base a su crecimiento, en 1981 se logró un nuevo permiso para aumentar su capacidad de producción a 13,000 tons/año. Por lo tanto, se empezó a elaborar el proyecto de construcción de la planta que se ubicaría en el puerto industrial de Altamira, Tamaulipas, cuya ejecución se llevó a cabo mediante tecnología, supervisión, mano de obra y recursos propios.

En 1984 la planta de resinas de PVC se separó de "Plásticos Omega, S.A." con la razón social actual "Altaresin, S.A. de C.V."

Para el año de 1985 se logró una producción de 6,000 ton/año, y se continúa desarrollando su capacidad para alcanzar la cifra otorgada a través del permiso en cuestión durante el año de 1987. Actualmente cuenta con 100 empleados aproximadamente y se está exportando cerca del 40 % de la producción.

Siguiendo con sus planes de expansión, en agosto de 1988 se obtuvo permiso petroquímico de la Comisión Petroquímica Mexicana, para producir 40,000 toneladas anuales de resinas de PVC en una nueva planta situada en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, producción que se destinará primordialmente a los mercados internacionales.

#### **GRUPO PRIMEX, S.A. DE C.V.**

En 1968 "Grupo Primex" denominada entonces "Promociones Industriales Mexicanas" inauguró su primera unidad en la ciudad de Puebla Pue., con una capacidad inicial de producción de 9,000 toneladas métricas por año. Su rápido y notable crecimiento se ve reflejado en la capacidad actual en esa planta: 40,000 toneladas anuales, con una expansión programada de 50,000 toneladas anuales. Adicionalmente, en 1986 tuvo en Puebla una capacidad de producción de 20,000 ton. de compuestos rígidos atóxicos.

En 1983 se inicia una época de consolidación de "Grupo Primex" con la puesta en marcha de una segunda unidad en el Puerto Industrial de Altamira, Tamps. En una superficie de 32 hectáreas.

"Grupo Primex" ha construido un complejo petroquímico para el abastecimiento al mercado nacional e internacional de resinas de PVC y otros productos de integración utilizando la tecnología más avanzada, consistente en reactores de polimerización de alta capacidad y sistemas computarizados. La capacidad actual de esta planta es de 75,000 toneladas anuales de resinas de PVC, adicionalmente en el complejo están en funcionamiento, 30,000 toneladas anuales de anhídrido ftálico y en 1987 se puso en marcha otra planta con capacidad de 30,000 toneladas anuales de plastificantes.

En 1986, Lugatom, empresa filial de Primex, desde 1971, fabricante de compuestos flexibles y plastificantes se fusiona con ésta y amplía su capacidad de suministro de compuestos vinílicos plastificados y plastificantes a 35,000 T/A. En este mismo año, Primex cambia su razón social a "Grupo Primex S.A. de C.V."

En la actualidad Grupo Primex es una empresa mexicana dedicada a la fabricación de productos petroquímicos con mayor grado de integración en materia relacionada con el PVC y sus derivados.

La gama de producción de la empresa incluye: resinas de PVC (Homopolímero y Copolímero), compuestos de PVC rígido y flexibles, plastificantes y anhídrido ftálico.

La trayectoria de Grupo Primex ha sido de constante ascenso y superación tanto en el mercado nacional como el de exportación, gracias a la actitud de todo su personal, encaminada hacia la calidad y servicios integrales a sus clientes.

#### *POLIMEROS DE MEXICO, S.A. DE C.V.*

Inició operaciones en el año de 1971 en sus instalaciones de Moyotzingo, Puebla con la fabricación de policloruro de vinilo, por medio del proceso de polimerización conocido como PVC masa con una capacidad de 20,000 toneladas por año.

La empresa está constituida por la asociación de capitales de México, Francia y Alemania, siendo la firma Francesa Pechiney-Saint Gobain quién desarrolló el proceso a fines de los años cuarenta, teniendo como principales características la

polimerización de cloruro de vinilo en ausencia de agua y de agentes de suspensión, y así "Polímeros de México, S.A. de C.V." se convirtió en la primera y única empresa de nuestro país que cuenta con la tecnología de PVC masa.

En 1974 se inicia la producción de compuestos de PVC, tanto rígidos como flexibles y en el año de 1978 se aumenta la capacidad de polimerización hasta 30,000 toneladas anuales. En 1984 se invierte nuevamente para así duplicar la capacidad de fabricación de compuestos de PVC a 60,000 toneladas al año.

Desde la fundación de la empresa hasta 1983, Química Hoechst de México, S.A. de C.V. fue responsable de comercializar en forma exclusiva los productos manufacturados por "Polímeros de México, S.A. de C.V."

A partir de 1984, la gestión de comercialización pasó a ser responsabilidad directa de "Polímeros de México, S.A. de C.V." con objeto de brindar una atención más directa a los clientes.

En diciembre de 1986, adquirió la planta de PVC de Tlaxcala que anteriormente pertenecía a Industrias Resistol y con ello aumentó su capacidad de producir otros tipos de resinas de PVC producido por los procesos de suspensión y emulsión, en 20,000 y 10,000 ton/año respectivamente.

De este modo la empresa se convierte en la única en Latinoamérica que produce y comercializa resina de PVC fabricada por los procesos de masa, suspensión y emulsión pudiendo así estar presente en todos los mercados.

#### **APLICACIONES Y PRODUCTOS**

En la actualidad los fabricantes de resinas de PVC y la ANIQ han clasificado el mercado de acuerdo a segmentos de aplicación, tomando en consideración el proceso de fabricación, tipo de resina y los productos finales fabricados. A continuación se presenta bajo la estructura siguiente:

## 1. PROCESO SUSPENSION Y MASA:

## 1.1 HOMOPOLIMEROS:

## A) RIGIDOS

- Tubería
- Botella
- Perfil Rígido
- Película

## B) FLEXIBLES

- Recubrimientos de Tela
- Película
- Calzado
- Cable y Alambre
- Perfiles Flexibles y Manguera
- Plastisoles
- Miscelaneos

## 1.2 COPOLIMERO

## A) RIGIDOS

- Discos

## B) FLEXIBLES

- Loseta Vinílica

## 2. PROCESO DE EMULSION

## 2.1 HOMOPOLIMERO Y COPOLIMERO

- Tapicería y Tela plástica
- Juguetes
- Plastilina
- Pisos
- Recubrimientos de Metales
- Miscelaneos

## 1.1 HOMOPOLIMEROS

**Perfiles Flexibles y Mangueras.**

Segmento que depende grandemente de las industrias de la construcción y automotriz. También se producen mangueras de diferentes tipos entre las que encontramos las de uso doméstico, para venoclisis, riego uso industrial, para succión, ventilación, conducción de aire comprimido y líquidos a presión.

**Plastisoles**

Este segmento básicamente está dirigido al mercado de uso doméstico, se producen manteles, cortinas para baño, pelotas y recubrimientos.

**Misceláneos**

De los cuales se producen los siguientes productos: rizador para cabello, piezas para la industria eléctrica, mallas para la agricultura, piezas para torres de enfriamiento, cordón vinílico, artículos para la industria médica, monofilamentos para escobas,

bebederos para gallinas, artículos publicitarios, artículos escolares, productos para el hogar, etc.

Entre los más importantes encontramos:

a) *Sinterizado*: Proceso mediante el cual se somete al PVC a temperaturas superiores a los 200°C en ausencia de esfuerzos mecánicos. Los separadores de acumulador son producidos con este proceso.

b) *Recubrimiento por lecho fluidizado*: Piezas metálicas son calentadas para ser sumergidas en una cama de PVC fluidizada por medio de aire. Se recubren piezas destinadas a la mueblería, productos para el hogar y herramientas de uso eléctrico.

c) *Fabricación de piezas automotrices*: Generalmente son producidas por los procesos de inyección y extrusión. Los productos que se fabrican en PVC incluyen volantes, coderas, molduras y piezas del tablero entre otras.

## 1.2 COPOLIMÉROS

### *Rígidos*

*Discos*: Segmento con un mercado incierto por las expectativas y auge del cassette. Se incluye únicamente la fabricación de discos fonográficos en sus diversos tamaños.

### *Flexibles*

*Loseta*: Es un segmento con crecimiento rítmico, con un potencial de desarrollo enorme en casas habitación.

## 2. PROCESO DE EMULSION

### 2.1 HOMOPOLIMERO Y COPOLIMERO

#### *Tela Plástica*

Se elabora por calandreo, para recubrimiento de telas o para fabricar telas sin soporte. Unos ejemplos, de lo que se produce lo tenemos en lonas de silo, forrajeros, metales, etc.

#### *Juguetes*

Se refiere a aquellos artículos de juego o piezas de éstos,

hechos con un plastisol. Ejemplos de los que se producen: cabezas, pies y brazos de muñecas, pelotas, etc.

#### **Plastilata**

Esta aplicación ha venido a substituir el corcho, el cual es en la actualidad escaso y caro. En este segmento encontramos recubrimientos para las coronas de los envases de refrescos, cerrojos y otros.

#### **Pisos**

Están considerados los pisos artificiales con grabados en rollo, por ejemplo el linoleum fabricado por calandreo.

#### **Recubrimientos de Metales**

Este segmento se refiere a la aplicación de plásticos en algunos metales en forma regular e irregular, cuyo recubrimiento no se puede hacer a través de una máquina. Se producen: bobinas, conexiones o bisagras, substitución de la baquelita, etc.

#### **Miscelaneos**

Se incluyen en este segmento, aquellos mercados de tamaño pequeño con aplicaciones diversas que van desde las pinturas, la impermeabilización y las gomas de borrar, etc.

#### **BIBLIOGRAFIA SELECTA**

1. PVC. DOCUMENTO PROMOCIONAL. Sección de PVC y Comisión de  
Estudios de Mercado. ASOCIACION DE LA INDUSTRIA QUIMICA (AÑO)  
1990.

**Anexo 2**

**Generalidades en la formulación de Compuestos de P.V.C.**

## Generalidades en la formulación de Compuestos de PVC.

Es necesario establecer las características o propiedades del producto o del compuesto deseado y posteriormente proceder a delinear la fórmula que servirá de punto de partida para someterla a posteriores ajustes hasta obtener las características deseadas. Desde luego que cuando el técnico posee sólidos conocimientos sobre resinas, aditivos y maquinaria o procesos, el desarrollo de la formulación de la resina puede lograrse casi desde el primer intento.

### PARA LA FABRICACION DE COMPUESTOS SE UTILIZAN

- RESINAS DE PVC
- PLASTIFICANTES
- ESTABILIZADORES
- LUBRICANTES
- CARGAS
- PIGMENTOS
- MODIFICADORES DE FLUJO
- MODIFICADORES DE IMPACTO
- ESTABILIZADORES A LA LUZ ULTRAVIOLETA
- RETARDADORES DE FLAMA
- ESPUMANTES O ESPONHANTES
- ANTIOXIDANTES
- ANTIESTATICOS
- FUNGICIDAS

Con la combinación adecuada de estos componentes podemos obtener productos con propiedades específicas. Las propiedades más importantes son las siguientes:

#### DENSIDAD RELATIVA

ESFUERZO A LA TENSION

MODULO AL 100%

FLEXIBILIDAD A BAJA TEMPERATURA

ENVEJECIMIENTO CON EL CALOR

RESISTENCIA AL RAZGADO

RESISTENCIA A LA COMPRESION

DISTORSION AL CALOR

RESISTENCIA A LA HUMEDAD

RESISTENCIA A AGENTES QUIMICOS

APARIENCIA

RESISTENCIA A ACEITES, GRASAS Y GASOLINA

#### DUREZA

PORCENTAJE DE ELOGACION

ESTABILIDAD AL CALOR

ESTABILIDAD A LA LUZ

RESISTENCIA A LA MIGRACION

PROPIEADES ELECTRICAS

RESISTENCIA AL IMPACTO

TOXICIDAD

RESISTENCIA A LA ABRASION

RESISTENCIA A LA FLAMA

PROCESABILIDAD

En este capítulo se pretende establecer un lineamiento que sirva de orientación y punto de partida en el diseño de formulaciones.

Así pues, partimos de ciertos supuestos en los que se establecen las propiedades o características requeridas.

A partir de tal información, procederemos a desarrollar la formulación con base en los criterios que se anotan a continuación:

Un compuesto de PVC es preparado por incorporación de dos tipos de aditivos: Básicos y Complementarios.

Los aditivos básicos son aquellos estrictamente indispensables para tener un compuesto, aunque no necesariamente cumple con ciertos requisitos. Dichos aditivos son:

- Estabilizador o estabilizante al calor
- Lubricantes

Como aditivos complementarios se consideran todos aquellos que se incorporan en un compuesto, para conferir determinadas características o propiedades y son entre otros, los siguientes:

- |                                 |                        |
|---------------------------------|------------------------|
| -Modificadores de impacto       | -Cargas                |
| -Estabilizadores a la radiación | -Retardadores de flama |
| -Modificadores de flujo         | -Pigmentos             |
| -Antioxidantes                  | -Antiestáticos         |
| -Plastificantes                 |                        |

Por lo tanto, iniciaremos el desarrollo partiendo de la resina que vamos a utilizar para el compuesto.

Fundamentalmente se dispone de cuatro tipos de resina clasificados desde el punto de vista del proceso de obtención, a saber:

- SUSPENSION
- EMULSION
- MASA
- SOLUCION

**Resinas**

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

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

Las resinas PMM se utilizarán principalmente en la manufactura de tubería y perfiles rígidos y las resinas de PMB encuentran uso en productos como botellas, película, perfiles rígidos, conexiones, etc. Habiendo escogido las resinas adecuadas para cada caso, sólo resta fijar la cantidad de aditivos en función de 100 partes de resina (PCR) por la facilidad de manejo de cantidades principalmente; ya que no tenemos que fijar unidades ni porcentajes y en el manejo de cantidades se vuelve relativamente sencillo; por otra parte, la información técnica siempre se encontrará referida a esas cien partes.

RELACION DEL PESO MOLECULAR CON OTROS PARAMETROS		
PESO MOLECULAR	PROPIEDADES MECANICAS	PROCESABILIDAD MECANICA
Bajo	Buenas	Muy Buena
Medio	Muy Buenas	Buena
Alto	Excelentes	Difícil

\*Clasificación arbitraria para ilustración  
AL AUMENTAR EL PESO MOLECULAR

PROPIEDADES FISICO MECANICAS		TENSION DEFORMACION COMPRESION IMPACTO
AUMENTAN	RESISTENCIA QUIMICA A SOLVENTES ALCALIS Y ACIDOS ESTABILIDAD TERMICA PUNTO DE FUSION RESISTENCIA AL ENVEJECIMIENTO.	

## Estabilizadores

Dichas sustancias tienen la finalidad de neutralizar y reaccionar con el ácido clorhídrico que se genera por degradación de la resina, previendo la descoloración del compuesto durante el proceso de transformación, la cual se identifica y se observa como un cambio de color, desde amarillo hasta negro, pasando por tonalidades canela, café y café rojizo.

### CARACTERISTICAS DEL ESTABILIZADOR IDEAL

1. Debe ser receptor de ácido clorhídrico
2. Los productos que se formen con él deben ser insolubles, no presentar problemas de coloración, inodoros y resistentes al agua.
3. No presentar problemas de compatibilidad.
4. Absorbedor de radiación ultravioleta
5. Antioxidante para inhibir la formación de grupos de carbono.
6. Preferentemente no tóxico.
7. Poder usarse en pequeñas cantidades.
8. No ser demasiado caro.

Se dividen en:

*Inorgánicos*  
*Organo-metálicos*  
*Orgánicos*

La degradación térmica se inicia a una temperatura de 90-95 grados centígrados que es cuando empieza a generarse el ácido clorhídrico. Dentro de este grupo se utilizan por su efectividad ciertas sales organo-metálicas y sales inorgánicas, además de algunas sustancias que al combinarse con esas sales mejoran la estabilidad al calor. Entre dichas sustancias están algunos aceites epoxidados y ciertos fosfitos orgánicos.

## Lubricantes

Otro aditivo básico lo constituyen los lubricantes, son aditivos que en muchas ocasiones no reciben la atención que merecen debido a que su uso representa una pequeña cantidad en comparación con otros. Sin embargo, la elección correcta de resina y del tipo y nivel del lubricante son determinantes para la productividad de un compuesto, así como para la calidad del

producto terminado, ya que la procesabilidad significa un mejoramiento de las características de flujo del compuesto, reducción de la tendencia a adherirse a las paredes metálicas de la máquina y a mejorar el acabado superficial del producto.

Los lubricantes se clasifican normalmente en lubricantes internos y externos, de acuerdo a propiedades de solubilidad y dispersión en la resina. Los lubricantes internos propician el deslizamiento de una molécula sobre otra, mientras que el lubricante externo ayuda a que se produzca un deslizamiento del compuesto sobre la superficie metálica del cilindro y el cabezal de una extrusora.

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

*Estearatos de Calcio, Plomo, Zinc*  
*Esteres de Glicerina*  
*Esteres de Acidos Grasos*  
*Amidas de Acidos Grasos*  
*Acidos Grasos*

Como lubricantes externos se pueden mencionar los siguientes:

*Ceras Parafínicas*  
*Ceras de Petróleo*  
*Ceras Polietilénicas*  
*Mezclas Especiales de Ceras*

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

Pasemos ahora a discutir la función de los aditivos señalados anteriormente como complementarios, aunque conviene recalcarlos, son sustancias indispensables para complementar una formulación, ya que modifican o mejoran determinadas propiedades, es decir con su presencia se contribuye a cumplir con requerimientos especiales.

## Plastificantes.

Se utilizan en compuestos flexibles y son generalmente líquidos, en algunos casos sólidos y se combinan con la resina de PVC para cambiar o alterar las propiedades físicas, así como las características del procesamiento, dependiendo de la cantidad y tipo de plastificante agregado. Este último puede afectar las propiedades finales del producto como flexibilidad, resistencia a la intemperie, flamabilidad y compatibilidad de aditivos.

Los plastificantes a usar pueden ser de 15 a 25 partes PRC para semirrígidos y de 25 a 100 partes pcr para flexibles. Se presenta la siguiente tabla con las características más importantes en cuanto a tipos y aplicaciones de los plastificantes.

PLASTIFICANTES	PROPIEDADES DEL COMPUESTO
DOP	Buena plastificación, uso general
Trimelitados, ftalatos como DTDG, DTDG	Propiedades eléctricas
Acetatos epoxidados	Estabilidad a la luz y al calor
Fosfatos (TCP), parafinas cloradas	Retardancia a la flama
Adipatos, sebacatos, azelatos	Flexibilidad a baja temperatura
Poliméricos, trimelitados, DTDG, DTDG	Baja volatilidad
Poliméricos, trimelitados	Baja migración
Poliméricos, trimelitados	No opacantes.

## Cargas

Se utilizan principalmente para disminuir el costo de una formulación, aunque también se recomiendan para conferir otras características, resistencia a la pegajosidad (blocking), opacidad, propiedades eléctricas, resistencia a la luz ultravioleta, aumentar dureza, control de brillo, etc.

Por otra parte, pueden afectar propiedades como la resistencia a la tensión, resistencia química, densidad, resistencia a la abrasión, etc.

Existen varios tipos de cargas, entre los cuales destaca el carbonato de calcio, tanto precipitado como micronizado, por ser una carga ampliamente utilizada en la industria del PVC. También,

se dispone de otras cargas como arcillas calcinadas, asbesto, mica, talco, etc.

Las cantidades a usar varían desde 1 hasta 100 o más partes, dependiendo del tipo de compuesto de que se trate. Sin embargo, para compuestos rígidos se agregan en menor proporción que en componentes flexibles.

### **Pigmentos**

Cuyo uso puede estar destinado a mejorar el aspecto visual del producto, a conferir determinadas características o simplemente usarse como un medio de identificación.

Los pigmentos se pueden agregar en forma de polvo, como dispersiones líquidas, o como concentrados granulados: ya que el PVC presenta la particularidad de que se puede pigmentar con relativa facilidad en una amplia gama de colores. Los pigmentos que se usan para compuestos de PVC pueden ser de dos clases:

*Inorgánicos*, como bióxido de titanio, óxido de cromo, azul ultramarino, molibdato naranja, etc.

*Orgánicos*, como los ftalocianinas, bencidinas, etc.

Para escoger un pigmento, no solamente es importante la tonalidad del color sino que se debe analizar o conocer características como poder tintoreo, opacidad, temperatura de proceso, resistencia al calor, transparencia, condiciones de uso costo, etc.

### **Modificadores de Flujo**

Son conocidos también como ayudas de proceso, cuya función es mejorar la procesabilidad de un compuesto rígido, ayudar a disminuir la viscosidad de fundido, lograr una fusión más completa y más rápida y reducir defectos superficiales. Son resinas complejas elaboradas a partir de sistemas acrílicos y de estireno-butadieno. Las cantidades que se agregan varían de 0.5 a 3 partes por dependiendo del tipo de compuesto y del tipo de

maquinaria utilizada. Es importante alcanzar un nivel adecuado ya que su costo es alto.

SUS PRINCIPALES CARACTERISTICAS SON LAS SIGUIENTES:

- A) Mayor velocidad al proceso
- B) Imparten facilidad de proceso, incluso a polímeros de alto peso molecular.
- C) Reducen la temperatura de fusión.
- D) Imparten buena apariencia al producto terminado.
- E) Reducen la temperatura de transición vítrea.
- F) Ayuda al moldeo posterior de los productos.
- G) Afectan la resistencia química.
- H) Afectan la temperatura de deformación.

**Modificadores de Impacto.**

Son aditivos caracterizados precisamente por mejorar o aumentar la resistencia al impacto de un producto rígido de PVC, sin impartir blandura o flexibilidad.

Los materiales plásticos poseen una propiedad conocida como temperatura de transición vítrea. Por debajo de la cual dichos materiales pueden experimentar fractura o fragilización. Para resolver este problema, se han desarrollado compuestos tipo ABS (acrilato-nitrilo-butadieno-estireno), MBS (metacrilato-butadieno-estireno), CPE (polietileno clorado), acrílicos y EVA (etileno-vinil-acetato), orientados a usos generales y específicos según el caso en particular. Sus propiedades como aditivos para mejorar la resistencia al impacto, consiste en absorber el choque sin provocar fractura ya que experimentan una deformación a la vez que disipan la energía del impacto.

Como información, la incorporación de plastificantes mejora la resistencia al impacto, (cuando se usan más de 15 o 20 partes por ciento), ya que reblandecen al compuesto aunque provocan que pierda rigidez. Esto es, abaten la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) pero el compuesto adquiere blandura y flexibilidad.

A continuación se resumen los diferentes modificadores de impacto con las características más destacadas.

TIPO DE MODIFICADORES  
AL IMPACTO

## CARACTERÍSTICAS

ABS	Se recomienda para productos no expuestos a la intemperie.
MBS	Proporcionan muy buena transparencia, no recomendado para la intemperie.
ACRILICOS	Disponibilidad de modificadores para productos transparentes y opacos, con resistencia a la intemperie.
EVA	Recomendado para productos opacos con buena resistencia a la intemperie.
CPE	Recomendado para productos opacos con buena resistencia a la intemperie.

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

**Estabilizadores UV**

Se utilizan para proteger al producto de la degradación por efecto de una exposición a la intemperie, absorbiendo los rayos ultravioletas y evitando así el cambio de color.

**Retardantes de Flama**

Se utilizan para evitar la propagación de la flama, característica inherente al PVC, pero que al usar otros aditivos se reduce.

**Antioxidantes**

Su objetivo es que colaboren para que el compuesto no pierda sus propiedades mecánicas, al evitar la oxidación producida por el oxígeno y ozono de la atmósfera.

**Antiestáticos**

Eliminan la electricidad estática localizada sobre la superficie del producto.

## Espumantes

Se utilizan para obtener productos celulares o espumados por medios químicos, para hacerlos más ligeros.

### SECUENCIA EN LA PREPARACION DE MEZCLAS SECAS.

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

Para lograr estas condiciones es necesario que se fije un ciclo de mezclado, ciclo que no sólo tomará en cuenta el orden de incorporación sino las condiciones de temperatura.

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

El calentamiento de las resinas de PVC por masa o suspensión, si no es excesivo (por temperatura no superior a los 70 °C y por tiempo a esa temperatura: más o menos 2-3 minutos), se traduce en una dilatación de las partículas, sobre todo cuando esa temperatura se logra mediante agitación/fricción derivadas del impulso de las aspas de un mezclador de alta velocidad o en mucho menor proporción por convección por contacto de las partículas contra las paredes calientes de la mezcladora; de alta o baja velocidad (por calefacción con vapor o agua caliente).

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

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

Es a partir de este paso que se arranca la secuencia recomendable para compuestos plastificados o rígidos, con la siguiente secuencia entre las más usuales, para mezcladoras de alta velocidad:

## ANEXO 2

FASE	OPERACION	TEMPERATURA	OBSERVACIONES
1	Alimentación de resina y estabilizadores	Ambiente	Checkar previamente limpieza total del equipo.
2	Calentamiento de resina	Hasta 70°C	
3	Incorporación de otros ingredientes		Mantener a velocidad constante.
3.1	Plastificantes primarios	de 70 a 90°C	Preferentemente, precalentados.
3.2	Estabilizadores térmicos líquidos y tintas	a 70°C	Predispersados en la fase plastificante.
3.3	Lubricantes internos.	entre 90°C	
3.4	Cargas y/o pigmentos	entre 90-95°C	
3.5	Modificadores de impacto	entre 70-80°C	compuestos rígidos
3.6	Modificadores de flujo	entre 90-95°C	compuestos rígidos
3.7	Lubricantes externos	entre 90-110°C	
3.8	Misceláneos	entre 70-80°C	
	Antioxidantes		
	Blocidas		
	Antiflama		
4	Descarga	100-110°C	Depende del grado de humedad o "sequedad".
5	Enfriamiento	Hasta temp. ambiente	Mantener mezcla fuera de contacto con el ambiente húmedo.
6	Alimentación al extrusor		Por gravedad o dosificadores.

## BIBLIOGRAFIA SELECTA

1. PVC. DOCUMENTO PROMOCIONAL. Sección de PVC y Comisión de Estudios de Mercado. ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA (ANIQ).

**ANEXO 3.**

**Metodología de cálculo y obtención de ecuaciones de modelos matemáticos.**

La programación lineal puede definirse como la técnica matemática para determinar la mejor asignación de los recursos de una empresa. La linealidad es un término matemático que se usa para la descripción de sistemas de ecuaciones simultáneas de grado uno, que satisfagan tanto la función objetivo como las restricciones. La función objetivo expresa la relación entre dos o más variables, en términos de una serie de ecuaciones o desigualdades, que se cumplen bajo ciertas condiciones.

Hay que hacer notar que el método de solución gráfica de la programación lineal sólo puede usarse cuando no hay más de tres variables, porque no es posible dibujar más de tres dimensiones.

El propósito de este documento es caracterizar un esquema de producción para adecuar la mejor asignación y distribución de recursos humanos y materiales.

En base a los lineamientos anteriores es poco práctico desarrollar un método de solución considerando todos y cada uno de los productos de la línea. Por esta razón, se tratan de conjugar las bases de la programación lineal y conceptos estadísticos, como lo son:

#### *Agrupamiento.*

Si una muestra consta de demasiados valores numéricamente diferentes su función de frecuencias y sus gráficas correspondientes son muy complicadas y quizás hasta confusas, por lo que podría desearse que se eliminaran los detalles innecesarios. Esto puede hacerse por medio del proceso de agrupamiento.

#### *Frecuencia.*

El número de veces que aparece un valor  $x$  en una muestra, se llama la *frecuencia absoluta* o, más brevemente, la *frecuencia* de ese valor  $x$  en la muestra. Si se divide la frecuencia entre el tamaño  $n$  de la muestra, obtenemos la *frecuencia relativa*. La suma de todas las frecuencias relativas en una muestra es igual a 1.

Si se asocia el concepto de agrupamiento con el de familia, y por ende con sus propiedades de clase, observando intervalos entre el valor más pequeño y más grande que corresponden a la cantidad

solicitada o fabricada de los productos que forman la familia, los puntos medios de estos intervalos se denominan marcas de clase. Por analogía, la frecuencia se relaciona con la fracción obtenida entre la cantidad parcial de cada familia y la cantidad total, y por tanto, la suma de las fracciones parciales será igual a 1.

Retomando el método de programación lineal, se puede obtener la función objetivo a partir de las ecuaciones de la suma de las contribuciones parciales de cada familia en un esquema de producción. En las cuales se utilizarían diferentes conceptos que caracterizan al sistema.

Para el desarrollo de un modelo matemático que determine una contribución total, en función de una configuración predefinida, implicará la obtención de las marcas de la familia, según la relación o concepto a determinar, por ejemplo; piezas por equipo, costo por equipo, materia prima consumida por equipo, etc.

En este caso las familias son: Sondas (*s*), Equipos de Venocllisis (*ev*), Equipos de volumen medido (*vm*) y Otros (*o*).

Si a la relación entre conceptos se asocia como se menciona en el capítulo cuarto, con la idea de densidad. Se propone la siguiente expresión algébrica:

$$C_s \rho_s + C_{ev} \rho_{ev} + C_{vm} \rho_{vm} + C_o \rho_o = C_{Total} \rho_{Total}$$

donde: *C* es la cantidad o masa de la familia.

*ρ* es la densidad o relación entre variables de la familia.

Si  $C_i/C_{Total} = x_i$  y  $\sum x_i = 1$

$$\text{entonces: } x_s \rho_s + x_{ev} \rho_{ev} + x_{vm} \rho_{vm} + x_o \rho_o = \rho_{Total}$$

Finalmente, las variables  $\rho_i$  se determinarán a través de la resolución de un sistema de cuatro ecuaciones utilizando el método de Gauss-Jordan. Al hacerlo, se forma un arreglo de números (sin considerar las incógnitas), o matriz, en donde en la primera columna aparecerán coeficientes de  $\rho_s$ , en la segunda de  $\rho_{ev}$ , en la tercera de  $\rho_{vm}$ , en la cuarta con  $\rho_o$  y en la última términos independientes, o sea la matriz ampliada del sistema.

Así, el sistema original para estimar costos por equipo

puede escribirse como:

Columnas Renglones	Sondas	E.Venocclisis	E.Volumen M.	Otros	Costo por eq.
1(1986)	0.4565	0.1130	0.0709	0.3596	0.780
2(1987)	0.6470	0.1423	0.0211	0.1896	0.622
3(1990)	0.3856	0.3343	0.0623	0.2085	0.955
4(1992)	0.4637	0.2187	0.0341	0.2836	0.834

Puede aceptarse que las siguientes tres operaciones sobre una matriz ampliada producen otra correspondiente a un sistema equivalente al de la anterior:

1. Intercambiar dos renglones (ya que corresponde a reordenar el sistema)

2. Multiplicar todos los elementos de un renglón por una misma constante no nula (ya que corresponde a multiplicar ambos miembros de una ecuación por una constante)

3. Sumar a los elementos de un renglón los correspondientes elementos de otro multiplicados por una constante (ya que corresponde a la sustitución de una ecuación por una combinación lineal de las ecuaciones del sistema).

Para resolver un sistema lineal, se aplican éstas operaciones a la matriz ampliada del sistema, de manera de convertir en ceros el mayor número de los elementos correspondientes a los coeficientes; cuando no se puede anular ningún elemento más, se procede a interpretar los renglones de la última matriz obtenida, con lo que se obtendrá la solución del sistema.

La aplicación de este método resulta más efectiva si se toma un elemento como pivote y se eliminan todos los elementos de su columna, haciendo previamente que el pivote se convierta en uno, en forma sistemática.

Posteriormente se sustituyen los valores obtenidos en la ecuación y se calcula cada modelo de configuración para obtener la caracterización del esquema, para terminar con la generación de una tabla de datos que servirá en la construcción de la gráfica correspondiente.

METODO GAUSS-JORDAN.

Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Terminos Independientes.
0.4565	0.1130	0.0709	0.3596	0.7800
0.6470	0.1423	0.0211	0.1896	0.6220
0.3856	0.3343	0.0623	0.2085	0.9550
0.4637	0.2187	0.0341	0.2836	0.8340

Matriz Ampliada

Operaciones:

Pivote 0.647

0.000	0.013	0.056	0.226	0.3411
1.000	0.220	-0.033	0.293	0.9614
0.000	0.249	0.050	0.096	0.5843
0.000	0.117	0.019	0.148	0.3882

Renglón 1' = Renglón 2''\*(-0.4565)+Renglón 1  
 Renglón 2' = Renglón 2 / Pivote  
 Renglón 3' = Renglón 2''\*(-0.3856)+Renglón 3  
 Renglón 4' = Renglón 2''\*(-0.4637)+Renglón 4

Pivote 0.269

0.000	0.000	0.054	0.221	0.3116
1.000	0.000	-0.011	0.209	0.4463
0.000	1.000	0.199	0.383	2.3420
0.000	0.000	-0.004	0.103	0.1149

Renglón 1' = Renglón 3''\*(-0.013)+Renglón 1  
 Renglón 2' = Renglón 3''\*(-0.220)+Renglón 2  
 Renglón 3' = Renglón 3 / Pivote  
 Renglón 4' = Renglón 3''\*(-0.117)+Renglón 4

Pivote 0.221

0.000	0.000	0.242	1.000	1.4101
1.000	0.000	-0.062	0.000	0.1518
0.000	1.000	0.107	0.000	1.8022
0.000	0.000	-0.029	0.000	-0.0304

Renglón 1' = Renglón 1 / Pivote  
 Renglón 2' = Renglón 1''\*(-0.209)+Renglón 2  
 Renglón 3' = Renglón 1''\*(-0.383)+Renglón 3  
 Renglón 4' = Renglón 1''\*(-0.103)+Renglón 4

Pivote -0.029

0.000	0.000	0.000	1.000	1.158157
1.000	0.000	0.000	0.000	0.216065
0.000	1.000	0.000	0.000	1.691218
0.000	0.000	1.000	0.000	1.040692

Renglón 1' = Renglón 4''\*(-0.242)+Renglón 1  
 Renglón 2' = Renglón 4''\*(-0.062)+Renglón 2  
 Renglón 3' = Renglón 4''\*(-0.107)+Renglón 3  
 Renglón 4' = Renglón 4 / Pivote

Sustitución de valores en la ecuación y generación de la tabla de datos para construir la gráfica.

Familia Sondas	Coeficiente	Modelos			
		A	B	C	D
E. Venoclisia	0.2161	64%	51%	38%	35%
E. Volumen Medido	1.6912	14%	19%	33%	40%
Otros	1.0407	2%	4%	6%	7%
Costo Característico por Equipo (\$/Equipo)	1.1582	20%	26%	23%	18%
		0.627	0.774	0.969	1.033

Tabla de datos  
 Núm. Equipos.

Modelos

	A	B	C	D
100,000	62,750	77,427	96,902	103,34
150,000	94,125	116,141	145,354	155,01
200,000	125,500	154,855	193,805	206,68
250,000	156,874	193,568	242,256	258,35
300,000	188,249	232,282	290,707	310,02
350,000	219,624	270,996	339,159	361,69
400,000	250,999	309,709	387,610	413,37
450,000	282,374	348,423	436,061	465,04
500,000	313,749	387,137	484,512	516,71
550,000	345,124	425,850	532,964	568,38
600,000	376,499	464,564	581,415	620,05
650,000	407,874	503,278	629,866	671,72
700,000	439,248	541,991	678,317	723,39
750,000	470,623	580,705	726,768	775,07
800,000	501,998	619,419	775,220	826,74
850,000	533,373	658,132	823,671	878,41

De acuerdo con la metodología expuesta se resume los resultados obtenidos, cabe la aclaración que la selección del pivote y el redondeo de la fracción decimal pueden generar variaciones en los valores presentados de las ecuaciones consideradas:

$$\text{Ecuación } C_S \rho_S + C_{ev} \rho_{ev} + C_{vm} \rho_{vm} + C_O \rho_O = C_{\text{Total}} \rho_{\text{Total}}$$

$$\text{Ecuación } x_S \rho_S + x_{ev} \rho_{ev} + x_{vm} \rho_{vm} + x_O \rho_O = \rho_{\text{Total}}$$

## RESUMEN DE VALORES.

Concepto	Coeficientes				Modelos			
	Sondas	E.V.	E.V.M.	Otros	A	B	C	D
Kg./equipo	-0.0713	0.7881	-1.5686	0.6294	0.0125	0.0165	0.02	0.025
Tubos/equipo	0.6409	1.7906	-0.6914	0.7408	0.6542	0.7611	0.9007	1.1007
Piezas/equipo	3.8774	11.7205	-9.0065	4.1475	3.0178	3.9098	5.3775	6.5712
Hr-Maq. Extrusión	3029	-1240	4800	-576	1746	1353	1112	913
Hr-Maq. Inyección	-4174	49302	-72726	35624	9535	17769	16470	11320
Costos	0.2161	1.6912	1.0407	1.1582	0.627	0.774	0.969	1.033
Ingresos	0.0978	1.8354	-2.7396	3.599	0.985	1.225	1.306	1.224

## BIBLIOGRAFIA SELECTA

1. Toma de decisiones por medio de INVESTIGACION DE OPERACIONES.  
Robert J. Thierauf, Richard A. Grosse. LIMUSA 1979.
2. INTRODUCCION A LA ESTADISTICA MATEMATICA. PRINCIPIOS Y METODOS.  
Erwin Kreyszing. LIMUSA 1979.
3. METODOS NUMERICOS. Luthé, Olivera, Schutz. LIMUSA 1980.

## BIBLIOGRAFIA

1. (FRAGMENTOS) BASES DEL CONCURSO DE ADQUISICIONES DE MATERIAL DE CURACION PARA EL SECTOR SALUD, 1992 Y 1993. CONVOCADAS POR EL INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL.
2. REGISTROS Y REPORTES DE PRODUCCION DE DES VAR DE MEXICO EDITADOS POR EL DEPARTAMENTO DE PRODUCCION, 1986 A 1993.
3. INTRODUCCION A LA ESTADISTICA MATEMATICA. PRINCIPIOS Y METODOS.  
Erwin Kreyszing. Editorial LIMUSA 1979.
4. INYECCION DE PLASTICOS  
W. Mink. Editorial Gustavo Gili S.A., 1981.
5. TRANSFORMACION DE PLASTICOS  
V.K. Savgorodny. Editorial Gustavo Gili S.A., 1978.
6. SISTEMAS DE PRODUCCION E INVENTARIO. PLANEACION Y CONTROL.  
Buffa y Taubert. editorial LIMUSA, 1978.
7. INGENIERIA DE SISTEMAS  
Arthur D. Hall. C.E.C.S.A, 1981.
8. LA FORMULACION Y EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DE PROYECTOS INDUSTRIALES.  
Ing. Humberto Soto, Ing. Ernesto Espejel e Ing. Hector F. Martinez  
EDITOVISUAL CENETI 1978.
9. FUNDAMENTOS DE ADMINISTRACION FINANCIERA  
James C. Van Home.  
PHI EDITORIAL PRENTICE/HALL INTERNATIONAL 1979.
10. PVC. DOCUMENTO PROMOCIONAL  
SECCION DE PVC Y COMISION DE ESTUDIOS DE MERCADO  
ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA (ANIQ) 1990.

11. ANUARIO ESTADISTICO.

ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA (ANIQ) 1992.

12. Toma de decisiones por medio de INVESTIGACION DE OPERACIONES.

Robert J. Thierauf, Richard A Grosse. LIMUSA, 1979.

13. METODOS NUMERICOS.

Rodolfo Luthe, Antonio Olivera, Fernando Schutz. EDITORIAL LIMUSA  
1980.

## Índice de Temas

	Página
Importancia del Policloruro de Vinilo en la fabricación de material de curación.	6
Definición del Mercado de Consumo	6
Línea de Productos de Material de Curación de Des Var	8
Especificaciones generales de los productos de material de curación	14
Desglose de componentes por equipo	15
Principales características y propiedades del PVC	18
Estructura	18
Forma y tamaño de partícula	19
Porosidad de la partícula	19
Peso molecular	19
Densidad Relativa	19
Estabilidad térmica	20
Características de procesabilidad	20
Propiedades reológicas	20
Propiedades químicas	21
Aspectos Técnicos de los Procesos de Transformación de las Materias Primas	23
Formulaciones características de PVC para uso médico	24
Resina	26
Estabilizadores térmicos	26
Plastificantes	27
Lubricantes	28
Formulación típica de PVC para extrusión	28
Formulación típica de PVC para inyección	29
Descripción de procesos de extrusión de termoplásticos	30
Máquinas de extrusión	32
Condiciones de operación de extrusión	35
Descripción de procesos de inyección de termoplásticos	37
Plastificación del material en unidades de inyección	39
Ciclo del sistema de inyección	39
Características mecánicas de los moldes	41
Características técnicas de máquinas de inyección	43
Análisis del sistema de producción de mat. de curación	45
Programa de Producción	47
Recepción y manejo de materiales	48
Análisis del sistema de producción	48
Antecedentes históricos	48
Modelos de cálculo	54
Aplicación de método simplex	56
Serie de métodos gráficos	59
Estimación de tiempos de Extrusión	62
Estimación de tiempos de Inyección	63
Requerimientos de Horas-hombre de ensamble por equipo	64
Estimación de costos por equipo	66
Estimación de ingresos por equipo	67
Análisis beneficio-costo	68
Conclusiones	72
Bibliografía	111

**Indice de Gráficas****Página****Número**

1 Distribución del mercado de consumo	9
2 Demanda anual por familia de productos	10
3 Requerimiento de Materia Prima	11
4 Distribución por aplicaciones y usos de PVC en el consumo nacional	12
5 Dureza de PVC-plastificante (plastificante DOP)	27
6 Producción anual de material de curación	49
7 Consumo interno de materias primas 1986 a 1993	50
8 Consumo de partes de plástico 1986 a 1993	50
9 Producción mensual 1986 a 1993	51
10 Distribución del consumo por línea de productos 1986 a 1993	57
11 Modelos para configuraciones de producción	58
12 Modelos de consumo de materia prima	60
13 Relación equipo-piezas en función de la configuración	61
14 Relación equipo-tubos en función de la configuración	61
15 Estimación de tiempos de Extrusión	62
16 Estimación de tiempos de Inyección	63
17 Personal efectivo dispuesto de 1986 a 1993	64
18 Recursos humanos dispuestos por familia de 1986 a 1993	65
19 Requerimientos de personal según modelo de configuración	65
20 Análisis de costos generados por familia de 1986 a 1993	66
21 Estimación de costos según modelo de producción	66
22 Ingreso estimado por familia de 1986 a 1993	67
23 Estimación de ingresos según modelo de producción	67
24 Relación histórica Costo-Ingreso del periodo 1986 a 1993	69
25 Relación Beneficio-Costo base histórica de 1986 a 1993	69
26 Relación beneficio-costo por familia análisis histórico	70
27 Índice costo-beneficio según el modelo de producción	70

**Indice de Tablas****Número****Página**

1 Línea de Productos de Material de Curación de Des Var de México SA de CV.	8
2 Requerimientos de materia prima para la totalidad del concurso anual del IMSS 1993.	11
3 Matriz de desglose de componentes	17
4 Banco de datos de producción de 1986 a 1993	53
5 Tratamiento estadístico de datos	54

**Indice de Figuras****Número****Página**

1 Mezclador para formulaciones de PVC	25
2 Sistema de extrusión de PVC	31
3 Husillos generalmente usados en la transformación de diversos materiales termoplásticos	34
4 Relación de balance entre diámetros	36
5 Ciclo de inyección de termoplásticos	40
6 Partes de un molde de inyección	42

## Indice de Diagrama

Número	Página
1 Esquema del sistema de producción	46

## Indice de Temas Anexo 1

Página

Aspectos generales de la industria de PVC	75
Reseña histórica	76
Monómero de cloruro de vinilo	79
Policloruro de vinilo	80
Producción del PVC	81
Proceso de polimerización	82
Suspensión	82
Emulsión	83
Masa	83
Solución	84
Copolimerización	84
Empresas Productoras de PVC	85
Policyd S.A. de C.V.	85
Altarecin S.A. de C.V.	86
Grupo Primex S.A. de C.V.	87
Pollmeros de México S.A. de C.V.	88
Aplicaciones y productos	89

## Indice de Temas Anexo 2

Página

Generalidades en la formulación de Compuestos de PVC	93
Resinas	96
Estabilizadores	97
Lubricantes	97
Plastificantes	99
Cargas	99
Pigmentos	100
Modificadores de flujo	100
Modificadores de impacto	101
Secuencia en la preparación de mezclas secas	103

## Indice de Temas Anexo 3

Página

Metodología de Cálculo y obtención de ecuaciones de modelos matemáticos.	105
Método Gauss-Jordan	109