

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

---

# **“Resinas Acetalicas”**



**TESIS**

PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO QUIMICO**

PRESENTA  
**JOSE VARGAS QUIROZ**

**1974**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

CLAS 1974  
ABO ~~1974~~  
FECHA 1975  
PROC \_\_\_\_\_  
S \_\_\_\_\_

art. **336**



QUÍMICA

JURADO ASIGNADO PRESIDENTE : JULIO TERAN ZAVALETA  
ORIGINALMENTE VOCAL : ANTONIO REYES CHUMACERO  
SEGUN EL TEMA SECRETARIO : FERNANDO ITURBE HERMANN  
1er. SUPLENTE : GUILLERMO ALCAYDE LACORTE  
2. SUPLENTE : MARGARITA GONZALEZ TERAN

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA : BIBLIOTECA DE LA FACULTAD  
DE QUIMICA Y DOMICILIO.

SUSTENTANTE : JOSE VARGAS QUIROZ

ASESOR DEL TEMA : QUIM. JULIO TERAN ZAVALETA.



A M I S P A D R E S .

CON TODO EL AGRADECIMIENTO Y EL CARIÑO DE SU HIJO.

A M I A D O R A D A  
E S P O S A .

A MI HIJITA ANA LAURA Y LOS QUE VENGAN.

A MIS HERMANOS Y HERMANAS.  
- - - - -

A MIS PADRES POLITICOS.  
- - - - -

A MIS MAESTROS.  
- - - - -

A MIS AMIGOS.  
- - - - -

C C N \_ R E S P E T O \_ Y \_ C A R I Ñ O \_ A L \_ G R A N M A E S T R O

Q U I M I C O

J U L I O \_ T E R A N \_ Z A V A L E T A

P O R \_ S U E J E M P L O \_ H U M A N I S T A

A : S I L V I A \_ A G U I L A R \_ B L A N C O

C O N \_ A F E C T O \_ Y \_ C A R I Ñ O \_ P O R -

S U \_ I N A P R E C I A B L E \_ A Y U D A -

INDEX

"I N D I C E"

- I. INTRODUCCION.
- II. CAPITULO I.  
"PROPIEDADES DE LAS RESINAS ACETALICAS"
- III. CAPITULO II.  
"CONSIDERACIONES DE DISEÑO"
- IV. CAPITULO III.  
"PROCESADO DE LAS RESINAS ACETALICAS"
- V. CAPITULO IV.  
"LAS RESINAS ACETALICAS EN MEXICO"
- VI. BIBLIOGRAFIA.

" I N T R O D U C C I O N "

Nadie hubiera podido predecir cuando allá por el año de 1908 fue descubierta la baquelita, que el mundo estaba presenciando el nacimiento de una industria que portaba en sí el sello característico de una época.

Nunca industria alguna evolucionó tan rápidamente ni se ciñó con tal fuerza alrededor de los hombres.

Hoy vemos con la mayor naturalidad como infinidad de objetos que durante siglos se habían construido con materiales tradicionales, se hacen de "plástico".

Vivimos rodeados de plástico, incluso nos vestimos con él. Sin embargo, para hacer posible este prodigio industrial, ha sido preciso que una entusiasta legión de químicos, científicos e ingenieros se afanaran en crear continuamente nuevos materiales, con las propiedades necesarias para cada caso.

Hoy, la ya numerosa familia de los plásticos puede ofrecer uno de sus miembros para cada empleo específico. Actualmente, la palabra plástico se usa para designar una gran variedad de polímeros. El objeto de esta monografía es tratar específicamente acerca de uno de ellos: Las Resinas Acetálicas.

En las Resinas Acetálicas se encuentra un material plástico que por primera vez pone una resistencia mecánica que se aproxima a la de los metales no ferrosos; un análisis de 500 aplicaciones industriales en resinas acetálicas muestran que el 75% de ellas eran normalmente realizadas en metal y alrededor del 10% en materiales no plásticos, tales como caucho, madera o vidrio.

En este trabajo discutiremos propiedades, factores de diseño y usos de las resinas acetálicas, unos plásticos relativamente nuevos de los cuales su importancia industrial aumenta día a día.

Las resinas acetálicas están hechas por la polimerización del formaldehído que es un gas bajo condiciones ordinarias. Los químicos algunas veces se refieren a estas resinas como poliformaldehído o como polioximetileno. La palabra acetal es un término químico y se refiere al tipo de uniones químicas presentes en la resina. Resinas acetálicas o acetales es el nombre genérico preferido para estas resinas.

Existe una amplia variedad de unidades y más de un tipo puede ser usado como un plástico simple.

Las resinas acetálicas que discutiremos aquí fueron disponibles comercialmente a principios de 1960, y los datos de ingeniería están limitados al plástico hecho de un polímero lineal de oximetileno.

Entre los usuarios de estas resinas, resina acetal es un nombre nuevo y la definición corrientemente aceptada es de que son materiales rígidos y tenaces procesables por técnicas standard de inyección y extrusión.

Para evitar malas interpretaciones, las siguientes "resinas acetálicas" no están incluidas dentro de este trabajo.

Polivinil Butiral. - Usado en vidrio de seguridad en las industrias de construcción y automotriz.

- $\text{CH}_2 - \underset{1}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \underset{1}{\text{CH}}$  - "BUTACITE" - Compañía Dupont.
- $\text{C}_3\text{H}_7$  - "SAFLEX" - Compañía Química Monsanto.
- "BUTVAR" - Shawinigan Resins Corp.

Polivinil Formol. - Usado como esmalte en la industria del alambre y cable.

- $\text{CH}_2 - \underset{1}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \underset{1}{\text{CH}}$  - "FORMVAR" - Shawinigan Resins Corp.
- $\underset{0}{\text{CH}_2} - \underset{0}{\text{CH}_2}$

Este trabajo tratará de aquellas resinas acetálicas de alto peso molecular, estables polímeros lineales de formaldehído  $\text{CH}_2\text{O}$  y cuya estructura química es:



donde los grupos terminales son derivados de cantidades controladas de agua (H - O - H) y donde x denota un largo (típicamente 1,500), número de unidades de formaldehído encadenadas bajo la forma cabeza con cola. Para aumentar la resistencia química y térmica, grupos terminales pueden ser convertidos a ésteres o éteres. Esta estructura difiere de otros polímeros de formaldehído como es el trioxano, porque las moléculas son largas y lineales (sin ramificaciones y de relativamente angosta sección transversal). Empaquetadas muy juntas, dándonos un alto grado de rigidez, tenacidad y resistencia química.

Otros oximetilenos pueden ser usados en que uno a ambos hidrógenos del formaldehído puedan ser reemplazados por radicales orgánicos como metilos o bencilos. Polímeros de este tipo no se han ofrecido aún comercialmente. A la fecha los miembros comerciales de la familia de las resinas acetálicas son:

"DEL RIN". - Hecho por la Compañía Du Pont, donde este trabajo ha sido desarrollado. El "DEL RIN" es un homopolímero de formaldehído.

La otra resina es "CELCON" de Celanese Corporation, la cual es un copolímero de formaldehído con un comonomero no identificado.

La polimerización del formaldehído ha sido conocida desde hace un siglo pero hasta hace poco tiempo (1960) todos los polímeros fueron quebradizos y muy fácilmente revertidos a formaldehído grueso cuando ellos eran calentados en intentos de moldeo. Polímeros que fueron tenaces (películas dúctiles, capaces de resistir repetidos dobleces por una semana a 105° C.) y estables térmicamente (menos del uno por ciento de pérdida de peso por minuto a 222° C.) fueron primeramente descritas y patentadas por Mac Donald (U.S. Patente 2,768,994 de Du Pont). Estos polímeros pueden ser preparados pasando formaldehído puro anhidro dentro de hidrocarburo líquido agitando. ¿Polimerización puede ser catalogada por aminas fosfínicas, alquilos metálicos, carbonitos metálicos y alilos metálicos?

Lo último en catalizadores para la polimerización de resinas acetálicas en general y de acuerdo con el Dr. Wayne E. White, Director de Investigación de Ozark - Mahoning, Co., Tulsa, Okla. Trifenilmetil exafluoroarceñiato y trifenilmetil exafluorofosfato, que son sólidos cristalinos finamente divididos, pueden incrementar las propiedades y métodos de manufactura de polímeros de formaldehído y trioxanos como el "DELRIN" de Du Pont y el "CELCON" de Celanese.

Más mejoras en estabilidad térmica y química pueden lograrse convirtiendo los grupos hidroxilos al final de la resina acetálica en grupos ester o eter o incorporando poliamidas (Patente británica 860,410 de Du Pont Company).

La variedad infinita de copolímeros posibles se indica en la Patente británica 807,589 de Du Pont que describe blocks de copolímeros de formaldehído con monómeros o prepolímeros de otros materiales capaces de proveer hidrógenos activos como son copolímeros de acetato acrílico de vinilo ácido o polímeros de butadieno reducido/acrilonitrilo.

Celanese Corporation tiene patentados polímeros acetales lineales del trioxano por catálisis con ácidos alquenos sulfónicos (Patente EUA 2,947,727) y cloruros metálicos (Patente EUA 2,947,728).

Varias familias de termoplásticos se están usando actualmente en usos estructurales. La tabla 1.1 nos compara algunas propiedades físicas de algunos de estos plásticos que damos con el fin de orientar y situar a las resinas acetálicas. Cada uno de estos tipos es disponible en un rango de composiciones y otras propiedades que en estos casos deberán ser consideradas.

TABLA 1.1

PROPIEDADES TÍPICAS DE TERMOPLÁSTICOS EMPLEADOS EN USOS ESTRUCTURALES POR ASTM A 73° F.  
Y 50% DE HUMEDAD RELATIVA

<u>PROPIEDAD</u>	<u>ACETAL</u>	<u>NYLON 66</u>	<u>NYLON 6</u>	<u>POLICAR- BONATO</u>	<u>ABS Alto IMPACTO</u>	<u>MEDIO</u>
Fuerza de Tensión PSI	10,000	11,200	9,700	9,500	5,100	8,800
Elongación %	15	300	260	90	100	20
Módulo de Flexión PSI	410,000	175,000	140,000	375,000	240,000	450,000
Impacto Izod Ft-Lb por pulg. -notch	1.4	2.0	5	12	6	1.5
Temperatura de Deformación a 66 PSI° F.	338	433	370	293	208	215
Peso Específico	1.42	1.14	1.13	1.2	1.02	1.07
Dureza Rockwell R	120	108	93	118	87	118
Absorción de Agua % 24 hr.	0.25	1.5	1.8	0.3	0.2	0.2

ACETAL: Homopolímero ("DELRIN")

NYLON 66: Adipato de Hexametilendiamina

NYLON 6: Caprolactama

POLICARBONATO

ABS: Copolímero de Acrilo Nitrilo Butadieno Estireno.

"CAPITULO I"

## "PROPIEDADES DE LAS RESINAS ACETÁLICAS"

Para mejorar comprensión, dividiremos este capítulo en tres secciones:

1. Propiedades físicas.
2. Propiedades químicas, incluyendo permeabilidad y toxicidad.
3. Propiedades eléctricas y otras.

La composición química, estructura regular y alta cristalinidad de las resinas acetálicas dan a las piezas hechas con este material una combinación de propiedades físicas que no se pueden dar con metales o con otros plásticos. Sus atributos más importantes son:

- a) Alta resistencia mecánica y rigidez.
- b) La mayor resistencia a la fatiga de todos los termoplásticos.
- c) Excelente resistencia a la humedad, gasolinas, solventes y muchos otros agentes químicos.
- d) Excelente estabilidad dimensional.
- e) Facilidad de proceso.
- f) Alta resistencia a impactos repetidos.
- g) Buenas características de aislante eléctrico.
- h) Resiliencia.

- i) Lubricidad natural
- j) Usos en un amplio rango de temperaturas.

Sus principales limitaciones son el de no ser adecuados para usos muy prolongados en vapor, agua hirviendo, ácidos o bases fuertes. Son materiales clasificados como de ignición lenta.

Debido a estos singulares atributos, como materiales de construcción, ofrecen muchas oportunidades para el diseño industrial que pueden ser aprovechados en reducción de costos, tanto en el costo de las piezas, como en reducción por usos técnicos de uniones más adecuadas, pueden aumentar la duración de servicio útil, mayor libertad en estilos, aumentar el rendimiento, etc. Uno de sus más grandes atributos es el de permitir una variedad de funciones en una sola unidad. Por ejemplo, usos donde se combinan en una sola pieza funciones como: engranes, leva, resorte, chumacera y flecha son comunes.

PROPIEDADES FISICAS. -

Sumario de Propiedades  
(Valores promedio para (DEL RIN))

TABLA 2-1

<u>PROPIEDAD</u>	<u>ASTM No.</u>	<u>VALOR</u>	<u>UNIDADES</u>
Fuerza de Tensión (0.51 cm/min.)	D 638		Kg/cm <sup>2</sup> .
- 55° C.		1,030	
+ 23° C.		705	
+ 71° C.		530	
+ 100° C.		340	
+ 122° C.		275	

---

<u>PROPIEDAD</u>	<u>ASTM No.</u>	<u>VALOR</u>	<u>UNIDADES</u>
Módulo de Tensión (1% de Esfuerzo) (0.51 cm/min.)	D 638		
+ 23° C.		36,600	Kg/cm <sup>2</sup>
+ 71° C.		21,800	
+ 100° C.		13,400	
Fuerza de Flexión (0.13 cm/min.)	D 790		
+ 23° C.		900	Kg/cm <sup>2</sup>
- 55° C.		38,700	
+ 23° C.		28,800	
+ 71° C.		18,300	
+ 100° C.		10,600	
+ 122° C.		6,300	
Módulo de Compresión (0.13 cm/min.)	D 695		Kg/cm <sup>2</sup>
+ 23° C.		47,000	
Esfuerzo de Compresión (0.13 cm/min.)	D 695		Kg/cm <sup>2</sup>
+ 23° C.		370	1% def.
		1,270	10% def.
Fuerza de Desgaste			
+ 23° C.		670	Kg/cm <sup>2</sup>
Tensión de Elongación (0.51 cm/min.)	D 638		%
		Frac- Cede turo	C. Fract.
- 55° C.		- 38	- 13
+ 23° C.		12 75	12 25
+ 71° C.		11 260	11 260
+ 122° C.		10 260	10 260

<u>PROPIEDAD</u>	<u>ASTM No.</u>	<u>VALOR</u>	<u>UNIDADES</u>
Deformación bajo peso 141 Kg/cm <sup>2</sup> a 50° C.	D 621	0.5	%
Temperatura de Defle- xión	D 648		°C
19.0 Kg/cm <sup>2</sup>		124	
4.6 Kg/cm <sup>2</sup>		170	
Límite de resistencia a la fatiga		350	Kg/cm <sup>2</sup>
50 a 100% H.R., 21° C			
10 <sup>6</sup> ciclos			
100% H.R. 66° C.		210	Kg/cm <sup>2</sup>
10 <sup>6</sup> ciclos			
Impactos a la tensión	D 1822	360 210 150	cm-kg/cm <sup>2</sup>
23° C.			
IZOD Unnotched 23° C.	D 256	7540 130 85	cm-kg/cm <sup>2</sup>
IZOD Notched - 40° C.	D 256	9.8 6.5 5.4	cm-kg/cm de notch.
- 23° C.		12.5 7.6 7.1	cm-kg/cm de notch.
Absorción de Agua	D 570		%
24 horas sumergido		0.25	
Equil. 50% H.R. 23° C.		0.22	
Equil. sumergido 23° C.		0.9	
Coefficiente de Expan- sión térmica lineal	D 696		
- 40 a + 30° C.		7.5 x 10 <sup>-5</sup>	cm/cm/°C.
+ 30 a + 60° C.		9.0 x 10 <sup>-5</sup>	"
+ 60 a 105° C.		9.9 x 10 <sup>-5</sup>	"
Conductividad Térmica		0.1985	K cal/m <sup>2</sup> /hr/°C/M

<u>PROPIEDAD</u>	<u>ASTM No.</u>	<u>VALOR</u>	<u>UNIDADES</u>
Calor Especifico		0.35	K cal/kg/° C.
Punto de fusión (cris- talino)		175	°C.
Temperatura de fluidez	D 569	184	°C.
Peso Especifico	D 792	1.42 (valor máximo)	
Dureza Rockwell	D 785	M94, R120	
<hr/>			
Coeficiente de Fric- ción (no lubricado)	Inclinado Plano sobre acero		Depende de la presión y velo- cidad
23-122° C. Estático		0-1-0.3	
23-122° C. Dinámico		0-1-0.3	
<hr/>			
<u>PROPIEDADES ELECTRICAS</u>			
Constante dieléctrica 50% H.R. 23° C. 10 <sup>2</sup> - 10 <sup>6</sup> CPS	D 150	3.7	
Factor de Disipación 50% H.R. 23° C. 10 <sup>0</sup> CPS	D 150	.0048	
Fuerza Dieléctrica corto tiempo.	D 149	20	KU/mm.
Volumen de Resisti- vidad 23° C. y 0.2% agua	D-257	1 x 10 <sup>15</sup>	Ohm/cm.
Superficie de Resis- tividad	D 257	1 x 10 <sup>15</sup>	Ohm/cuadrado
<hr/>			
Resistencia al Arco	D 495	Se quema - no deja huella	segundos
<hr/>			
Flamabilidad	D 635	2.8	cm/min.
Temperatura de Igni- ción	D 1929	376	°C.
Resistencia Química	Resistencia sobresaliente a agentes químicos neutros, incluyendo una gran variedad de sol-ventes.		

Estos valores son representativos para aquellos obtenidos bajo condiciones standard de ASTM y no deberán ser usados para diseñar piezas que funcionen bajo diferentes condiciones.

### PROPIEDADES MECANICAS.-

Algunas definiciones de ingeniería son de singular importancia para un entendimiento básico del comportamiento mecánico de los termoplásticos.

#### Definiciones.-

1. Materiales Elásticos.- Son aquellos que son capaces de recuperar su forma original y tamaño después de quitar la fuerza causante de esa deformación.
2. Límite Elástico.- Límite elástico (PSI) ( $\text{Kg/cm}^2$ ) es el esfuerzo más grande que un material es capaz de resistir sin ninguna elongación permanente al quitar la fuerza.
3. Límite proporcional.- Límite proporcional (PSI) ( $\text{Kg/cm}^2$ ) es el esfuerzo más grande que un material es capaz de resistir sin ninguna desviación de proporcionalidad de esfuerzo a elongación (Ley de Hooke).
4. Módulo de Elasticidad.- El módulo de elasticidad (E PSI) ( $\text{Kg/cm}^2$ ) en tensión, compresión o flexión de un material es el radio

de esfuerzos a correspondientes elongaciones abajo del límite proporcional en el tipo particular de esfuerzos envueltos.

5. Material Plástico.- En el sentido puro de ingeniería, el término "plástico" aplicado a un material significa que éste se deforma permanentemente cuando un esfuerzo crítico conocido como esfuerzo mínimo de deformación permanente es excedido.

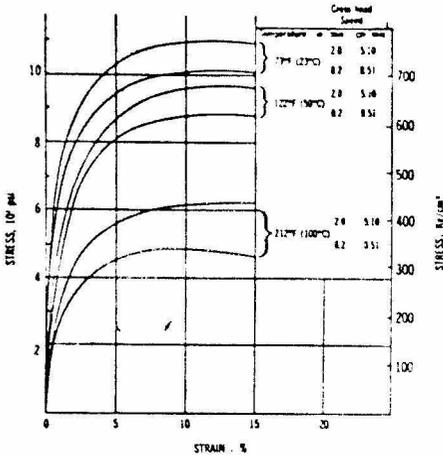
El comportamiento mecánico de los termoplásticos en un rango de elástico a plástico, depende de: la naturaleza del material; magnitud de los esfuerzos; duración de los mismos, temperatura ambiente; naturaleza química del medio ambiente; tiempo necesario para recobrar su forma.

#### CARGAS A CORTO PLAZO. -

Comportamiento Elástico (carga inicial)

La curva esfuerzo elongación.

La influencia de la temperatura y el régimen de esfuerzo en el comportamiento tensil del homopolímero acetal puede verse en la siguiente figura. El efecto del régimen de esfuerzo empieza a ser más pronunciado a altas temperaturas.



Gráfica cortesía de Du Pont.

Tensión y Compresión. -

Figura 1-2 es una curva de esfuerzo elongación para homopolímero acetal en compresión y tensión. La prueba fue llevada a cabo a 73° F. (23° C.) y a 0.2 pulg/min. (0.51 cm/min.) y 0.05 pulg/min. (0.13 cm/min.), en tensión y compresión respectivamente.

Esto indica que la fuerza en compresión es más grande que en tensión.

La anterior nos dice que las resinas acetálicas ofrecen solidez. Sus propiedades de resistencia se demuestran con claridad en los diagramas de fuerza alargamiento. El comportamiento de las piezas hechas de resina acetálica a medida que aumenta la temperatura es simi-

lar al de la mayoría de los materiales industriales. El alargamiento aumenta a medida que la fuerza disminuye.

El módulo de elasticidad en tensión y compresión y el módulo de flexión son los mismos para las deformaciones pequeñas.

#### Resiliencia. - (Rigidez y recuperación elástica)

La rigidez inherente de estas resinas las hacen materiales indóneos para su adopción, en aquellos casos en que se requiera una resistencia de carga sin deformación del material. La humedad apenas influye en su resistencia a la tracción (menos del 10%). Sus propiedades son buenas a temperaturas elevadas, inclusive a 120° C., que es superior a la temperatura de fusión de muchos otros termoplásticos.

Aún cuando estas resinas son rígidas, tienen una recuperación elástica muy buena cuando desaparece la carga. Bajo cargas pequeñas, la recuperación es completa; bajo cargas superiores, aún cuando sean menores a la fuerza necesaria para su rotura, ocurre alguna deformación permanente. Su propiedad de recuperación las hace muy adecuadas para usos que empleen uniones a presión, así como resortes.

#### Resistencia al impacto y a la fatiga. -

Su resistencia a la fatiga clasifica a las resinas acetálicas en lugar de privilegio entre los termoplásticos. Su capacidad en resistir

esfuerzos cíclicos es sobresaliente. La aplicación repetida de esfuerzos periódicos demuestra que pueden resistir casi indefinidamente una carga de 350 Kg/cm<sup>2</sup>. (Fig. de Fatiga). Esto las hace muy útiles en usos como son engranajes, muelles y otras piezas sujetas a sufrir presión y vibración.

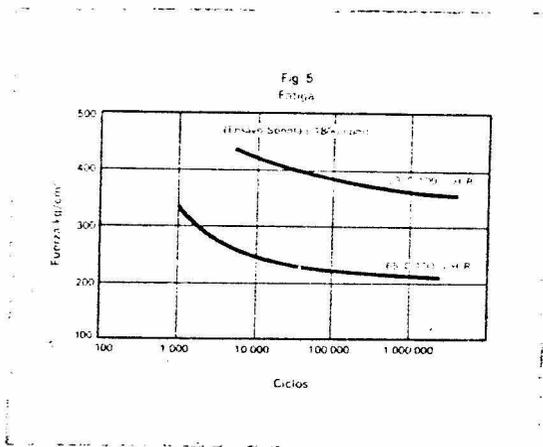


Figura de Fatiga

Gráfica cortesía de Du Pont.

Su resistencia a impactos individuales o repetidos también es sobresaliente. No retienen las marcas de impactos permanentemente. Su resistencia a choques varía de acuerdo a los diferentes tipos existentes según su peso molecular; a mayor peso molecular, mayor resistencia al impacto.

Estas resinas no dependen de plastificantes para obtener su resistencia, como ocurre con otros termoplásticos como el PVC; por consiguiente, no se resquebrajan a bajas temperaturas. Su resistencia al impacto a - 40° C. es inferior sólo un 20% de la que tienen a tempera-

tura ambiente.

PROPIEDADES DE FRICCIÓN. -

Las piezas moldeadas en resinas acetálicas ofrecen una superficie dura, brillante y lisa con un tacto grasiento. Su coeficiente de fricción sin lubricación es muy bajo comparado con el acero (0.1 - 0.3), con lubricación todavía es más bajo, como nos lo muestra la tabla a continuación:

COEFICIENTE DE FRICCIÓN DE RESINAS ACETÁ-  
LICAS SOBRE ACERO, METODO DEL PLANO IN-  
CLINADO

<u>CONDICIONES</u>	<u>COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO O DINÁMICO</u>
<u>Lubricación con aceite. -</u>	
Máximo	0.1
Mínimo	0.05
<u>Lubricación con Agua. -</u>	
Máximo	0.2
Mínimo	0.1
<u>Sin Lubricación. -</u>	
Máximo	0.3
Mínimo	0.1

Una propiedad un poco corriente es que sus coeficientes estático y dinámico frente al acero tienen el mismo valor virtualmente. Los coeficientes de fricción permanecen inalterables sobre un amplio margen de temperaturas, cargas y velocidades superficiales.

Con cargas y velocidades ligeras, la fricción de rozamiento sin lubricación entre 2 piezas de resina acetálica es muy baja. Sin embargo, aumentando las cargas y la velocidad, la fricción puede aumentar rápidamente hasta producir desgaste y chirrear audiblemente. Lubricando las superficies pueden evitarse estos problemas.

Cuando se requiere tener superficies de alta resistencia una contra otra en materiales plásticos, sin utilizar lubricación, se aconseja utilizar resinas de nylon y resinas acetálicas, pues su comportamiento es superior en este caso al acetal - acetal.

Con las nuevas resinas acetálicas cargadas con fluorocarbonos, el coeficiente de fricción se ha logrado bajar aún más (0.05 - 0.15 sin lubricar). Estas composiciones consisten en fibras orientadas de fluorocarbono (Teflon PTFE) dispersadas uniformemente en resina acetálica, han sido especialmente desarrolladas para aplicaciones donde la fricción de rozamiento es de importancia.

Además del coeficiente de fricción más bajo, los rodamientos y cojinetes hechos con este tipo de resinas demuestran la mayor resistencia al desgaste que se puede obtener entre los materiales termoplásticos.

#### RESISTENCIA A LA ABRASION. -

Debido a su dureza y excelentes propiedades de fricción, las resinas acetálicas tienen muy buena resistencia a la abrasión. Los

prototipos o ensayos de servicio simulado son los mejores sistemas para comprobar el comportamiento de un material para aplicaciones donde existe un problema de abrasión y resistencia al desgaste.

Las resinas acetálicas demuestran su resistencia a la abrasión sin lubricación y erosión en usos tales como: cojinetes y engranajes, bandas transportadoras, impulsores de bombas, cerraduras, etc.

En aquellos casos en que sea necesario utilizar acetales contra partes metálicas es necesario cuidar que la superficie metálica en contacto con la resina sea lo más pulida posible. Una superficie de 32 millonésimas de pulgada (RMS) parece ser la más satisfactoria.

COMPARACION DE PERDIDAS EN PESO DE DIVERSOS MATERIALES SOMETIDOS A DIFERENTES ENSAYOS DE ABRASION

<u>RESINA</u>	<u>TABER</u>	<u>APARATO A BOLAS</u>	<u>"WIRE DRAG"</u>	<u>SANDER</u>
Nylon	1	1	1	1
Acetal	2-5	4-6	5-6	3-4
Poliestireno	9-26	15-20	35	-
ABS	9	10-20	-	-
Acetato de Celulosa	9-10	-	-	-
Acetato Butirato de Celulosa	9-15	10-20	15	-
Acrílico	2-5	10-20	20	-
PVC	9-12	-	-	-
Melamina	-	15-20	-	-

<u>RESINA</u>	<u>TABER</u>	<u>APARATO A BOLAS</u>	<u>'WIRE DRAG'</u>	<u>SANDER</u>
Fenol Formol	4-12	-	-	-
Caucho Duro	-	10	-	4
Aluminio Colado	-	11	-	4-5
Acero Dulce	-	15-20	-	-

Los ensayos anteriores fueron realizados en las siguientes condiciones:

TABER. - Rueda de Carborundum CS-17 y carga de 1,000 Kg. Las probetas fueron acondicionadas a 23° C. y una H.R. de 50%.

APARATO A BOLAS. - Las probetas de 50 x 12.5 x 3 mm se hacen girar en un molino de bolas ABBE con 25 bolas borundum y 500 c.c. de agua.

'WIRE DRAG'. - Anillos continuos de un hilo fino y resistente (enrollado en espiral sobre una cuerda) frotando sobre la superficie de una probeta cilíndrica, manteniendo la cuerda a tensión tirante constante. La profundidad del desgaste se mide a los 30 minutos.

SANDER. - Tacos de zapatos de futbol que se aplican con fuerza constante contra una banda de piedra pómez en agua.

Cada valor es una pérdida de peso en el mismo tiempo y tomando la pérdida experimentada por el nylon (Zytel 101 de Du Pont) como base y cifra 1 - indica que el ensayo no se efectuó.

## PROPIEDADES ELECTRICAS. -

Las resinas acetálicas son excelentes dieléctricos. Su factor de disipación, así como su constante dieléctrica son francamente bajos en un amplio margen de frecuencias y temperaturas. El volumen de resistividad es alto y no cambia apreciablemente debido a la absorción de humedad. Como consecuencia, tienen buenas propiedades eléctricas bajo condiciones tales como humedad o baja inmersión completa en agua. Estas propiedades junto con las propiedades mecánicas excelentes que tienen los acetales los hacen idóneos para usos tales como blocks terminales para sistemas de telecomunicación donde se requiere solidez, resistencia a la abrasión, estabilidad dimensional y buen rendimiento a temperaturas relativamente altas.

### CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Temperatura de Ignición - (ASTM D 1929)

- a) Ignición Flash                    323° C.
- b) Autoignición                        376° C.

Flamabilidad - (ASTM D 635) 2.8 cm/min. cuando el fuego es iniciado con una flama.

Volumen de Resistividad - (ASTM D 257)

(Pruebas llevadas a cabo a 500 volts., 1 minuto de electrificación a 23° C).

Seco     $1 \times 10^{16}$  OHM - cm.

50% H.R.  $1 \times 10^{15}$  OHM - cm.

Polímero con 0.9% humedad (saturado)  $1 \times 10^{14}$  OHM - cm.

Superficie de Resistividad (ASTM D 257)

(mismas condiciones anteriores)

SECO  $1 \times 10^{15}$  OHM/cuadrado (Arriba del límite del instrumento).

50% H.R.  $1 \times 10^{15}$  OHM/cuadrado (Arriba del límite del instrumento).

Después de 24 horas sumergido  $1 \times 10^{13}$  OHM/cuadrado en agua.

Resistencia al Arco (ASTM D 495)

<u>Espécimen (mils.)</u>	<u>Grueso (mm)</u>	<u>Tiempo de Perforación (Seg.)</u>
10	0.254	125
20	0.508	140
30	0.763	190

RESISTENCIA QUIMICA .-

Tienen una resistencia excepcional a los disolventes orgánicos. De hecho a temperaturas inferiores a 70° C., ningún disolvente corriente las ataca. Esta propiedad junto con una absorción de humedad muy baja, les confiere una excelente resistencia a temperatura ambiente a los ataques que pudieran provocar diversas sustancias alimenticias (té, salsas de tomate, vinagre, margarina, jugo de limón, etc.), así como aceites industriales y tintas de cintas de máquinas de escribir. A temperaturas elevadas puede sufrir una ligera decoloración, por lo cual se aconseja hacer ensayos preliminares de trabajo.

En general se puede decir que su utilidad en presencia de ácidos y bases fuertes o agentes oxidantes es limitada. Para aplicaciones en

que se utilicen ácidos débiles, bases u otros líquidos dudosos, se debe ensayar de antemano el comportamiento de estas resinas ajustándose a especificaciones.

Ensayos durante años nos muestran que los acetales no pierden propiedades después de haber sido enterrados bajo tierra y tampoco son atacados por hongos, roedores, termitas u otros insectos.

Resistencia de las resinas acetálicas a las siguientes sustancias:

(Condiciones de ensayo: 9 meses a 60° C. salvo indicación contraria)

<u>CLASES</u>	<u>PRODUCTO UTILIZADO</u>
Hidrocarburos Alifáticos	Gasolina, keroseno.
Hidrocarburos aromáticos	Benceno Tolueno.
Alcoholes	Metanol, Etanol.
Eteres	Dioxano.
Esteres	Acetato de etilo alicilato de metilo.
Cetonas	Acetona
Aldehidos	Butiraldehido.
Hidrocarburos Halogenados	CCL <sub>4</sub> "FREON"
Terpenos cíclicos	Aguarrás.
Aceites grasos	Aceite de lino (12 meses 35° C.).
Bases orgánicas débiles	Piridina, Anilina.
Acidos grasos	Acido Oleico (12 meses 35° C.).

<u>CLASES</u>	<u>PRODUCTO UTILIZADO</u>
La mayoría de Sales Minerales	NACL al 10% NH <sub>4</sub> CL al 10%
Detergentes fuertes	IGEPAL al 50% (12 meses 23° C.) "Duponol" ME al 100%.
Oxidantes débiles	Permanganato de Potasio al 10%.
Acidos Orgánicos débiles	Acético y Cítrico al 5% (12 meses a 35° C.).
Agentes de Blanqueo diluidos	1 parte de clorox por 200 partes de solución lavaropa.  (2,500 - 5,000 lavadas a máquina).

SUBSTANCIAS QUE ATACAN\* A LAS RESINAS ACETALICAS

<u>CLASE</u>	<u>PRODUCTO</u>	<u>CONDICIONES DE ENSAYO</u>	
		<u>DURACION</u>	<u>TEMPERATURA</u>
Acidos Minerales fuertes	Nítrico 10%	9 meses	23° C.
	Clorhídrico 10%	3 meses	23° C.
	Fosfórico 10%	3 meses	60° C.
	Sulfúrico 1%	12 meses	35° C.
	Sulfúrico 30%	6 meses	23° C.
Acidos Orgánicos fuertes	Acético 20%	3 meses	60° C.
Bases Fuertes	NH <sub>4</sub> OH 10%	3 meses	23° C.
	Butilamina	3 meses	60° C.
Fenoles	Fenol	3 meses	60° C.
Detergentes fuertes	"IGEPAL" 50%	6 meses	70° C.
Agentes de Blanqueo	Hipoclorito de sodio al 5.25%.	48 horas	23° C.

\*Modificaciones importantes en lo que concierne a resistencia, rigidez, dimensiones, peso o aspecto.

### RESISTENCIA AL CALOR. -

Las resinas acetálicas han sido utilizadas durante años en una variedad de artículos, expuestos al aire o líquidos a temperaturas elevadas. Las pruebas de laboratorio sugieren limitar las temperaturas de servicio a 80° C. para usos continuos en aire durante 8,800 horas y a 65° C. para el mismo período de tiempo sumergidos en agua dulce.

Durante servicios intermitentes en aire (Ejem: Bajo el cofre de un auto) pueden resistir temperaturas hasta de 121° C. Incluso la temperatura de 150° C., la que pueden tolerar bajo períodos breves, sólo para los casos en que esto sea una posibilidad, pero no cuando ocurra regularmente (Ejem: en hornos de curado de pinturas). Similarmente pueden tolerar una exposición intermitente en agua caliente bajo temperaturas excediendo 65° C.

Por ejemplo, la Compañía Du Pont ha ensayado piezas de "Delrin" en autoclaves en 100 ciclos de 15 minutos de duración y vapor a 120° C. sin que se haya observado una disminución sensible en su resistencia y dureza.

En todas aquellas aplicaciones que requieran resistencia al calor, se aconseja como base ensayos previamente con la pieza en las condiciones en las que va a estar en servicio. De ser posible, la duración del ensayo deberá ser representativa de la utilización proyectada.

PERMEABILIDAD.-

La permeabilidad de los acetales es muy baja, especialmente por lo que respecta a los hidrocarburos aromáticos y halogenados, alcoholes y ésteres. La permeabilidad a moléculas polares como agua, alcohol metílico y acetona es relativamente alta. Sus características de permeabilidad (siguiente tabla) hacen de los acetales un material muy adecuado para la fabricación de envases y recipientes de líquidos (Ejem: tanques de gasolina).

FACTORES DE PERMEABILIDAD \*

Valores a 23° C. 50% H.R. **	38° C. de H.R. **	
Aceites (motor minerales)	0	0
Aguarrás	0.008	-
Percloroetileno	0.08	-
Disolventes de aceite y alquitrán	0.012	0.08
Nitrógeno (90 Psi) Kg/cm <sup>2</sup> .	0.02	-
"Freon" 12/114	0.08	0.17
Salicilato de Metilo	0.12	-
Tolueno	0.24	-
Alcohol Etilico/Agua (70% 30%)	0.60	3.1
Agua y productos acuosos	0.8 - 1.6	3.6
Tricloroetileno	10	22
Oxígeno $\frac{\text{cm}^3 \times \text{mm}}{\text{m}^2 \times 24 \text{ hr.} \times \text{atm}}$	5-7	-

Bióxido de Carbono  $\frac{\text{cm}^3 \times \text{mm}}{\text{m}^2 \times 24 \text{ hr} \times \text{atm}}$  15-20 -

\*  $\frac{\text{Gramos} \times \text{mm}}{\text{m}^2 \times 24 \text{ hrs.}}$

\*\* Valores interpolados entre 23° C.  
y 54° C. a 50% H. R.

### RESISTENCIA A LOS AGENTES ATMOSFERICOS. -

Al igual que la mayoría de los polímeros, los acetales son afectados por los rayos ultravioletas de la luz solar. Después de una prolongada exposición a ésta, su resistencia a la tracción y al impacto baja considerablemente. Una exposición menor severa da lugar a un blanqueamiento de la superficie y si acaso a una pequeña reducción de sus propiedades mecánicas. Existen composiciones mejoradas que contienen carbón o estabilizadores UV y han mejorado su resistencia a los agentes atmosféricos.

Basados en ensayos hechos en Florida, se puede decir que las resinas acetálicas sin estabilizadores UV todavía pueden rendir servicio después de 2 años de exposición a la intemperie y las resinas estabilizadas después de 7 años.

### TOXICIDAD. -

Se han realizado pruebas con ratas a las que se sometió a una dieta de 25% de acetal durante 3 meses, después de los cuales su análisis demostró que no hubo diferencia significativa entre estas ratas y otras que no sufrieron el tratamiento. La "Natural Sanitation Founda-

tion" de Estados Unidos ha aprobado el uso de los acetales en tuberías y conexiones para conducción de agua potable.

Sin embargo, debido a que son polímeros de formaldehído, no sería extraño que bajo condiciones especiales se pudieran extraer cantidades pequeñas del monómero. Se han probado en demasía en contacto continuo con la piel humana y el extenso uso de hebillas de sostenes y sujetadores de medias, así como cajas de relojes pulsera y otros artículos que suelen estar en contacto con la piel indican que estas resinas no ocasionan dermatitis.

#### RESISTENCIA A LA DEFORMACION. -

Generalmente, todos los materiales plásticos que se someten a una carga continua, sufren con el tiempo una deformación. Los acetales, sin embargo, tienen una resistencia extraordinaria si se les compara con otros materiales termoplásticos, especialmente a temperaturas de 65° C. o más. Podemos añadir que los cambios en su contenido de humedad, los lubricantes y disolventes, no afectan su resistencia a la deformación. Esto hace posible su uso en aplicaciones que requieran resistencia constante como tornillos de fijación autoroscantes o en montajes.

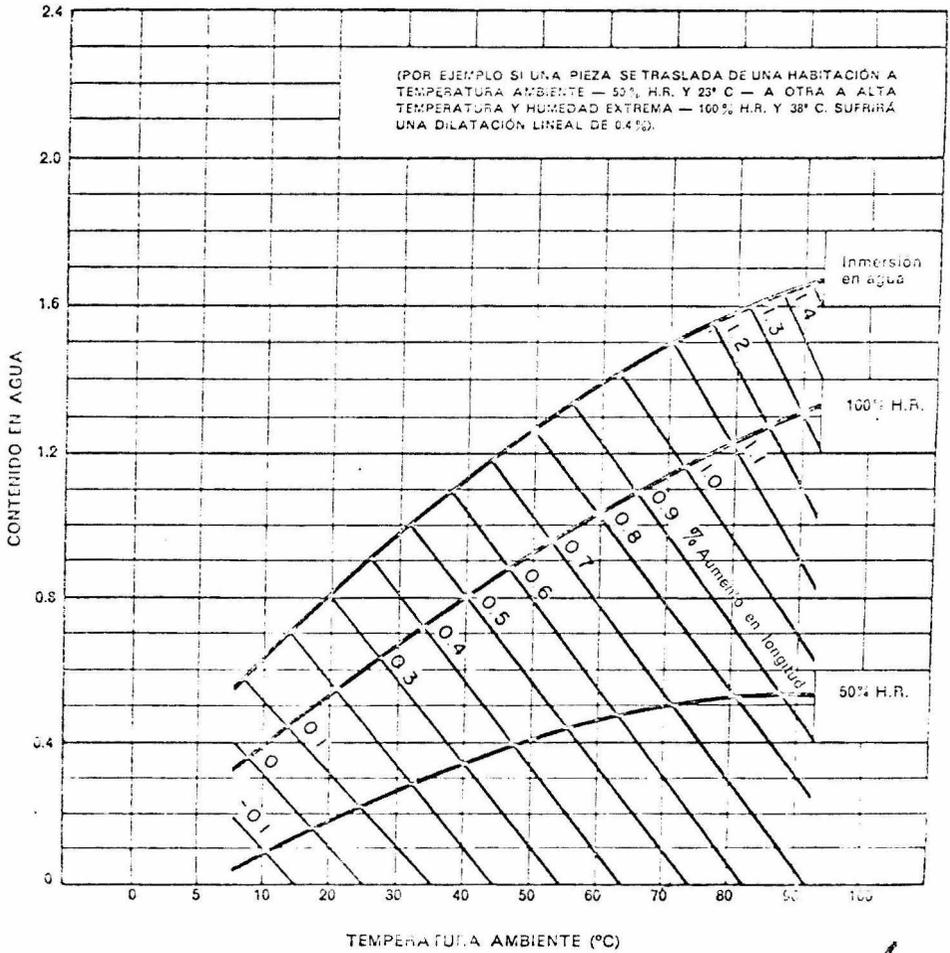
#### INFLUENCIA DEL CALOR Y LA HUMEDAD. -

Su coeficiente de dilatación térmica lineal es en el rango de 8.1 x 10.5 por ° C., valor aproximadamente igual al de otros materiales

termoplásticos y cerca de 6 veces superior al del acero.

Entre su estado seco a la salida del molde y su estado de equilibrio en agua (es decir, 0.22% de agua a 23° C. y 50% de H.R.), las dimensiones lineales de una pieza de acetal aumentan solamente en un 0.1%.

En estado saturado de agua a 23° C. (absorción de 0.9%), una pieza de resinas acetálicas aumenta en sus dimensiones sin exceder un 0.4%. El coeficiente de absorción no depende solamente de la temperatura y humedad ambiente, sino también del espesor de las paredes de la pieza.



### MAQUINADO.-

El maquinado de los acetales es fácil y comparable, o mejor que el latón con el utillaje normal de un taller mecánico. Las operaciones posibles son: serrar, perforar, limar, torneear, fresar, formar, canalizar, roscar, pulimentos, etc. No suelen necesitar el empleo de aceites o agentes deslizantes para trabajarlo, excepto en lijados por cinta mojada donde el agua se utiliza normalmente.

Nota.- En el capítulo de consideraciones de diseño, trataremos las operaciones mecánicas con más detalle.

### EXPOSICION DE LAS RESINAS ACETALICAS AL ESPACIO Y RADIACION.-

El espacio es un ambiente hostil, no solamente para los seres humanos, sino también para la mayoría de los materiales plásticos. En el espacio los materiales están sujetos a efectos tales como: vacío, temperatura, partículas de radiación (iones, protones, electrones) y radiación electromagnética (luz ultravioleta, rayos X, rayos gama).

Las resinas acetalicas son estables en el vacío del espacio bajo las condiciones y el mismo tiempo que son estables en aire. El vacío por sí solo, no causa ninguna pérdida en las propiedades de estas resinas. En el vacío como en el aire, prolongada exposición a altas temperaturas, podría resultar en la liberación de formaldehído debido a degradación térmica.

Partículas de radiación como protones y electrones del cinturón de Van Allen dañan estas resinas y el resultado es pérdida de propiedades.

En el espacio los daños causados por luz ultravioleta son de primera consideración, debido a la ausencia de atmósfera que protege y filtra este tipo de radiaciones. En el espacio, la cantidad de luz UV es de 10 a 100 veces mayor que en la tierra.

La exposición a radiaciones gama disminuye la fuerza de tensión y la dureza también disminuye, ya que sucede una despolimerización.

#### TRANSMISION DE LUZ. -

Medida por la "General Electric" por medio de un espectrofotómetro, transmisión de luz de las resinas acetálicas es como sigue:

<u>Grueso mm</u>	<u>% Transmisión</u>
3.18	2.5
2.29	7.4
1.52	17.5
0.76	42.0

#### PROPIEDADES TIPICAS COMPARATIVAS DE RESINAS ACETALICAS. - \*

<u>PROPIEDAD</u>	<u>ASTM</u>	<u>HOMOPOLIMERO (Delrin**)</u>	<u>COPOLIMERO Celcon ***)</u>
Fuerza de tensión (yield) 73° F. Psi	D 638	10,000	8,800

<u>PROPIEDAD</u>	<u>ASTM</u>	<u>HOMOPOLIMERO</u> <u>(Delrin**)</u>	<u>COPOLIMERO</u> <u>(Celcon***)</u>
Fuerza de tensión (rompimiento 73° F. Psi	D 638	10,000	8,000
Elongación (yield) 73° F %	D 638	15	12
Elongación (rompimiento) 73° F. %	D 638	15	60
Fuerza de impacto 73° F. Ft. Lb. por pulgada	D 256	1.4	1.1
Fuerza de Flexión (yield) 73° F. Psi	D 790	14,100	13,000
Fuerza de Desgarre 73° F Psi	D 732	9,510	7,700
Módulo de Flexión 73° F Psi	D 790	410,000	375,000
Límite de duración a la fatiga 73° F. Psi		5,000	4,400
Deformación bajo peso 2,000 Psi 122° F. (%)	D 621	0.5	1.0
Temperatura de distorsión 64 Psi (° F)	D 648	255	230
Temperatura de distorsión 66 Psi (° F)	D 648	338	316
Punta de Fusión cristalino °F		347	320
Coefficiente de Expansión térmica lineal (por ° F)	D 696	$4.5 \times 10^{-5}$	$4.5 \times 10^{-5}$
Absorción de agua 24 horas inmersión %	D 570	0.25	0.25
Dureza Rockwell	D 785	M94	M76
Peso Específico	D 792	1.425	1.41
Abrasión (Taber) 1,000 gr. peso rueda CS - 17 (Mg por mil ciclos	D1044	20	14

<u>PROPIEDAD</u>	<u>ASTM</u>	<u>HOMOPOLIMERO</u> <u>(Delrin**)</u>	<u>COPOLIMERO</u> <u>(Celcon***)</u>
Constante dieléctrica 50% HR. 73° F. 10 <sup>2</sup> a 10 <sup>6</sup> CPS	D 150	3.7	3.7 - 3.8
Factor de disipación 50% HR. 73° F. 10 <sup>6</sup> CPS	D 150	0.0048	0.004
Fuerza dieléctrica corto tiempo	D 149	1,900	1,200
Volumen de resistividad (ohm por cm.)	D 257	6 x 10 <sup>14</sup>	1 x 10 <sup>13</sup>

\* Valores promedio que no deberán ser usados como mínimos para especificaciones de material.

\*\* Marca Registrada de E. I. du Pont de Nemours.

\*\*\* Marca Registrada de Celanese Corporation of America.

'CAPITULO II'

## "CONSIDERACIONES DE DISEÑO"

### GUIA PARA UNA BUENA APLICACION DE LAS RESINAS ACETALICAS. -

Es de buen sentido usar Resinas Acetálicas en cualquier parte donde ofrezcan mejores perspectivas que otros materiales, ya que con esto se establece que son buenas candidatas para su aplicación. El diseño deberá ser ampliamente estudiado para poder tomar ventaja de las muchas propiedades de estas resinas. Este estudio nos dirá rápidamente donde sí y donde no pueden ser usadas con justificaciones tales como, ahorros en costos, aumentar la duración, reducir rechazos y costos de inspección, mejor apariencia, ahorros en precio, etc.

Un procedimiento general para el desarrollo con éxito de una pieza podría ser el siguiente:

#### 1. Definir los requerimientos en el uso final. -

Como una etapa inicial, el diseñador deberá enlistar las condiciones en el uso y el rendimiento esperado, en el artículo que va a ser diseñado. Se pueden determinar las limitaciones de una pieza por sus factores de diseño haciéndolo realístico y evitando fallas que pueden redundar en gastos de tiempo y dinero en etapas más avanzadas del desarrollo. (Un poco más adelante veremos una lista de verificación de diseño que puede ser útil en estos casos).

## 2. Diseño preliminar. -

Con las necesidades que tenemos que llevar claramente definidas, el diseñador puede empezar a desarrollar un diseño usando las propiedades de las resinas acetálicas, vistas en el capítulo anterior. Las ecuaciones de ingeniería clásicas usadas para el diseño con metales, pueden ser usadas para diseñar en piezas en resinas acetálicas.

## 3. Hacer un prototipo del diseño. -

Esto nos da la oportunidad de ver el producto en tres dimensiones y la primera prueba de la ingeniería del diseño. La técnica más usada para fabricar prototipo es la de maquinarlos a partir de barra o placa hechas en el mismo tipo de resina. En otros casos más críticos se puede hacer un molde simple de una cavidad, lo cual no solo nos sirve para darnos una economía en una pequeña partida de prueba, sino también nos servirá para tomar datos que se utilizarán en la fabricación del molde definitivo. Otro método de fabricación de prototipos es el de obtener piezas moldeadas por inyección en moldes de inyección de metales, compresión o transferencia en el caso de que existan, tomando en cuenta que las contracciones tendrán una variación, lo cual hará que a menudo este prototipo tenga que ser modificado por medio del maquinado.

## 4. Prueba del diseño. -

Cualquier diseño tendrá que ser probado por alguna forma de pruebas cuando esté en su etapa de prototipos para verificar la exactitud de los cálculos y consideraciones básicas.

- a) Probar el prototipo a las condiciones a las que va a dar servicio la pieza; es la más adecuada prueba, ya que todos los requerimientos para el rendimiento de la pieza son vistos fácilmente, viéndose rápidamente cómo trabajará esa pieza.
- b) Pruebas de servicio simuladas son hechas a menudo con prototipos. El valor de este tipo de pruebas depende de qué tan exactamente las condiciones de servicio son duplicadas. Por ejemplo, una pieza de motor de automóvil deberá ser probada a la temperatura, vibración y resistencia a hidrocarburos. Una pieza de equipaje se deberá probar principalmente al impacto y abrasión, y un componente para radio o televisión tendrá pruebas eléctricas y de aislamiento térmico.
- c) Pruebas aceleradas de naturaleza mecánica o química son también usadas como base para evaluación de prototipos. Cuando estas pruebas son útiles es cuando han sido hechas con personas y equipo calificados, tales como procedimientos ASTM.

Este tipo de pruebas no nos darán un resultado exacto, pero sí nos darán una idea de cómo la pieza se comportará. Insistimos en que las pruebas representativas en el campo pueden ser indispensables.

- d) Tomar una segunda vista. - Una segunda vista del diseño ayuda a contestar la pregunta básica: ¿Dará la pieza el servicio correcto al precio correcto? En este punto muchos diseños pueden rediseñarse para mejorar la pieza, ya sea para producción

más económica o para cambios estéticos o funcionales importantes: Cambios substanciales o vitales en el diseño pueden necesitar una evaluación completa del nuevo diseño.

- e) Especificaciones.- El propósito de una especificación es el de eliminar cualquier variación en el producto que no satisfaga sus requerimientos estéticos, funcionales o económicos. Una especificación es una lista de requerimientos escritos que una pieza deberá llenar. Deberá incluir datos como: nombre genérico, marca y grado, método de fabricación, dimensiones, tolerancias, terminado en la superficie, localización de las líneas de unión, flash, punto de inyección, alabeo, color, decorado, y especificaciones de rendimiento.
- f) Producción.- Una vez que las especificaciones han sido cuidadosamente escritas (podemos decir que realísticamente, también) los moldes son diseñados y construídos: la manufactura de los moldes para inyección deberá darse a un especialista capaz en este campo porque, ineficiente o innecesariamente cara producción puede resultar en inadecuado diseño de moldes o selección de equipo de fabricación inadecuada.
- g) Control de calidad.- Resulta una buena práctica checar piezas mediante una programación de tiempo y compararlas con el "standard". El usuario final y el moldeador, juntos deberán establecer los procedimientos de control de calidad que facilitarían la producción de piezas hechas con resinas acetálicas dentro de especificaciones.

## LISTA DE VERIFICACION DE DISEÑO PARA UNA PIEZA DE RESINA ACETALICA. -

Cuando pensamos en la posibilidad o queremos cambiar una pieza de metal o de algún otro material a acetal tendremos forzosamente que obtener ventajas para que este cambio pueda ser factible; tendremos también que contestar muchas preguntas antes de que este cambio suceda.

A continuación se explica una lista de verificación de diseño en donde se consideran y explican los puntos a considerar.

### A. Información General. -

1. ¿Qué es lo que la pieza hace? Esto es necesario analizarlo, pues tendremos que saber como **rendirá la resina bajo diferentes condiciones de humedad, temperatura, diferentes ambientes, cargas, etc.**
2. ¿Es el análisis restringido a una pieza o pueden varias partes juntas ser rediseñadas?

Entre las grandes ventajas de las resinas acetálicas se cuenta la de poder substituir varias partes metálicas o de otro material por una sola pieza. Ahorrando gastos de ensamblado, reduciendo el número de piezas y su costo, aumentando atractivos de ventas y adicionando nuevas ideas. En la misma forma cuando el análisis está restringido a una sola pieza, adivinando las ventajas que estas resinas ofrecen.

B. Medio Ambiente. - Duración. - Cargas. -

1. ¿Cuál es la duración para bases de diseño? es decir, ¿cuánto queremos que esta pieza trabaje?
2. ¿Cuál es el medio ambiente? Aire, agua fría, agua caliente, agentes químicos.
3. ¿Cuál es el rango de temperatura? A la que una pieza deberá operar y sus posibilidades de ser llenadas con resinas acéticas.
4. ¿Cuál es el tiempo de exposición a máxima temperatura? Tal vez sea una pieza que trabaje continuamente a temperaturas altas, o quizá trabajará intermitentemente; si es así, ¿qué tiempo y qué temperatura?
5. Cargas. - Localización, dirección, magnitud y frecuencia de las mismas. Con el fin de aprovechar todos los puntos de diseño y fabricar una pieza que aumente nuestro rendimiento.
6. Requerimientos Eléctricos.
7. Desviación Admisible.
8. Tolerancias Dimensionales. ¿Qué tipo de especificaciones tenemos para una pieza dada y qué grado de precisión en el moldeo y en la fabricación del molde tendrá que ser usado?
9. Fricción - Abrasión. ¿Estará la pieza sujeta a fricción y/o abrasión? ¿Qué tanto? ¿Cuál será la composición de acetal más adecuada para la función de esa pieza?

C. Apariencia. -

Color - Brillo - Defectos de Superficie. - Para el caso en que necesitemos piezas en color, si queremos que nuestra pieza tenga una superficie con brillo porque va a ser usada en exteriores, o será una pieza interna en la cual no nos importan algunos pequeños defectos en su superficie.

D. Ensamblado. -

¿Cómo vamos a ensamblar esa pieza a las demás? ¿Podremos usar alguno de los métodos que se mencionan a continuación?

1. Uniones a presión.
2. Uniones elásticas tipo broche.
3. Tornillos autorroscantes.
4. Insertos roscados.
5. Cuerdas premoldeadas.
6. Remachado en frío o en caliente.
7. Soldadura por fricción (partes circulares).
8. Adhesivos.

E. Conceptos Económicos. -

1. Material Actual - Costo. - ¿Qué material se usa actualmente? El campo de las resinas acetálicas está en donde actualmente se usan metales.
2. Volumen Actual. - ¿Cuántas piezas se necesitarán? Esto es con el objeto de conocer la calidad y número de cavidades del

molde, conocer el costo del molde, qué maquina se necesitaría, etc.

### GEOMETRIA DE LA PIEZA Y GRUESO DE PARED. -

Muchos libros de diseño mencionan que se debe usar una pared uniforme, pero rara vez dicen por qué; algunas razones serán: costo, dimensiones, fuerzas.

Costo. - Al usar una pared uniforme se ahorra resina.

Dimensiones. - Tenemos encogimientos parejos en toda la pieza, evitando rechupes, alabeos, etc.

Fuerza. - Con una pared uniforme nuestra distribución de fuerzas lo es también.

Las piezas deberán ser diseñadas con la mínima pared para llenar los requerimientos del usuario final y llenado del molde. Paredes delgadas solidifican rápidamente en el molde y se usa menos material.

Al diseñar con pared uniforme evitamos posibles introducciones de esfuerzos en la pieza moldeada. Estos pueden venir de alabeos resultantes de diferencias en el encogimiento de las paredes de la pieza.

Cuando diferentes espesores de pared en una pieza son inevitables, el cambio deberá ser gradual.

Costillas. -

Las costillas en la pieza moldeada a menudo aumentan la rigidez

de piezas simples. A menudo secciones gruesas pueden ser reemplazadas de más pequeño costo con ahorros significantes en costo de material. Las costillas deberán ser  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{1}{3}$  del grueso de la pared que van a reforzar. Costillas no soportadas deberán no ser más grandes que tres veces el grueso de la pared que refuerzan y deberán ser perpendiculares a la línea de unión para facilitar la eyección de la pieza.

#### Línea de Unión. -

Son formadas en la unión de las dos caras del molde. En moldes normales las líneas de unión aparecen en la superficie de las piezas moldeadas. Estas marcas en la superficie deberán tomarse en cuenta durante la fabricación del molde para que no resulten en lugares críticos de la pieza moldeada.

Para fácil eyección de la pieza moldeada partes más grandes de una pulgada requieren de  $\frac{1}{2}^{\circ}$ ; más pequeñas requerirán de  $0 - \frac{1}{4}^{\circ}$ .

#### Esquinas Pronunciadas. -

Esquinas pronunciadas deberán ser evitadas y substituidas por curvas que deberán estar localizadas en el interior o exterior de las esquinas pronunciadas. El radio a usar se puede obtener de la siguiente manera:

R - radio

T - grueso de pared

El radio mínimo sugerido es 0.5 mm. que normalmente puede

ser usado donde haya una esquina pronunciada. Esquinas más curvadas conducen a una vida más larga de la pieza, puesto que reducen la fatiga en ese punto de la pieza.

### Cuerdas. -

Cuerdas externas e internas pueden ser producidas económicamente por medio de moldeo por inyección con resinas acetálicas, eliminando con esto operaciones mecánicas de post terminado; deberá tenerse cuidado en el diseño del molde con el objeto de evitar piezas imposibles de desmoldear.

Para cuerdas externas no hay mayor problema y pueden ser sacadas del molde rápidamente con aparatos destornilladores. Cuerdas internas tienen mayor problema y por lo tanto los moldes deberán estar equipados con mecanismos especiales, tales como cavidades giratorias con objeto de poder desmoldearlas o con insertos que son sacados junto con la pieza y separándolas después.

La cuerda standard normalmente es la más adecuada para piezas moldeadas, y se divide en las siguientes clases:

1 A, 1 B, 2 A, 2 B, 3 A, 3 B.

La letra "A" es usada para cuerdas externas y la "B" para las internas. Cuerdas del tipo 1 y 2 son adecuadas para la mayoría de las aplicaciones. La clase 3 se recomienda para trabajo de precisión, siempre y cuando un gran cuidado se tenga durante la operación de moldeo.

**La cuerda en una pieza de resina acetálica deberá terminar**

cuando menos 0.8 mm. antes del extremo de la pieza.

### Insertos. -

Insertos metálicos comúnmente son asociados con componentes moldeados en muchos otros plásticos. Con las resinas acetálicas a menudo estos insertos son eliminados moldeando la pieza enteramente en resina acetálica, principalmente debido a que la fuerza mecánica de los acetales bajo cargas estáticas o cíclicas inclusive en presencia de humedad y solventes permiten que componentes de acetal puedan ser rápidamente ensamblados por otro tipo de uniones que veremos más adelante de este trabajo, tales como tornillos, autorroscantes, uniones elásticas, uniones a presión, etc.

Insertos metálicos pueden necesitarse por otras razones como son:

- a) Ensamblado y desensamblado repetido.
- b) Para impartir más rigidez a un componente de plástico.
- c) Para mayor fuerza de la que nos dé un tornillo autorroscante cuando una fuerza tira de él.

### Moldeo con Insertos. -

Se ha observado que cuando se moldea con insertos metálicos pueden ocurrir resquebrajamientos de la pieza. La experiencia indica que las siguientes sugerencias pueden ser de ayuda en el caso que las pruebas anteriores nos revelen la existencia de problemas de este tipo.

- a) Usar el acetal de mayor peso molecular.
- b) Los insertos deberán estar limpios.
- c) Los insertos deberán estar libres de esquinas pronunciadas y tener un perfil redondeado.
- d) Insertos calientes (100° C.) deberán ser usados.

En el caso de resultados negativos, con las sugerencias anteriores, se deberá considerar el uso de insertos a presión o insertos roscados puestos después de moldeada la pieza. Estos insertos son comúnmente hechos de bronce, aluminio o acero que contienen cuerdas interiores. La superficie cilíndrica externa es a menudo estriada o roscada. Para dar una idea de la resistencia de estos insertos diremos que se necesita un torque de 25.3 - 40.3 Kg/cm para causar rotación del inserto, inclusive un año después de haber sido instalados los insertos.

### TERMINOLOGIA DE LOS MOLDES. -

#### Tipos de Moldes. -

Moldes de dos platos:

- a) Son usados cuando no se requiere un número muy grande de piezas y el rebabeo no es muy caro.
- b) Se usan para partes de paredes delgadas o gruesas.
- c) La colada con sus corredores se produce en cada inyección, por lo cual para aprovecharlas deberán ser molidas y mezcladas con material virgen.

d) El rebabeo deberá hacerse después del moldeo con excepción de aquellas piezas donde se usen puntos de inyección del tipo de submarino.

Moldes de tres platos:

a) Usados cuando las consideraciones de localización del punto de inyección y el número de piezas requeridas justifican un costo mayor para el molde.

b) Se usan generalmente en piezas de paredes delgadas.

c) Como en el caso de los moldes de dos platos, también se producen colados y corredores con cada inyectado que deberán ser molidos y mezclados con material virgen.

d) El reparado de la pieza de la colada usualmente es automático.

Algunos moldes se encuentran equipados con aditamentos especiales tales como, mecanismos con acción de leva, botadores neumáticos o hidráulicos y engranajes para el desenroscado de piezas rosca-  
cadas. Estos aditamentos lógicamente aumentan el costo de los moldes considerablemente y deberán ser usados sólo en caso necesario.

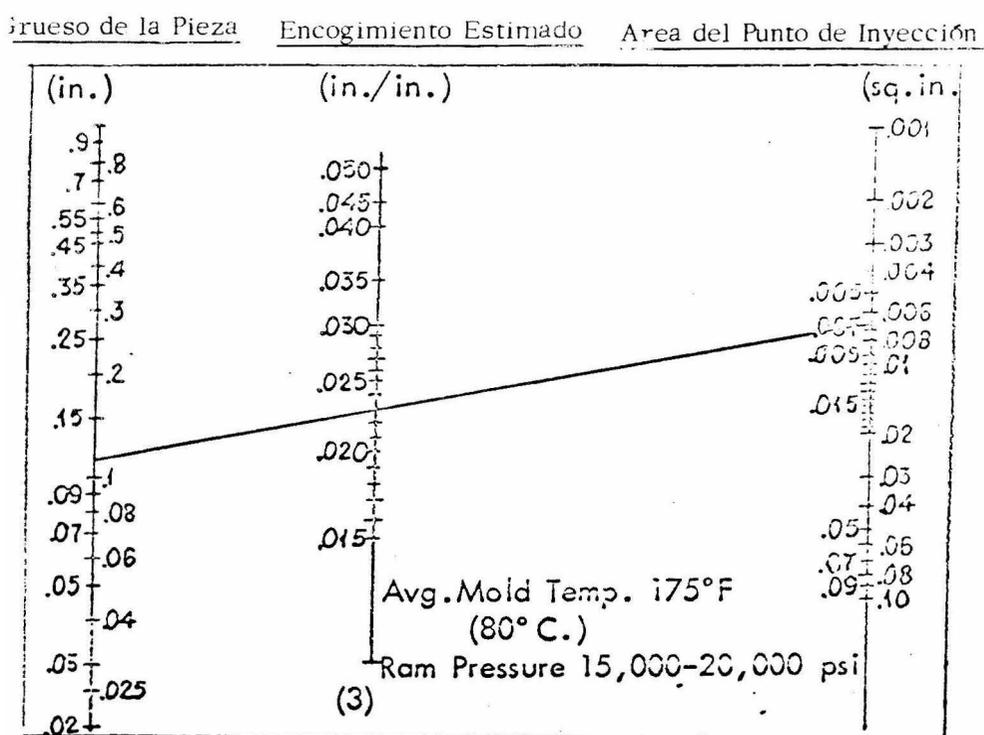
#### DISEÑO DIMENSIONAL DE CAVIDADES EN MOLDES DE INYECCION.-

Las resinas acetálicas son altamente cristalinas y el cambio de volumen que se obtiene al pasar de material fundido a sólido cristalino es mayor que para la mayoría de los plásticos convencionales. El resultado neto es que estas resinas tienen una de las contracciones más gran-

des en la industria. Su alta cristalinidad es un factor que requiere un gran cuidado en el diseño dimensional de cavidades. Esto no es exclusivo de los acetales ya que los valores de contracción de otros materiales aunque menores, requieren el mismo cuidado.

El método que aquí trataremos para el diseño dimensional de cavidades consta de cuatro partes:

1. Establecer las tolerancias requeridas para la pieza.
2. Establecer las dimensiones de la cavidad de prueba.
  - a) Con el área del punto de inyección y el espesor de pared se puede estimar el encogimiento por medio de un nomograma desarrollado por Du Pont, el cual vemos a continuación:



- b) Estimar el encogimiento si la pieza va a ser curada.
  - c) Tomar en cuenta factores del medio ambiente.
  - d) Calcular las dimensiones para la cavidad de prueba.
3. Maquinar la cavidad, moldear las piezas y verificar sus dimensiones, después de cualquier operación de postmoldeo que haya sido necesaria.
  4. Basados en los resultados obtenidos en la etapa anterior, modificar la cavidad de prueba, el punto de inyección o las condiciones de moldeo para dar a la pieza las dimensiones deseadas.

El diseño dimensional de una cavidad puede ser una tarea tediosa, dependiendo de la complejidad de la pieza y de las tolerancias requeridas para la pieza moldeada. Cada trabajo deberá considerarse como un caso especial.

Hablando en general la pieza para la cual el molde va a ser construido, caerá dentro de una de las dos siguientes categorías:

1. El tamaño y forma son importantes, pero no son críticos para el adecuado funcionamiento de la pieza, ejemplo peines, juguetes, etc.
2. El tamaño y la forma son críticos para el adecuado funcionamiento de la pieza, ejemplo engranes, bujes, levas, etc.

Estas categorías generales no son consideradas separadas ni distintas, pero sí como extremos entre los cuales hay una escala continua.

### PASOS EN EL DISEÑO DIMENSIONAL DE UNA CAVIDAD.-

Mientras cada diseñador de molde puede tener su propio camino de llegar a las dimensiones adecuadas para una cavidad, la mayor parte de los sistemas pueden ser resueltos por los cuatro pasos que mencionamos anteriormente, y que más explicados se leen a continuación:

1. El primer paso es el de establecer qué dimensiones son críticas, y qué tan críticas; no es poco frecuente que los usuarios finales especifiquen tolerancias más estrictas que las necesarias para el rendimiento satisfactorio de una pieza. Muchas veces el problema se debe a que los usuarios finales están acostumbrados a tolerancias para piezas de metal. Más holgura en las tolerancias puede ser satisfactoria cuando se usan plásticos, debido a su resiliencia natural. Un ahorro substancial en el costo, tanto del diseño dimensional de las cavidades como en la producción de las piezas, se tendrá si tolerancias más estrictas que las realmente necesarias no son especificadas.

2. El segundo paso es calcular las dimensiones de la nueva cavidad tomando en cuenta todos los factores para la mejor estimación de la contracción. Otras consideraciones como son operaciones

después del moldeo tales como curado, humedad y medio ambiente, deberán ser tomadas en cuenta para las dimensiones de la cavidad.

3. El tercer paso incluye el producir una cavidad de prueba y moldear piezas en las condiciones óptimas de moldeo.

4. Modificar las dimensiones de la cavidad de curado con las diferencias entre las dimensiones obtenidas y las deseadas. Frecuentemente es adecuado ajustar las dimensiones de la cavidad por esta diferencia. Esto es cierto, sin embargo sólo cuando las diferencias son pequeñas, de lo contrario es preferible establecer el encogimiento exactamente y usar este factor para calcular las dimensiones de la nueva cavidad.

A menudo en un trabajo del tipo de la categoría 1, no se requiere ningún ajuste en las dimensiones de la cavidad.

#### MAQUINADO DE LAS RESINAS ACETÁLICAS. -

Estas resinas ofrecen excelentes características para ser maquinadas, similares en muchos casos al latón. Esto tiene la ventaja tanto de facilidad de obtener prototipos o de la obtención de las piezas cuando su número y tamaño haga incosteable la fabricación de un molde.

Las resinas acetálicas se pueden trabajar con el equipo normal y pueden ser serradas, torneadas, fresadas, pulidas, limadas, etc. Es fácil realizar estas operaciones con las mismas herramientas que

se utilizan para el latón o aluminio. Rara vez es necesario utilizar aceites, agua u otros líquidos para ayudar a estas operaciones. El maquinado se hará fácilmente a velocidades lentas o rápidas.

Se recomienda que en todas las operaciones de maquinado se procure limpiar de virutas y polvo las máquinas, pues lo mismo que en el caso de la madera, la acumulación de polvo y virutas puede dar lugar a un fuego.

#### Serrado. -

Todas las máquinas de serrar normales de mesa, de cinta, manuales, se pueden utilizar con las resinas acetálicas. La velocidad de la cinta de la sierra no es problema, pero es indispensable que los dientes tengan un mínimo de profundidad, ya que siendo estas resinas del tipo termoplástico, el frotamiento podría fundirlas.

#### Perforado. -

Las taladradoras normales se pueden usar sin problemas; no se recomiendan las llamadas "perforadoras de plástico" ni las utilizadas para latón pues causan demasiado calentamiento del material. Cuando el perforado se haga a mucha velocidad, se recomienda utilizar un líquido refrigerante para evitar excesivo calor de fricción.

#### Torneado. -

Como en los metales y otros plásticos, se obtienen los mejores resultados utilizando velocidades altas y avances pequeños.

### Fresado. -

Se pueden utilizar las fresadoras normales. Las fresas cilíndricas sí tienen cucharas de estría individual al dar virutas mayores, producen menos calor en el material.

### Troquelado. -

Aquellas piezas planas de espesor pequeño (1.5 mm. o menos) tales como arandelas, platillos, etc., que no necesitan exactitud, se pueden obtener a partir de láminas de acetal por medio de troquelado. No es necesario calentar la lámina y sólo se hará en aquellos casos en que se crea existe peligro de ruptura.

### Limado y Pulido. -

Las limas profundas, redondas o de dientes curvos son adecuadas. Este tipo de limas que tienen dientes profundos producen una acción abrasiva, pero al mismo tiempo producen una superficie suave y limpia.

Se pueden pulir con disco o cinta. Después del pulido se puede sacar brillo con cualquier medio ordinario. Los discos de tipo abrasivo montados sobre un eje flexible al girar a mucha velocidad pueden separar eficazmente todo excedente de material sobre las piezas. La velocidad de la rueda suele ser en el orden de 1000 - 4000 rpm.

### UNIONES. -

Soldadura por Calor. - Las dos superficies a soldar se man-

tienen contra una superficie metálica caliente a fin de provocar la fusión del polímero en ambas superficies. Entonces se unen ambas partes una contra la otra.

La temperatura del metal estará entre 230 y 260° C. Con esta técnica se puede obtener una resistencia a la tracción de las piezas soldadas de 560 kg/cm<sup>2</sup>., lo que supone un 80% de la resistencia inicial de la resina. En soldadura por calor generalmente se necesita pulir la zona de unión.

#### Soldadura por Aire Caliente. -

Las desventajas de este método son el tiempo necesario y la pericia del soldador. Su ventaja es en piezas grandes donde es más fácil mover el dispositivo de aire caliente que la pieza.

Los mejores resultados se obtienen con una varilla de la misma resina de 1 mm. de diámetro y utilizando nitrógeno calentado a 320° C. (Se puede utilizar también aire, pero el nitrógeno da mejores resultados).

Si se utiliza aire, la temperatura recomendada es de 300° C. a una distancia de 6 mm. desde la boquilla de la pistola.

#### Soldadura por Alambre Caliente. -

Este método consiste en poner un alambre entre las dos superficies a soldar y aplicar una corriente eléctrica. El alambre produce

el calor necesario para fundir las dos caras y aplicando presión se unen ambas superficies. Este método es simple y rápido y se puede aplicar a soldaduras complejas sin producir rebabas.

Si se aumenta el ancho y el número de alambres, se puede obtener una soldadura más fuerte.

En muchos casos sería aconsejable al hacer el molde, colocar una ranura con objeto de facilitar la colocación del alambre.

#### Soldadura Ultrasónica. -

Puede llevarse a cabo en resinas acetálicas con equipo convencional de soldadura ultrasónica. En este tipo de soldadura, vibraciones con una frecuencia de 20000 ciclos por segundo producidas por un generador ultrasónico son transmitidas a las superficies que se van a unir por medio de una herramienta especial que se denomina corneta.

Las vibraciones causan una película de material fundido que une las superficies de las piezas que se van a unir.

La solidificación de esta película bajo presión después que las vibraciones han cesado, produce una soldadura muy eficaz.

Un diseño adecuado de la pieza y el uso de cornetas especialmente hechas para cada aplicación son esenciales en soldadura ultrasónica.

#### Soldadura por fricción. -

Este método utiliza para soldar el calor desarrollado por fric-

ción. Convierte en la rotación de una pieza circular sobre otra hasta que ocurre una fusión en las dos superficies. Se suspende la rotación y el material fundido solidifica. La presión se debe mantener durante la rotación; la rotación en sí dura menos de un segundo, producciones de 500 a 600 soldaduras por hora son comunes en soldadura por fricción. Esta técnica es muy recomendable para aquellas piezas con superficies circulares que necesitan una unión fuerte, permanente y sin poros.

Los elementos básicos para este equipo son:

- a) Un motor eléctrico con freno (el freno si se desea).
- b) Control de velocidad (si se desea) poleas y cintas.
- c) Cilindro de aire y solenoide electromagnética para el avance.
- d) Contador de tiempo y control de freno.
- e) Portaherramientas.
- f) Pieza de fijación.

La unidad básica es el cilindro de aire montado verticalmente conteniendo el árbol de rotación. Si se tiene una taladradora automática adaptando un cilindro neumático, un solenoide y un cortador de tiempo se puede obtener el equipo adecuado.

Esta técnica se basa en tres variables: velocidad, presión y ciclo.

1. Velocidad - 6 m/seg. velocidad lineal; no más de 5000 rpm.

2. Presión - 20 kg/cm<sup>2</sup>.

3. El control del ciclo es similar al de una operación de perforado, el avance y retroceso del motor constituye un ciclo completo.

La rapidez depende de la pericia del operador al poner y quitar las piezas. También se recomienda un sistema de expulsión de la pieza soldada bien mecánica o neumática.

#### UNIONES MECANICAS. -

Unión Elástica. - Por medio de uniones elásticas tipo broche, se pueden montar dos piezas de resina acetálica y quedar sólidamente unidas.

En general, las piezas así montadas, llevan surcos o hendiduras en una parte, mientras que en la otra llevan salientes o pestañas que facilitan el montaje. Debido a que las resinas acetálicas son muy duras, se pueden lograr uniones muy resistentes. Las dificultades principales estriban en gran parte de la geometría de la pieza así como del espesor de la misma y de la temperatura ambiente y duración que en la pieza sea exigida.

La interferencia más importante proviene del límite elástico de las resinas acetálicas en el montaje, ya que la resistencia de diversas piezas disminuye después del montaje. Este tipo de unión ha demostrado ser muy útil en la unión de piezas tales como rodadillos,

manivelos, pomos, cinturones y otras piezas similares.

Uniones a presión o interferencia. - Se trata de una de las técnicas más simples y más comunes. Convenientemente aplicada, resulta económica y de gran rapidez y es aplicable a materiales similares o no. Las uniones por este método son poco afectadas por cambios de temperatura (120 - 150° C.).

La unión de acetales a los metales u otros materiales es fácil con el sólo problema de los intervalos de temperaturas, consecuencia de diferentes coeficientes de dilatación de los dos materiales.

REMACHADO. -

Este es un método normal para montaje de piezas industriales. Esta técnica es muy similar al remachado metálico; consiste en el remachado de una cabeza que va en el extremo de un eje. Se pueden obtener uniones económicas y rápidas y se puede hacer el montaje de formas geométricas variadas.

La cabeza tiende a tomar su forma original si se calienta por encima de su temperatura de moldeo. La cabeza del remache tiene una fuerza aproximada de 300 a 350 kg/cm<sup>2</sup>.

La experiencia en esta técnica recomienda su uso en impulsores de bombas, arandales, mangos, controladores de tubo para cables, rodillos, etc.

### TORNILLOS AUTORROSCANTES.-

Por este medio se obtienen buenos acoplamientos de piezas hechas con resinas acetálicas. Las excelentes cualidades de maquinado de estas resinas, junto con su fuerza y resistencia a la deformación, permiten una unión fácil y permanente por medio de los tornillos autorroscantes.

Se han encontrado buenas fijaciones con sólo tres o cuatro pasos de rosca. A continuación se da la fuerza de los pasos de rosca a temperatura ambiente:

<u>Tipo de Tornillo</u>	<u>Diámetro mm</u>	<u>Longitud del Paso de rosca</u>	<u>Fuerza de Fijación</u>
F 10 - 24	4.75	6.35	270 Kgs.
F 10 - 24	4.75	9.55	450 Kgs.
F 10 - 24	4.75	12.70	820 Kgs.

### ADHESIVOS.-

Debido a la alta resistencia a los disolventes de este tipo de resinas, su pegado es difícil. Sin embargo, pueden encontrarse algunos adhesivos en el comercio para pegarlas y dar una buena resistencia.

### PASOS.-

1. Limpiar la superficie con un agente desgrasante.
2. Aplicar una capa muy ligera de adhesivo en ambas superficies.
3. Dejar secar el adhesivo.

Una hora a temperatura ambiente o cinco minutos a 120° C.

4. Juntar ambas superficies aplicando ligera presión (1 kg/cm<sup>2</sup>)
5. Curar las piezas 15 minutos de 120 - 150° C.

En frío pegamentos EPOXI son los más adecuados.

#### DECORADO.

Las resinas acetálicas se pueden pintar satisfactoriamente utilizando equipos normales así como lacas y pinturas convencionales seguido de un período de curado a 120° C. Para obtener una buena adhesión de pinturas y lacas se debe aplicar un tratamiento químico (satinized) para tratar la superficie.

El Satinado es un tratamiento de la superficie que se hace con objeto de lograr una superficie uniforme de poros. Este método permite la utilización de cualquier pintura, laca o esmalte sin ningún tratamiento previo de otro producto, además permite el uso de adhesivos normales.

#### Formulación para el Satinado

#### Concentración (% en peso)

##### Ingredientes

Kieselgur	0.5
Dioxano	3.0
Acido para Toluen Sulfúrico	0.3
Percloroetileno	96.2

## IMPRESION. -

Se han utilizado con éxito diversas técnicas. Es necesario para una buena impresión curar la pieza a 150° C. utilizando rayos infrarojos u otra fuente de calor. Hay diversas formas de impresión.

Impresión directa. - Aquí un sello de caucho toma la tinta y la transfiere directamente a la pieza. Se cura la pieza a 150° C. durante cinco minutos. Se recomienda previamente hacer un ensayo con la tinta a utilizar.

Impresión Serigráfica. - Se emplea mayor profundidad del color, mayor capacidad y más brillo. Se requiere curado a 150° C.

Impresión por Color. - Consiste en la utilización de una matriz metálica que lleva una hoja finísima de color y que al fundir el acetal deja la impresión y el color. Se requiere cuidado para determinar la combinación de temperatura, velocidad y presión. Impresiones de este tipo han permanecido en buen uso después de cuatro años.

Metalizado. - Aún no se ha logrado la metalización con completos resultados en toda clase de piezas y solamente en piezas pequeñas ha tenido éxito.

### Pasos para el Metalizado:

1. Tratamiento de la superficie (satinizado).
2. Curado de una fina capa transparente con objeto de nivelar la superficie.

3. Deposición de aluminio por vacío.
4. Aplicación de una capa de protección de la película de aluminio.

"CAPITULO III"

## PROCESADO DE LAS RESINAS ACETALICAS

### RESINAS DE MOLDEO. -

Tanto el Homopolímero como el copolímero acetal se presentan como materia prima en forma de gránulos cilíndricos de 3 x 3 mm. Se abastecen a la industria de moldeo en sacos de base ancha, impermeables y conteniendo 22.680 kg.

Estas resinas son insensibles a la humedad atmosférica y por lo tanto no es necesario un secado previo. Estas conclusiones se fundan en numerosos ensayos efectuados en invierno y en verano. Estos ensayos han demostrado que es posible moldear estas resinas hasta con un 0.4% aproximado de humedad.

### LUBRICACION DEL MATERIAL DE MOLDEO. -

El objeto de lubricar la superficie de los gránulos es reducir la pérdida de presión en la zona de inyección donde los gránulos se encuentran aún sin fundir, por lo general este tratamiento se lo dan los productores de resinas acetálicas en sus propias plantas, por lo cual no hay que tratar el material de nuevo. En algunos casos se requiere lubricar el material molido o recuperado aún cuando esto se requiere solo en aquellos casos donde el molde es muy difícil de llenar.

En el caso de que fuere necesario pigmentar material recu-

perado sin pasarlo previamente por un extruder sería recomendable mezclar el lubricante al mismo tiempo que el pigmento.

Muchas sustancias pueden utilizarse como lubricantes, sales de ácidos grasos, tales como estearatos de aluminio, calcio o magnesio, así como una gran variedad de ceras. Por ejemplo, una concentración de 300 p.p.m. (0.3 gramos por kg.) de "ACRAWAX" C (etilen diesteramida) es suficiente para dar una buena lubricación a material recuperado. No se recomienda utilizar más de 300 p.p.m. de lubricantes, pues un exceso podría ocasionar defectos o fallas en las piezas moldeadas.

El lubricante se puede adicionar por medio de un simple tamboreo.

#### PIGMENTADO. -

Aún cuando los proveedores surten estas resinas en una gran variedad de colores, es necesario aclarar para cuando pueda ser necesario que el pigmentado de estas resinas en seco es muy fácil por medio de simple tamboreo. Tendremos, eso sí, que hacer hincapié en la selección de pigmentos ya que por las características de las resinas acetálicas algunos pigmentos actúan como catalizadores de descomposición de estas resinas provocando serios problemas durante el proceso.

Los pigmentos orgánicos no son recomendables, de preferencia se deben probar pigmentos inorgánicos. La experiencia ha demostrado que no se deben usar colores "concentrados" debido a que las concentraciones de pigmentos pueden producir enturbiamientos o decoloraciones en las piezas durante el moldeo.

Los colores blanco y negro son los más delicados por el color y su estabilidad y se recomienda un ensayo previo en pequeña escala antes de empezar la producción.

El tiempo de tamboreo es de 5 a 10 minutos para evitar grumos o acumulaciones de pigmentos.

En el caso particular de México, se han estado haciendo numerosas pruebas con la compañía Ferroenamel de México, con el fin de conseguir pigmentos adecuados para acetales ya que la importación de pigmentos no está permitida. En la actualidad se cuenta con una variedad de pigmentos adecuados para estos materiales.

Antes de abordar directamente el tema del proceso de Delrin, creo que sería bueno apuntar algunas preguntas que deberán ser contestadas antes de ir más adelante.

1. ¿Podrá ser llenado el molde?
2. ¿Qué duración tendrá el ciclo de moldeo?
3. ¿Cuántas cavidades deberán utilizarse?
4. ¿Podrán obtenerse las tolerancias requeridas?
5. ¿Será necesario curar la pieza después del moldeo?

¿Puede ser llenado un molde con resina acetálica? En el caso de piezas pequeñas no hay problemas, nuestro caso es saber si se podrá llenar una gran superficie probablemente con una pared fina. Se necesitan considerar algunas variables.

- a) Espesor de las paredes. La pieza se llena peor a medida que disminuye el espesor de pared.
- b) Distancia de flujo. Es la distancia máxima que alcanza el material, a contar desde el bebedero hasta el punto más lejano del molde a medida que esta distancia aumenta, la dificultad para llenar el molde es mayor.
- c) Superficie de la pieza. Esto es importante ya que como es lógico a medida que la superficie es mayor, la dificultad aumenta.
- d) Peso de la pieza en relación con la capacidad de la máquina. Cuanto más cercano es el peso de la pieza a la capacidad de la máquina, la dificultad aumenta. Se puede aumentar la capacidad de llenado usando temperaturas y presiones más altas y molde muy caliente (120° C.).

¿Cuántas cavidades tendrá el molde? El objetivo, como es lógico es estudiar el número de cavidades para que el costo de la pieza sea mínimo. A menudo las limitaciones son debidas al tipo de máquina usado. El número de cavidades se podrá obtener después de considerar los siguientes factores:

- a) Factores económicos

Número de piezas requeridas.

Ciclo que se estima conveniente.

Costo del financiamiento de la máquina.

Rendimiento de las piezas (satisfactorias).

b) Limitaciones de la máquina.

Tiempo de estancia del material en el cilindro.

Peso de la pieza.

Presión de cierre.

Capacidad de Plastificación.

¿Se podrán obtener las tolerancias requeridas, o habrá necesidad de curado? Cuando la temperatura de operación de una pieza sea superior a 50° C. y necesite un máximo de estabilidad dimensional, será necesario calentar el molde (115 - 120° C.) o proceder al curado posterior de la pieza.

#### TIPOS DE MAQUINAS A UTILIZAR. -

Las resinas acetálicas han sido moldeadas satisfactoriamente en una amplia variedad de máquinas de diferente capacidad comprendidas entre pocos gramos a varios kilogramos. Se pueden usar máquinas de pistón o de tornillo, siendo mejores estas últimas.

Desde luego la calidad de las piezas moldeadas, especialmente aquéllas que sean de precisión son de acuerdo con el comportamiento y tipo de máquinas que se usen.

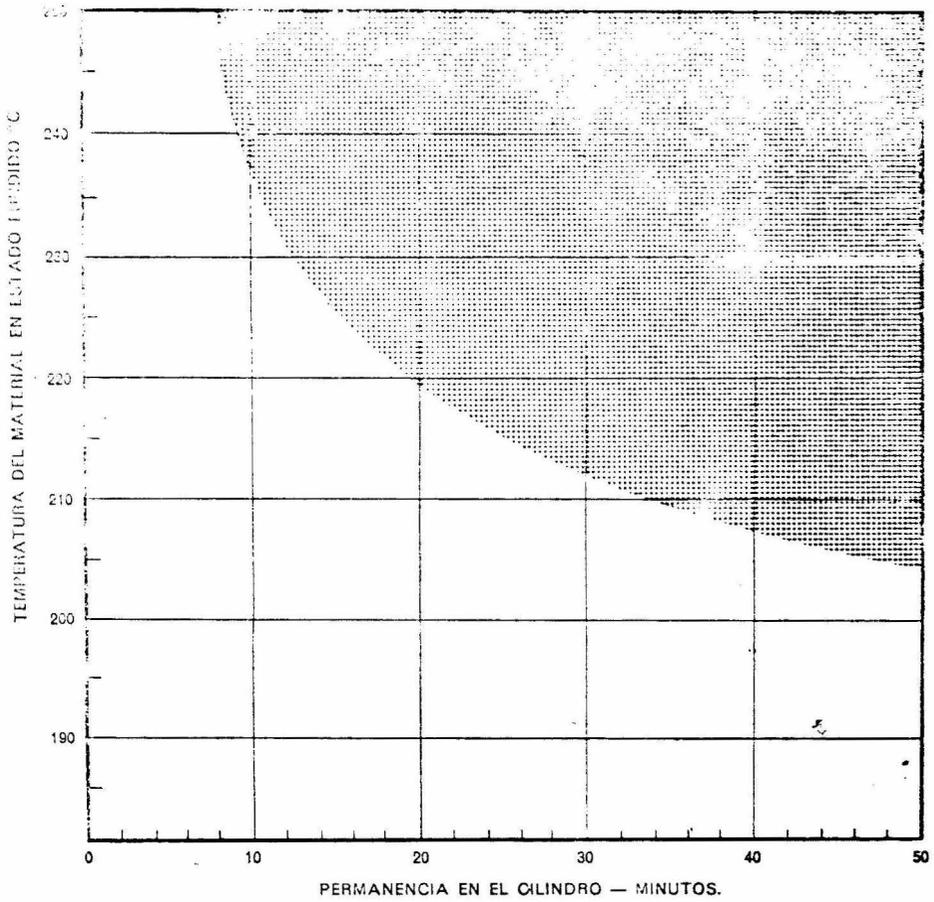
Entre las diversas partes que contiene una máquina de inyección, la unidad de plastificación será la que ocupe más nuestra atención. Teóricamente deberá reunir las siguientes características:

1. La resina deberá alcanzar su estado fluido en el tiempo más corto posible sin que alcance una temperatura superior a la requerida para la inyección con el fin de evitar la descomposición de la resina.
2. Deberá ser capaz de inyectar a velocidad rápida y a presiones uniformes y determinadas, facilitando el llenado del molde.
3. El material fundido que pase por la boquilla, deberá tener una temperatura uniforme, evitándose con esto tensiones internas en las piezas.
4. La unidad de inyección no deberá tener aristas u obstrucciones que permitan que el material se estacione sobrecalentándose y degradándose.

Hay varios tipos comerciales de maquinaria que reúnen estas cualidades. Hay dos categorías principales: máquinas de pistón y máquinas de tornillo. Estas últimas tienen dos divisiones, de tornillo e inyección y de preplastificador y pistón. Las máquinas de tornillo en general dan una mayor capacidad de plastificación y la producción no suele estar limitada a su capacidad. Por lo tanto la uniformidad de temperatura y del material fundido es superior en este tipo de máquinas.

TIEMPO DE PERMANENCIA EN LA CAMARA DE INYECCION. -

El tiempo de estancia de estas resinas en el cilindro de la máquina juega un papel importante en las características finales de la pieza. Si el tiempo ha de ser breve, será necesario aumentar la temperatura hasta alcanzar el grado de fluidez adecuado pero tomando en cuenta el peligro de un sobrecalentamiento. El tiempo de permanencia de la resina en una máquina puede ser conocido, ya que se conoce el volumen del cilindro. Para las máquinas de pistón se puede decir en general que el tiempo de permanencia es 6 veces el valor nominal de la capacidad de la máquina.



Gráfica cortesía de Du Pont.

En la figura anterior podemos ver el comportamiento del homopolímero acetal. La zona oscura es la zona donde la degradación y descomposición ocurre.

Si el tiempo de permanencia es excesivo a una temperatura dada puede ocurrir una decoloración de la resina así como un desprendimiento de vapores de formaldehído. Los tiempos medios pueden ser de 10 a 15 minutos, tiempo de 35 minutos se puede considerar como grande. Esto nos demuestra la importancia de considerar la forma aerodinámica del cilindro. En las máquinas con torpedo, este debe tener las aristas cuidadosamente diseñadas en forma que no retenga ninguna partícula de resina. En las máquinas de tornillos es necesario tener cuidado con los filtros que se colocan cerca de la boquilla. En las máquinas con preplastificador la zona peligrosa suele ser aquella comprendida entre los dos cilindros o también en la cara frontal del pistón.

#### PESO DE LA PIEZA. -

En el peso de la pieza deberá considerarse también el peso de la colada y los corredores o bebederos y en líneas generales el peso total deberá ser de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{4}$  de la capacidad total de la máquina.

En las máquinas normales de pistón se recomienda que el peso de la pieza no exceda la mitad de la capacidad total de la máquina.

### CONTROL DE TEMPERATURA. -

Una buena información en este aspecto se puede obtener de la figura anterior, por la cual podremos conocer la temperatura de fusión requerida. Esta temperatura se puede medir por medio de un pirómetro de sonda. Las medidas de temperatura de fusión se pueden tomar por medio de inyecciones de aire, utilizando los mismos ciclos que si hubiera resina.

Las experiencias con máquina de pistón han mostrado que teniendo un control de la distribución de la potencia eléctrica (watts) en el cilindro da como consecuencia una mayor uniformidad de temperatura, y una uniformidad de temperatura da lugar a una homogenización en las dimensiones de la pieza. Para obtener un control adecuado de la potencia eléctrica es conveniente colocar transformadores variables en el circuito que suministra la fuerza a la zona de calefacción. También el uso de termopares es muy aconsejable. Sin embargo, el mejor resultado se obtiene usando 2 termopares en paralelo. Uno en la superficie y otro en el interior del cilindro. Esto hace que en las lecturas se reduzcan las fluctuaciones de temperatura.

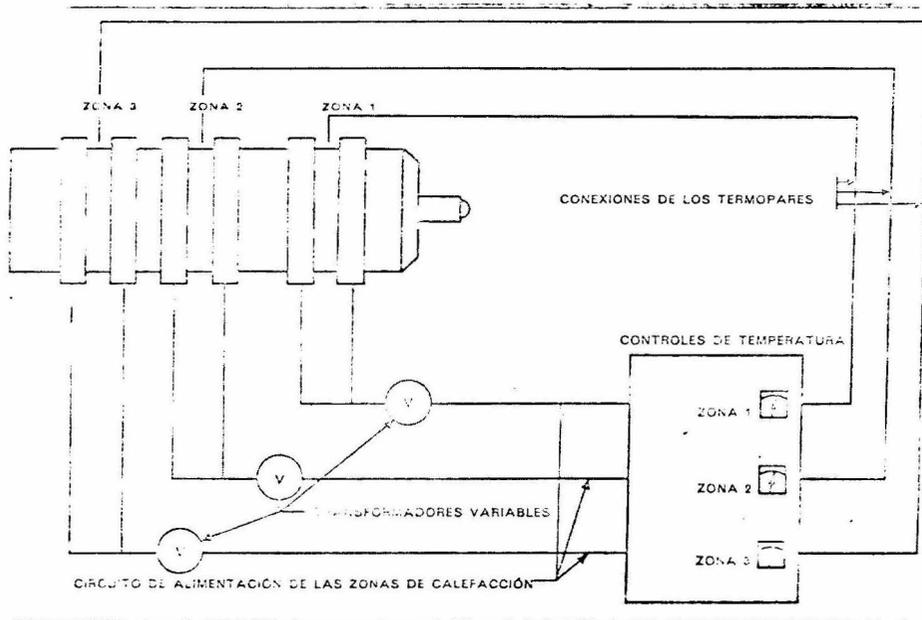
### POTENCIA ELECTRICA DE LAS ZONAS DE CALENTAMIENTO. -

Las zonas de calentamiento tienen una gran importancia en las variaciones dimensionales. Se llama densidad de Watts, al valor total

de las zonas de calentamiento de una zona de control (expresada en Watts) dividida por la superficie exterior de la zona.

En cada zona de control se debe usar la "densidad" más baja posible, siempre que se obtenga la temperatura necesaria. El objeto que se persigue es tener una calefacción uniforme y continua.

Como resultado de utilizar menos cantidad de Watts la temperatura de fusión decrece. Para compensar esto se sugiere colocar otro instrumento de medida, lo cual no modifica las condiciones ya que el instrumento solamente indica la temperatura del cilindro. Un medio bastante barato de modificar la potencia en Watts es utilizar un transformador variable, el cual se coloca en el circuito de las zonas de calentamiento tales como muestra la figura:



Para obtener el voltaje mínimo necesario para obtener una temperatura constante de fusión de la resina, colóquese el transformador en la posición "on - off" es decir al mínimo, o también apagar y encender el mando del transformador aproximadamente el 10% del tiempo requerido para obtener la temperatura deseada.

#### EMPLAZAMIENTO DE LOS TERMOPARES DE CONTROL. -

El propósito de los termopares de control es doble: primero nos da la lectura de la temperatura del cilindro. Segundo nos da la indicación de la temperatura de fusión. Sin embargo, ambos objetivos no pueden ser efectuados simultáneamente.

Los termopares situados lo más cerca posible de las zonas de calefacción nos dan un control más uniforme, pero al mismo tiempo tendremos una idea bastante pobre de la temperatura de fusión. Recíprocamente los termopares situados en el interior de la pared del cilindro nos dan una buena indicación de la temperatura media de fusión del material pero pobre de la temperatura del producto fundido. Por lo tanto, no se puede decir que el emplazamiento de los termopares sea óptimo en cualquiera de los dos casos.

Dos termopares colocados en paralelo y estratégicamente colocados, nos ofrecen la ventaja de dos termopares, uno de superficie y otro interior. Un termopar se coloca en la pared del cilindro (aproximadamente a 2.5 cm. de profundidad) y el otro directamente sobre la banda de calefacción. Ambos están conectados en paralelo al aparato



de control.

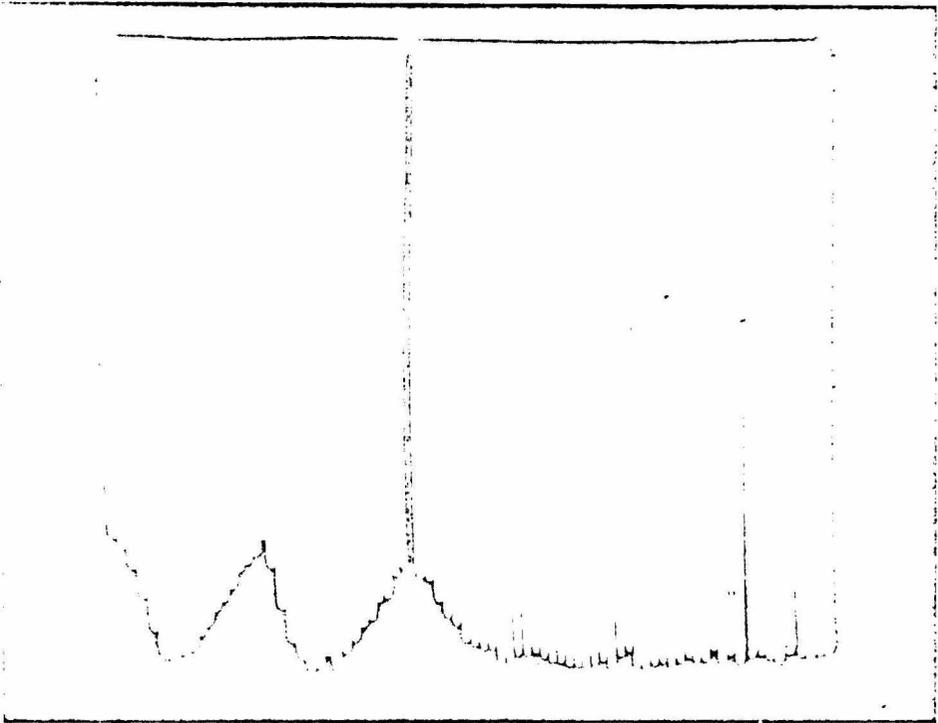
Se debe procurar que el termopar de superficie se coloque bajo la zona de calentamiento y no cerca de la superficie del cilindro próxima a la zona de calentamiento, ya que entonces se perderían los beneficios de esta conexión en paralelo.

Las ventajas que supone utilizar termopares y control de densidad de Watts se puede ver en la siguiente figura:

COMIENZO  
▼

PASO A UN NUEVO SISTEMA DE CONTROL  
▼

FIN  
▼



ÚNICO TERMOPAR, ALOJADO A 6 MM  
DE PROFUNDIDAD Y POTENCIA  
ELÉCTRICA MÁXIMA

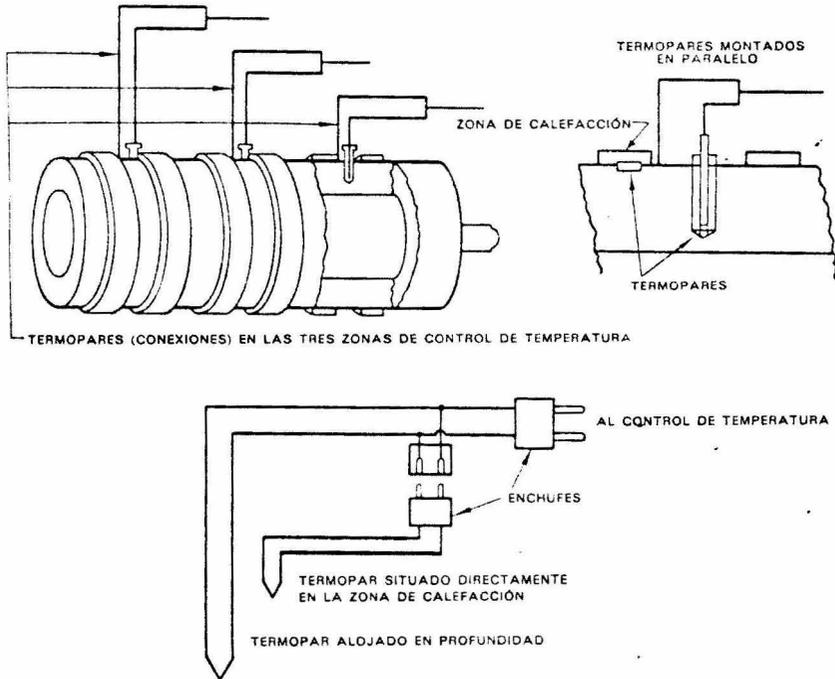
TERMOPARES SITUADOS EN SUPERFICIE  
Y PROFUNDIDAD CONECTADOS EN PARALELO  
Y CONTROL DE POTENCIA ELÉCTRICA

Gráfica cortesía de Du Pont.

En esta se pueden observar piezas que se obtuvieron consecuti-

vamente antes y después de usar estas técnicas de control de temperatura.

En la siguiente figura se presenta un diagrama de una instalación de termopares en paralelo.



Gráfica cortesía de Du Pont.

### PRESION Y VELOCIDAD DE INYECCION. -

La velocidad de inyección está limitada no solamente por la capacidad de la bomba de la máquina, sino también por las pérdidas del

sistema hidráulico. Las pérdidas aumentan a medida que la presión de la bomba aumenta, incluso en equipos nuevos. Con el tiempo y el uso estas pérdidas de presión aumentan hasta llegar a ser difícil el llenado de los moldes.

Para asegurarse que la máquina trabaje al máximo de su potencia, se sugiere el control de la presión del pistón y del sistema hidráulico por medio de un potenciómetro conectado a un oscilógrafo.

La verificación se puede efectuar bien con la máquina en funcionamiento, o ya sea estudiando solamente el circuito hidráulico.

Es muy recomendable que se obtengan estos datos con las máquinas nuevas para que puedan ser comparados después y ver las variaciones para poder localizar pérdidas. En la mayoría de las bombas, las pérdidas debidas a partes móviles son difíciles de eliminar. Generalmente estas pérdidas aumentan con la presión. Para evitar averías en la bomba se dota a ésta de una válvula de seguridad para controlar la presión a un nivel determinado. La mayor parte de estas válvulas constan de un muelle de resorte que no permanece completamente cerrado a presiones menores que la deseada. Como consecuencia, la presión del sistema hidráulico aumenta, la cantidad de fluido que se envía al depósito es mayor y menor la cantidad que pasa a través del cilindro donde es más necesario.

Por lo tanto se necesitará un reemplazamiento periódico de este

tipo de válvulas con objeto de obtener un máximo de velocidad de inyección, usualmente necesario para el trabajo con estas resinas. Esta verificación periódica del flujo y la presión puede indicarnos la necesidad de una revisión general, y por lo tanto, evitar pérdidas importantes en el funcionamiento de la máquina.

### CARACTERISTICAS DE LAS RESINAS ACETALICAS EN ESTADO DE FUSIÓN. -

Uno de los conocimientos básicos que es necesario tener al trabajar con resinas acetálicas es la relación entre la viscosidad de la resina en estado de fusión y la temperatura. En el caso de estas resinas, la viscosidad no varía aún cambiando la temperatura como ocurre con otros termoplásticos. Por lo tanto, si incrementamos la temperatura del cilindro, no obtendremos mejores resultados. Generalmente, estas resinas se moldean entre 190 - 230<sup>o</sup> C. aún cuando se puede aumentar un poco la temperatura (siempre con cuidado) en el caso de moldes difíciles de llenar, para ayudar, otros cambios pueden ser efectuados tales como aumentar la temperatura del molde, o aumentar el tamaño de los corredores y así obtener una facilidad de entrada de material en el molde sin tener que recurrir a sobrecalentar la resina.

Al hablar de la viscosidad como uno de los factores del moldeo, se debe tomar en cuenta que la humedad afecta la viscosidad, y si la humedad aumenta, la fluidez en el molde también aumenta, ya que la

viscosidad disminuye. Si el caso contrario se realiza en aquellas piezas con tolerancias estrictas, será necesario controlar el grado de humedad de la resina o también cuando se trate de moldes difíciles de llenar. Para piezas críticas se recomienda utilizar solamente resina virgen y una presión menor que la máxima (80 - 85%) para tener un margen de seguridad.

#### CICLO DE INYECCION. -

Para determinar el ciclo en un molde de precisión, el tiempo de inyección deberá ser ligeramente superior al de solidificación del punto de inyección con el fin de evitar retrocesos de material fundido. Es difícil determinar la solidificación del punto de inyección; se opera a ciclos constantes y se van pesando una serie de piezas obtenidas con tiempos de inyección cada vez mayores. El peso de la pieza no aumentará después de la solidificación del punto de inyección.

Este es un método simple, rápido y preciso que permite asegurar para una pieza dada, que el punto de inyección está bien solidificado cuando se termina la presión de inyección. Si se reduce la presión de inyección antes de obtener el punto de solidificación, un retroceso de material fundido puede ocurrir. Esto quiere decir que la resina sale del molde debido a que la presión en la cavidad del molde es superior a la presión en los corredores del molde. Un fenómeno como éste puede dar lugar a piezas de diferente peso de inyección a inyec-

ción, y por tanto un pobre control de tolerancias por variaciones de contracción.

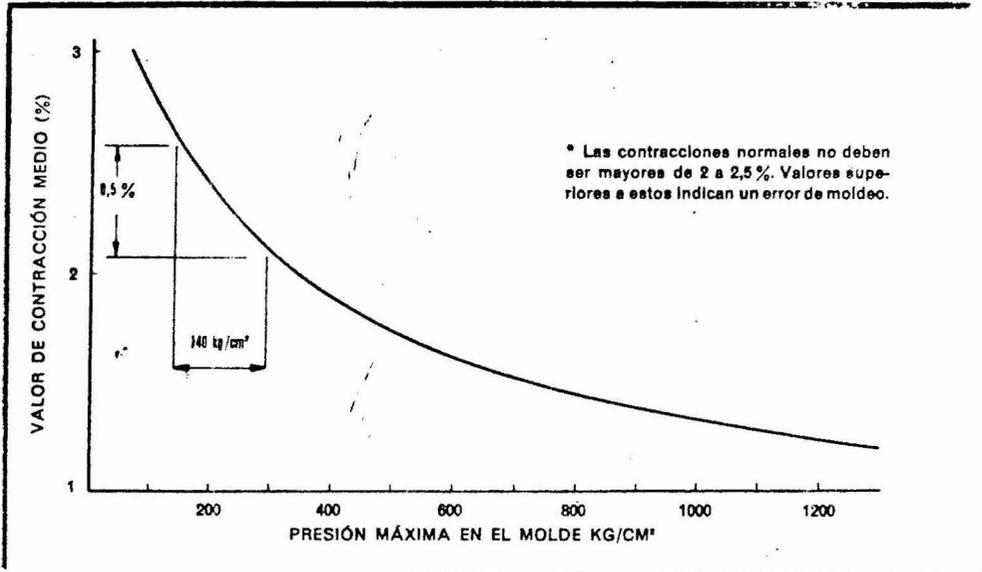
Si varía el ciclo total de una inyección a otra, también variará la contracción de las piezas. La razón estriba en que cualquier variación de la temperatura de fusión, tiempo de enfriamiento, o cualquier otro factor, afecta la contracción de las piezas.

Por lo tanto para obtener una pieza de precisión, será necesario mantener un ciclo constante. Las variaciones en el ciclo de inyección, causadas por insertos metálicos difíciles, o defectos en los aparatos de medida, o problemas de modificar inmediatamente un ciclo al terminar una pieza, afectan la contracción del molde lo suficiente como para variar la tolerancia de la pieza inyectada.

#### PRESION EN EL MOLDE Y VELOCIDAD DE INYECCION. -

Es muy importante tener una presión constante en el molde de una inyección a otra.

El efecto general entre la presión y la contracción en un molde se puede observar en la siguiente figura:



Gráfica Cortesía de Du Pont.

En esta figura vemos la necesidad de mantener una presión uniforme en el molde, con objeto de lograr una contracción uniforme. Como se puede apreciar en la figura, una variación de  $140 \text{ kg./cm}^2$  en la presión del molde puede causar una contracción en el molde de  $0.5\%$ . Por lo tanto la presión uniforme en el molde es muy importante con el objeto de obtener piezas de precisión. Si existiera dificultad para llenar secciones delgadas, se puede evitar aumentando la velocidad de inyección. Las resinas acéticas tienen un punto de fusión alto y una gran resistencia a la oxidación, lo cual permite calentar la tolva hasta una temperatura de  $120^{\circ} \text{C}$ . Esta temperatura se refiere a operaciones

normales, en las que el material puede permanecer en la tolva hasta 4 ó 5 horas. Este calentamiento de tolva se recomienda en algunos casos en que se estén utilizando máquinas de pistón para aumentar la velocidad de inyección.

### TECNICAS DE ALIMENTACION. -

Para trabajos de precisión es muy importante la alimentación de la máquina para obtener una presión uniforme en el molde de una inyección a otra. Existen dos formas de alimentar una máquina de inyección: Alimentación justa y Alimentación controlada o automática.

Alimentación Justa. - Esta alimentación se refiere a que la cantidad de resina que entra en el molde es ni más ni menos que la justa. El pistón llega al final del cilindro en cada ciclo. Esta clase de alimentación presenta las siguientes ventajas:

1. Al utilizarse un mínimo de resina, el costo se reduce.
2. El llenado del molde es más rápido, ya que el pistón tiene menos resistencia que vencer. También esto significa que pueden obtenerse ciclos más cortos debido a que el tiempo de recorrido del pistón es más corto.
3. Para una presión de pistón dada, la presión del molde es más baja que en el tipo de "alimentación de control". Por lo cual se puede moldear una superficie mayor sin sobrepasar la capacidad de cierre de la máquina.

Alimentación Automática o de Control. - Esta técnica consiste

en alimentar la máquina con una cantidad de resina suficiente para que en cada ciclo la cámara tenga una cantidad constante de material.

Esta técnica ofrece las siguientes ventajas:

Con presiones de molde más altas se obtienen piezas de más alta densidad y con una contracción relativamente menor y uniforme.

La presión se mantiene en el molde a medida que el material se enfría. Esto hace que el material en el molde sea más compacto, con lo cual se evitan núcleos de aire, rechupes y alabeos en la pieza, ya que a mayor "densidad" de material es razonable esperar una transmisión mejor de calor entre las paredes del molde y la resina caliente.

Este efecto por otro lado disminuirá el ciclo de enfriamiento.

En general esta técnica se recomienda para moldear piezas de precisión.

#### TEMPERATURA DEL MOLDE. -

Es importante utilizar moldes calientes para obtener estabilidad dimensional y también para facilitar el llenado del molde, debido a que las resinas acetálicas tienen un punto crítico de solidificación al pasar del cilindro caliente al molde frío.

Para obtener una buena superficie en piezas industriales, una

temperatura de 66 - 77° C. es la más apropiada. Sin embargo, para la obtención de una superficie óptima en una pieza difícil de llenar, la temperatura del molde puede estar comprendida entre 93 - 120° C.

#### PRECAUCIONES A TENER EN CUENTA. -

El el moldeo de estas resinas se utilizarán las precauciones normales que requiere la técnica de inyección. En particular estas resinas no deben estar expuestas por más de 15 minutos a temperaturas superiores a 227° C. En caso de descomposición se obtendrán vapores de formaldehído como ocurre con materiales termofijos del tipo melamina-formaldehído, urea-formaldehído y fenol-formaldehído y se pueden tomar precauciones similares.

Los datos obtenidos alrededor de una máquina de inyección han dado como resultado una concentración menor de una parte por millón en condiciones normales de trabajo.

Las normas americanas de higiene estipulan que 5 ppm es la cantidad máxima a que los obreros pueden estar expuestos durante 8 horas de trabajo sin peligro para la salud. Debido a que una concentración de 0.8 ppm ya es irritante para ojos y nariz, es lógico suponer que las probabilidades de accidente son mínimas, pues nunca se llegará a 5 ppm.

Sin embargo, no cabe duda que un sobrecalentamiento o una permanencia larga de las resinas a altas temperaturas puede ocasionar descomposición de éstas.

Esto dará lugar a una atmósfera irritante. En este caso la primera medida es desconectar las zonas de calentamiento y purgar la máquina recogiendo el material fundido en un recipiente con agua fría. También se recomienda la evacuación de personal del local hasta que éste se haya ventilado. Los vapores de formaldehído no son corrosivos y por lo tanto no atacan el metal.

#### REPROCESADO DE RESINAS ACETÁLICAS. -

Como un complemento a este capítulo, sumaremos los métodos para el reprocesado de este tipo de resinas, incluyendo manejo, almacenamiento, molienda y tratamiento del reprocesado. Platicaremos también del porcentaje de material reprocesado recomendado para uso en productos standard.

Las resinas acetálicas pueden ser remolidas y reprocesadas, haciendo posible la utilización del material proveniente de coladas y piezas defectuosas. Las reprocesadas son fáciles de manejar y no requieren técnicas especiales o no usuales.

Especial énfasis se hace en evitar contaminaciones, puesto que éstas tienen un efecto directo en la procesabilidad y en las propiedades físicas de las piezas moldeadas.

Las operaciones de manejar desperdicios y remolido de resinas acetálicas se discutirán en el orden con que normalmente se llevan

a cabo en la práctica.

a) Manejo de Desperdicios. - El desperdicio de coladas separadas manualmente o directamente de una operación de moldeo automática deben ser manejados cuidadosamente para prevenir, tanto como sea posible, contaminación como la que puede venir de aceite (de la máquina de inyección), acerrín, polvo, desperdicio de otras resinas, resina degradada, etc.

b) Almacenaje de Desperdicio. - Esto deberá ocurrir en un lugar seco y limpio para prevenir contaminación (las piezas hechas con resinas acetálicas) y humedad (Ejemplo: Condensación en el recipiente usado). Estos requisitos pueden ser cubiertos almacenando el desperdicio en recipientes cerrados.

c) Molido de Desperdicio. - Dos tipos de molinos son los más usados, pulverizadores y trituradores. Los primeros son útiles sólo para tubería de plástico y piezas pequeñas. Otros desperdicios deberán ser cortados en trozos pequeños antes de alimentarse al molino. El tamaño del trozo de desperdicio cortado es regulado en un molino triturador por el tamaño de la abertura de la pantalla, antes de las cuchillas. Puesto que el tamaño de las partículas afecta la regularidad en la alimentación y plastificación del fundido, las cuchillas deberán ser mantenidas tan afiladas como sea posible. Esto también minimizará la

la cantidad de partículas finas durante el molido.

Para cortar materiales tan duros y tenaces como las resinas acetálicas, el molino deberá tener suficiente poder. Quizás un molino con motor de 10 caballos para trozos de 4.7 mm.

d) Lubricación del Material Molido. - Las resinas acetálicas para inyección contienen un lubricante de superficie, para ayudar al material a deslizarse en el cilindro y disminuir pérdidas de presión, especialmente en el caso de máquinas de pistón. Esta lubricación se pierde después que el material pasa por el cilindro de la máquina. Usualmente, relubricación es necesaria solo cuando se trabaja en máquinas de pistón. Esto usualmente no es requerido en el caso de máquinas de tornillo.

El lubricante más usado es el "Acrawax" C y la concentración usada es aproximadamente 0.3 gr/kg. de material molido. La mezcla se hace por tambores, llenando el 50 - 60% de la capacidad del recipiente durante un tiempo de 5 - 10 minutos. (Acrawax C es un producto de Glyco Product Company - Nueva York).

e) Humedad del Molido. - Estas resinas cuando vírgenes absorben de la atmósfera pequeñas cantidades de humedad. Pruebas hechas en los laboratorios de la compañía Du Pont nos muestran que niveles hasta de 0.25% no nos causan ningún problema. Con el objeto de minimizar

la absorción de humedad del molido y evitar el secado, deberán observarse las siguientes reglas:

1) Después de pasar el material por el molino, deberá ser pasado por un tamiz con el fin de quitar las partículas finas provenientes de la operación del molido. Estas partículas finas por ser tan pequeñas absorben humedad muy rápidamente. Además, usualmente estas partículas finas contienen la mayor contaminación en el material molido e interfieren con la adecuada alimentación del polímero a la máquina de moldeo. Para quitar estas partículas finas, se recomienda el uso de un tamiz de 12 mallas.

2) El material molido, deberá ser almacenado en recipientes secos que deberán ser cerrados (no necesariamente sellados). Cuando el nivel de humedad en el molido es elevado, produce problemas tales como babeo, goteo, gasificación, etc.

f) Secado del Reprocesado. - El secado de resina virgen o reprocesada no es usualmente requerido. Material virgen o reprocesado para el caso que se necesite puede ser fácilmente secado en un horno con circulación de aire en 4 horas a menos de 85° C. En hornos de charolas la profundidad en las charolas deberá no ser mayor de 25 mm. Este espesor permite eficiente secado en el mínimo tiempo y por lo tanto minimiza oxidación en la superficie.

g) Porcentaje de Reprocesado.- La Compañía Du Pont ha llevado a cabo pruebas de laboratorio con objeto de determinar el porcentaje de reprocesado permisible. Al polímero se le dieron 10 pasadas en la máquina de moldeo, usando 80% de reprocesado y 20% de resina virgen y 10 pasadas sucesivas, usando 100% de material reprocesado. En cualquier caso el uso de material degradado deberá ser evitado.

La pirámide que vemos a continuación ilustra el número de pasadas por la máquina de moldeo para cualquier cantidad de polímero con una mezcla de 80% reprocesado y 20% de resina virgen.

Como una práctica general para piezas que requieran control cerrado de tolerancias, la cantidad de reprocesado que se recomienda normalmente es de 30%.

Pirámide de Reprocesado  
80% Reprocesado/ 20% Virgen

Pasadas por la máquina	<u>Composición</u>	<u>Alimentada %</u>
0 Virgen	-	
1	100	
2	80 /20 (0)	
3	64 /16 /20 (1) (0)	
4	51 /13 /16 /20 (2) (1) (0)	
5	41 /10 /13 /16 /20 (3) (2) (1) (0)	
6	33 /8 /10 /13 /16 /20 (4) (3) (2) (1) (0)	
7	26 /6 /8 /11 /13 /16 /20 (5) (4) (3) (2) (1) (0)	
8	21 /5 /6 /9 /10 /13 /16 /20 (6) (5) (4) (3) (2) (1) (0)	
9	17 /4 /5 /7 /8 /10 /13 /16 /20 (7) (6) (5) (4) (3) (2) (1) (0)	
10	14 /3 /4 /6 /6 /8 /10 /13 /16 /20 (8) (7) (6) (5) (4) (3) (2) (1) (0)	
	(9) (8) (7) (6) (5) (4) (3) (2) (1) (0)	

C A P I T U L O   I V

## "LAS RESINAS ACETÁLICAS EN MEXICO"

Estas resinas aparecieron en México poco después de haber sido comercializadas en los Estados Unidos en el año de 1960. Desde su primer uso en México, que fueron partes para cortineros en ferretería, su uso ha ido creciendo, siendo numerosas industrias en México que actualmente consumen piezas de resinas acetálicas.

Las principales industrias que consumen este tipo de plásticos son las siguientes: Electrónica, Plomería, Ferretería, artículos para el hogar y Aerosoles.

La introducción de estas resinas en México ha sido una labor grande, debido básicamente a la falta de conocimientos de los plásticos, tanto del consumidor final, como de los fabricantes. El desconocimiento del consumidor de artículos plásticos en México es tal que muchos aún consideran que los plásticos son materiales corrientes y baratos, no sabiendo que existen muchos de ellos y que cada uno tiene sus usos y características específicas y sin darse cuenta que actualmente la palabra plástico solo sirve para denunciar una gran familia de polímeros.

Por otra parte la carencia en muchos casos de normas y especificaciones han hecho que muchos fabricantes sustituyen piezas que deberán ser hechas en Resinas Acetálicas con plásticos más baratos, o con menos problemas para su proceso, provocando con esto la falla de esas piezas,

provocando desconfianza hacia el plástico del consumidor y cerrando, aunque temporalmente, usos para estas resinas. Los perjudicados son en este caso el consumidor, que tendrá que pagar en la mayoría de los casos precios más altos por artículos convencionales de menor calidad, y la industria de los plásticos, al irse cerrando como decíamos, aunque temporalmente algunos mercados. La historia del consumo en México de resinas acetálicas está dada por las siguientes figuras en toneladas:

1960	-	0.3
1961	-	2.5
1962	-	8
1963	-	17
1964	-	17
1965	-	20
1966	-	25
1967	-	33
1968	-	40
1969	-	80
1970	-	100
1971	-	125
1972	-	160
1973	-	200
1974	-	250

Los datos anteriores fueron tomados de la "Dirección General de Esta-

dísticas" importaciones.

Todo el material que se consume en México proviene de los Estados Unidos de América, surtido por los dos fabricantes de estas resinas, E. I. du Pont de Nemours & Co. Inc., y Celanese Corporation of America, bajo las marcas comerciales de "Delrin" y "Celcon" respectivamente. Actualmente, la gran demanda existente en el mundo ha provocado una fuerte escasez mundial, la cual se ha reflejado con cierta falta de material en México. Esta escasez se espera termine en unos dos años más.

Para los próximos cinco años el aumento de estas resinas será de aproximadamente 25% anual, cifra más alta que el aumento normal en México que es de un 7 - 13%. Este aumento está dado básicamente por las industrias mencionadas anteriormente, así como por la industria automotriz que por medio de la integración nacional, queda incluida dentro de los campos de aplicación en un futuro cercano; actualmente esta industria, debido a su poco volumen, importa la mayoría de sus piezas hechas con este material.

Las patentes existentes, así como el bajo consumo, impiden por el momento y hasta unos 10 años más, cualquier intento de fabricación local.

## CONCLUSIONES

Es aún mucho lo que se dice acerca de estas resinas relativamente nuevas y con tantas cosas por hacer aún en el mercado mexicano.

Si pienso, será necesario dar un poco más de conocimientos al consu-

midor por medio de más personas preparadas con conocimientos de estas resinas. Actualmente, tengo entendido, sólo la Facultad de Ciencias Químicas de la U.N.A.M. tiene un curso de plásticos.

Normas de calidad deberán ser creadas para la fabricación de piezas de plástico y de esta manera poderle dar a cada material plástico su uso adecuado.

Crear una ética más profesional en la mayoría de los fabricantes de piezas de plástico, que aún cuando paradójicamente el uso de plásticos de ingeniería son los que más utilidades dan, por los métodos de extenuación que hay que usar y los conceptos de ingeniería que hay que emplear, son evitados por los moldeadores, substituyéndolos como ya dijimos antes, con materiales menos adecuados, eso sí, de menos precio.

De esta manera, empezaremos a obtener más beneficios de materiales tan nobles, prácticos y útiles como las resinas acetálicas.

" B I B L I O G R A F I A "

Properties and Structure of Polymers

Arthur V. Tobolsky

John Wiley & Sons, Inc. 1962

Text Book of Polymer Science

Fred W. Billmeyer, Jr.

John Wiley & Sons, Inc. 1962

Plastics Mold Engineering

J. H. Du Bois & W. I. Pribble

SPE

Reinhold Publishing Corporation 1965

Plastics Engineering Handbook of the Society of  
the Plastics Industry, Inc.

Boon Division

Reinhold Publishing Corporation New York

Plastics Molding

John Delmonte

John Wiley & Sons, Inc. New York

Modern Plastics Encyclopedia

Mc Graw Hill Publications

1964 - 1965

1965 - 1966

1966 - 1967

1967 - 1968

1968 - 1969

Literatura de la Compañía Du Pont, S. A. de C. V.

"Delrin" Acetal Resins

Design Handbook

Copyright 1967 by E. I. du Pont de Nemours & Co.

Wilmington, Delaware

Application Design

Design & Engineering Data

Plastics Department

E. I. du Pont de Nemours & Co. 1961

"Delrin" Acetal Resins

Design and Engineering Data

Plastics Department

E. I. du Pont de Nemours & Co. 1961

Manual de Moldes para Inyección de la Resina Acetálica  
"Delrin"

Departamento de Plásticos

Du Pont de Nemours International, S. A. Ginebra, Suiza 1964

Molding Manual for "Delrin" Acetal Resin

Copyright 1964 by E. I. du Pont de Nemours & Co.

Wilmington, Delaware

This is "Delrin"

E. I. du Pont de Nemours & Co.

Plastics Department

Wilmington, Delaware 1963

Wea & Werability of "Delrin" Acetal Resin

E. I. du Pont de Nemours & Co.

Technical Service Laboratory

Plastics Department

Paul N. Richardson

"Delrin" Sizing of Injection Molds

E. I. du Pont de Nemours & Co.

Technical Service Laboratory

J. D. Briston

Coloring of Acetal Resins

E. I. du Pont de Nemours & Co.

Technical Service Laboratory

J. F. Hamilton

Building Hardware of Delrin Acetal Resin

Du Pont de Nemours International, S. A.

Ginebra, Suiza 1966

Boletín Técnico de "Delrin"

Lista de verificación de Diseño para una pieza de Resina Acetálica

Du Pont, S. A. de C. V.

José Vargas Quiroz 1967 México

Boletín Técnico de "Delrin"

Estimación de encogimiento de piezas de "Delrin"

Du Pont, S. A. de C. V.

José Vargas Quiroz 1967 México

Boletín Técnico de "Delrin"

Diseño Dimensional de Cavidades en Moldes de Inyección para Piezas de "Delrin"

Du Pont, S. A. de C. V.

José Vargas Quiroz 1968 México

Boletín Técnico de "Delrin"  
Reprocesado de Resinas Acetálicas  
Du Pont, S. A. de C. V.  
José Vargas Quiroz 1969 México