



00170
\$
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

POLIAMIDA (NYLON)

Una alternativa en la sustitución
de piezas metálicas bajo el cofre.

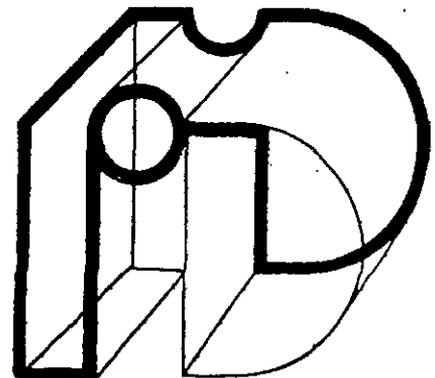
TESIS QUE PARA OBTENER
EL GRADO DE MAESTRO EN
DISEÑO INDUSTRIAL PRESENTA

MIGUEL ANGEL TORRES MORALES

271230

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

1999



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PASINACKA

DISCONTINUED.

DIRECTOR DE TESIS:

ING. EDUARDO DEL RIO MARTINEZ

SINODALES:

DR. MIGUEL EGUILUZ SENIOR
M.D.I. ANA MARIA LOSADA ALFARO
ING. ULRICH SCHARER SAUBERLI
DR. ALEJANDRO RAMIREZ REIVICH

POLIAMIDA (Nylon):

**Una alternativa en la
sustitución de piezas
metálicas bajo el cofre.**



Miguel Angel Torres Morales

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES PLÁSTICOS	1
2.- NYLON	8
Definición	
Historia	
Propiedades	
Características	
Potencial de uso	
3.- CRITERIOS EN EL DISEÑO DE PIEZAS BAJO EL COFRE	19
Factores claves en el reemplazo de metales	
Selección del equipo de diseño	
Estrategia de diseño	
Proceso de fabricación	
Proceso de moldeo por inyección	
Diseño de moldes	
Efectos de la resina seleccionada	
Metodos de ensamble	
Consideraciones en los costos	
Diseño inicial de la pieza	
Lista de puntos claves	
4.- DISEÑO CON NYLON	46
Moldeo por inyección	
Diseño de moldes	
Diseño de costillas	
Ensamble	
Soldadura	
Solución a problemas comunes	
5.- EJEMPLOS	69
Placa plana de aluminio a plástico	
Soporte de piloto automático	
Tapa de termostato	
ANEXO 1	
Fichas Técnicas	
ANEXO 2	
Diseño estructural, formulas y ecuaciones	
ANEXO 3	
Glosario de terminos	
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION A LOS MATERIALES PLASTICOS



CAPITULO

INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES PLÁSTICOS:

Los polímeros son los componentes fundamentales de los plásticos, los polímeros son largas cadenas de moléculas de unidades repetidas entre sí. Estas unidades contienen combinaciones de oxígeno, hidrogeno, nitrógeno, carbón, silicio, cloro, fluor y azufre. La mayoría de los plásticos son suaves, moldeables y su condición es parecida a la de un líquido durante su manufactura, siendo sólidos en su estado final.

Una característica importante de los plásticos es que por medio de la aplicación de temperatura pueden ser moldeados en productos terminados, sin requerir otra operación secundaria de acabado. Los plásticos se han diversificado y han tenido un gran desarrollo debido a sus propiedades y sus características, por lo que cada día nos encontramos con plásticos nuevos, así como combinaciones entre ellos mismos, lo que hace que sea un grupo más numeroso.

La clasificación de los plásticos puede ser muy extensa, generalmente se utiliza la clasificación de acuerdo a su comportamiento frente al calor:

Por su comportamiento al calor: termofijos, termoplásticos y elastómeros.

También se pueden clasificar de acuerdo a sus diferentes propiedades, como mecánicas, químicas, físicas, por su peso molecular, etc. por ejemplo:

Por peso molecular: alto, medio, bajo, etc.

Por sus propiedades mecánicas: bajos, intermedios y de ingeniería (altas).

Siendo la más general la del comportamiento al calor:

Los **termoplásticos** son resinas que pueden ser repetidamente reblandecidas por medio de calor y endurecidas al enfriarse; la mayoría de los termoplásticos son solubles en solventes específicos y pueden ser quemados en cierto grado; la temperatura de reblandecimiento varía de acuerdo al tipo de polímero y su grado. Debido a que son susceptibles al calor se debe de tener cuidado para evitar la degradación, descomposición y la ignición de material. Estos materiales cuentan con una estructura parecida a espaguetis todos revueltos, pero sin estar unidos entre sí, lo que nos lleva a decir que son polímeros lineales.

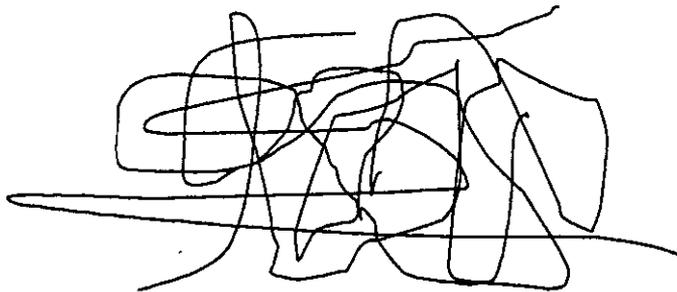


FIGURA 1.1

Los **termofijos** son plásticos que tienen un cambio químico durante el proceso y permanecen insolubles e infundibles, es decir, no se pueden reblandecer con calor. La estructura de los termofijos es muy parecida a los termoplásticos, pero la diferencia es que tienen moléculas entrecruzadas y unidas entre sí, al endurecer las moléculas forman enlaces entre moléculas adyacentes, obteniendo como resultado una compleja red de interconexiones. Estas redes previenen que las cadenas individuales sean movidas, produciendo temperatura durante el proceso y siendo no reversible.

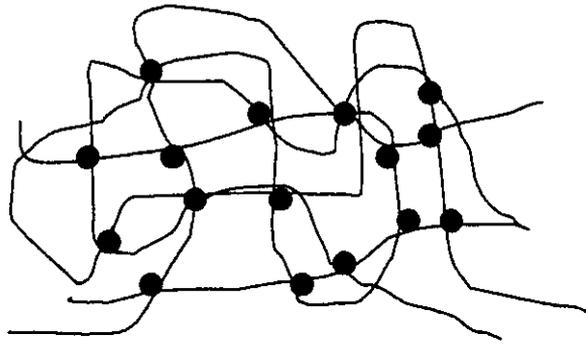
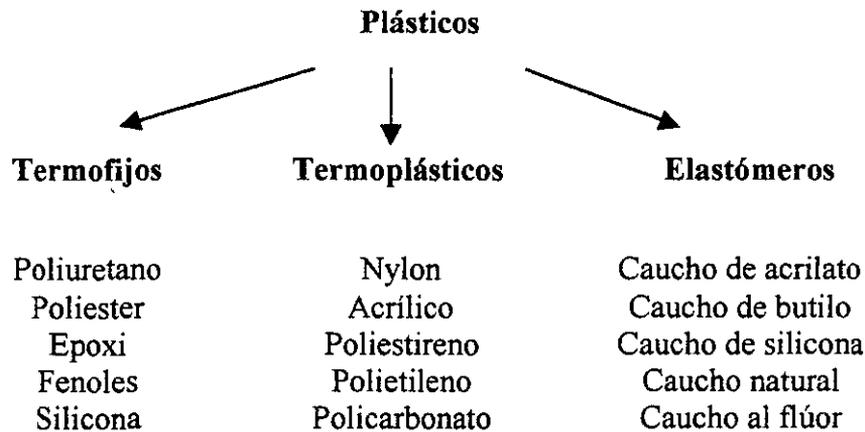


FIGURA 1.2

Los **elastómeros** se utilizan por su elasticidad como goma. Para garantizar sus enlaces moleculares, los elastomeros se vulcanizan (reticulación grande).

A continuación se pueden observar algunos ejemplos de acuerdo a esta clasificación:



Las propiedades físicas y mecánicas están directamente relacionadas con los tipos de uniones entre las cadenas moleculares del polímero; las propiedades de los plásticos pueden ser modificadas por aleaciones o la adición de sustancias y refuerzos.

Los plásticos de ingeniería de alto desempeño (nylon, acetal, polímero de cristal líquido, etc.) pueden ser moldeados, extruidos o termoformados en una gran variedad de estilos y tamaños. Debido a su gran resistencia a la abrasión, al desgaste, a los químicos, y a su alta dureza, están sustituyendo a los metales en muchas aplicaciones; asegurando un buen desempeño a un menor costo.

Las propiedades de estos plásticos permiten diseñar con una mayor facilidad que con los metales. Tienen una resistencia muy buena a las altas temperaturas (200° C.), cuentan con una elevada resistencia a la tracción y su modulo de elasticidad es muy alto; además una elevada resistencia a la deformación y otras características que los distingue de los otros plásticos; por lo que están tomando mucha importancia y tienden a desarrollarse en gran medida.

Debido a su versatilidad, los materiales plásticos han tenido un gran auge, pero el papel más importante lo tienen los plásticos de ingeniería, especialmente los termoplásticos, los cuales tienen las propiedades físicas adecuadas, la mejor resistencia a la temperatura, y cualidades de apariencia que los hace ideales para una amplia gama de usos ya sean mecánicos y funcional-decorativo en todas las partes de un automóvil.

La industria del plástico y la automotriz iniciaron casi al mismo tiempo en la historia, y sólo han pasado dos décadas desde que los plásticos han desempeñado un papel muy importante en la construcción de autos. Este periodo se ha caracterizado por el incremento de 4.5 kilos de plástico por carro en 1953, 63.5 kg en 1973 y cerca de 200 kg para el año 2000, con un total de 15.5 mil millones de toneladas métricas.¹

Examinemos rápidamente las razones de este gran auge y su aceptación por los diseñadores automotores. El primer y mas importante factor es sin lugar a dudas la reducción de costos. En un volumen base, el costo del material de muchos de los plásticos de ingeniería es menor que el de los metales comúnmente usados, como el zinc, aluminio, magnesio, etc.

En adición a los costos del material, otro factor importante es el bajo costo de los métodos de manufactura, como el moldeo por inyección, el cual permite muy buenas tolerancias, y permite manufacturar partes complejas directamente en el molde, sin requerir posteriormente otros maquinados; lo que nos da una ventaja en el diseño de cualquier tipo de pieza por muy compleja que sea, también es importante mencionar que los diseños pueden incluir conjuntos de piezas fácilmente ensamblables entre sí, por medio de grapas, soldadura ultrasónica o tornillos autoroscables.

Un factor importante en el crecimiento de los plásticos en la industria automotriz, ha sido las regulaciones gubernamentales impuestas para la seguridad y prevención de la contaminación en años recientes, sistemas y componentes que en el pasado no existían abren nuevas oportunidades a los plásticos de ingeniería, como ejemplos se pueden mencionar los cinturones de seguridad automáticos, el canister de emisiones de hidrocarburos, las válvulas de control de contaminación, y muchos otros.

¹Termoplastics, Dupont Company 1985

Costos de material plástico vs. metales

MATERIAL	PRECIO \$ / kg	kg/mm ²	\$ / cm ³
PLASTICOS			
POLIFENILENO SUL. (40% Fibra de vidrio)	72.82	1.63 10 ⁻⁶	32.14
POLIMERO CRISTAL LIQ. (30% Fibra de vidrio)	171	1.60 10 ⁻⁶	81.34
ACETAL	35.8	1.41 10 ⁻⁶	14.92
PBT (40% Fibra de vidrio)	34.32	1.60 10 ⁻⁶	14.92
NYLON 6/6 (30% Fibra de vidrio)	53.24	1.38 10 ⁻⁶	19.68
METALES			
ACERO INOXIDABLE	35.2	7.8 10 ⁻⁶	73.96
BRONCE	38.5	8.7 10 ⁻⁶	90.36
LATON	35.2	8.5 10 ⁻⁶	80.85
ACERO FUNDICION	6.6	7.7 10 ⁻⁶	13.84
ZINC	16.94	7.7 10 ⁻⁶	30.34
ALUMINIO	8.8	2.7 10 ⁻⁶	11.97
MAGNESIO	30.8	1.8 10 ⁻⁶	15.08

Precios de julio 1998, y están basados en contadores de: Fortron polifenileno sulfide 114014; Vectra polímero de cristal líquido A130; Celcon acetal M90; Celanex PBT J600 y nylon Celanese 1503. Modern Plastics Encyclopedia, Mid-December 1998. La cotización esta en pesos mexicanos.

TABLA I

No se puede dejar a un lado el factor del ahorro del peso con los materiales plásticos. Al agregar nuevos sistemas y nuevas partes se esta agregando peso al vehículo, lo que repercute en eficiencia y economía de combustible, es decir, si un automóvil es mas pesado gastará mas combustible y contaminará mas que uno de menor peso. El uso de plásticos puede reducir el peso de una parte cerca del 80%, dependiendo de los materiales y los diseños.

Los materiales más utilizados en la industria automotriz y que se encuentran en la categoría de plásticos de ingeniería, son el ABS, PVC, polipropileno, los acetales, nylons, poliesteres, algunos de ellos con refuerzos, hasta los más resistentes al calor: los fluorocarbonos.

El ABS es usado en muchos componentes de tipo decorativo-funcional en el interior del automóvil, generalmente de un color específico o cromados, y en otros componentes con funciones menos criticas dentro del compartimiento del motor.

Los plásticos con buena resistencia a la temperatura incluyen al acetal, nylon, y nylon reforzado con fibra de vidrio, estos productos están en muchas áreas críticas, algunos se usan en el motor, en la transmisión, sistemas de enfriamiento, y sistemas de control de emisiones donde la dureza, resistencia a la abrasión y una larga vida son requeridas en temperaturas de 93°C hasta 150°C o más. También son usados en áreas donde se requieran otras propiedades como buena resistencia a la fricción, resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga y propiedades eléctricas.

Los materiales más resistentes a altas temperaturas (250° C.), los fluorocarbonos, están presentes en lugares específicos dentro del motor, como sellos de tipo “o’ring”, cojinetes en transmisiones automáticas, retenes de cigüeñales, tapones de tapas de punterías, etc. y en el futuro aumentaran sus usos en los convertidores catalíticos, que es donde se requieren materiales muy resistentes a las altas temperaturas.

Las normas de seguridad y de contaminación seguirán agregando partes y sistemas cuyo peso se añadirá al de los vehículos, con la necesidad de remover peso de otros componentes para ayudar a la economía de combustible.

Los sistemas anticontaminantes seguirán agregando, en muchos casos, incrementos en las temperaturas de trabajo de las partes, por lo que se necesitaran materiales plásticos más resistentes a estas temperaturas. En el motor cada vez se generan mayores temperaturas por lo que se usarán nylons reforzados y flourocarbonos.

Esta demanda de mayores prestaciones hará que los materiales sean cada vez mejores y tengan un mayor desempeño, por mayores períodos de vida, y las pruebas serán más rigurosas para soportar dichos requerimientos, lo que nos lleva a mayores resistencias en las partes exteriores de los autos, que serán dados gracias a la presión gubernamental y de las compañías de seguros, sobre las leyes o normas de seguridad. Por ejemplo: las defensas que son resistentes a impactos a determinadas velocidades son producto de una regulación de este tipo. Los frentes y las partes posteriores, así como los laterales, tienen que ser suaves para que se colapsen en caso de choque y tener ciertas características de absorción de impactos, para estos diseños se utilizan los elastomeros termoplásticos, como poliuretanos termoplásticos, hules termoplásticos, etc.

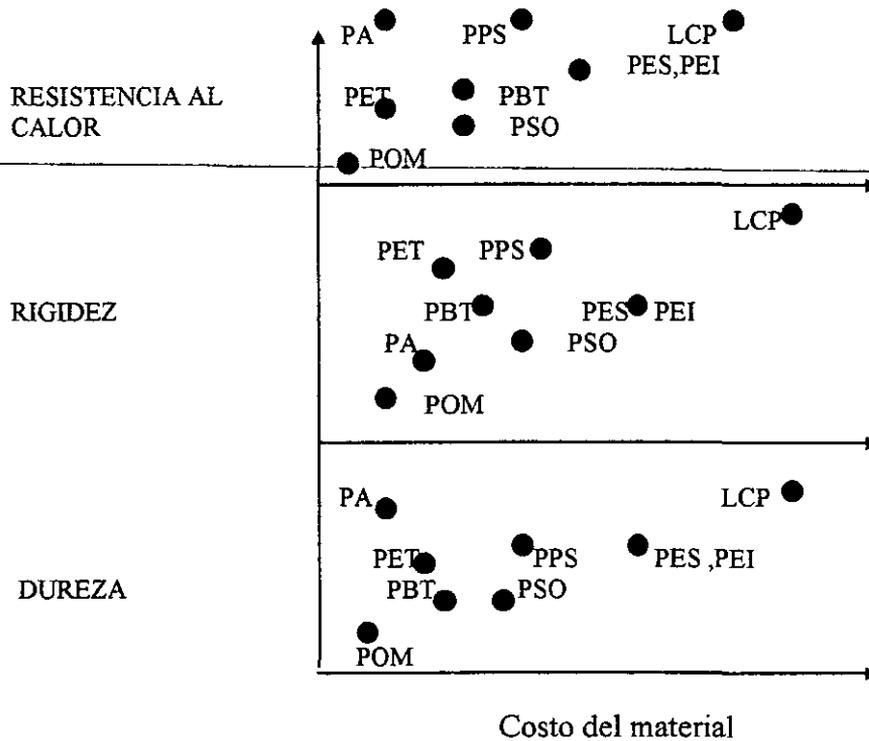
El desarrollo de los polímeros da a los ingenieros y diseñadores las siguientes ventajas para facilitar la producción y reducir costos a los productores de la industria automotriz:

- * Menor peso vs. Metales.
- * Opciones de proceso que reducen o eliminan operaciones de acabado.
- * Diseño multi-funcional para reducir manufactura y costos de ensamble.
- * Mejorar las opciones de diseño para ayudar con aerodinámica.

- * Mejores propiedades que ofrecen alta calidad y durabilidad en productos terminados.

Las resinas de ingeniería tienen un gran rango de desempeño en cuanto a propiedades, en la figura 1.1 vemos estos rangos.

Gráfica de propiedades de desempeño



Adaptada de Modern Plastics Encyclopedia, Mid-December 1992. Ver acrónimos de plásticos en el glosario de términos en el anexo.

FIGURA 1.3

Se puede explicar mediante un diagrama de flujo el proceso de sustitución de metales por plásticos, cabe mencionar que las grandes empresas de la industria del plástico, como por ejemplo Dupont, Celanese, Allied Signal, Monsanto, Basf, Bayer; cuentan con un gran equipo de apoyo técnico y un departamento de diseño, así como laboratorios de pruebas y otras aplicaciones que ayudan en el proceso de sustitución.

Diagrama de flujo de sustitución de metales a plásticos.

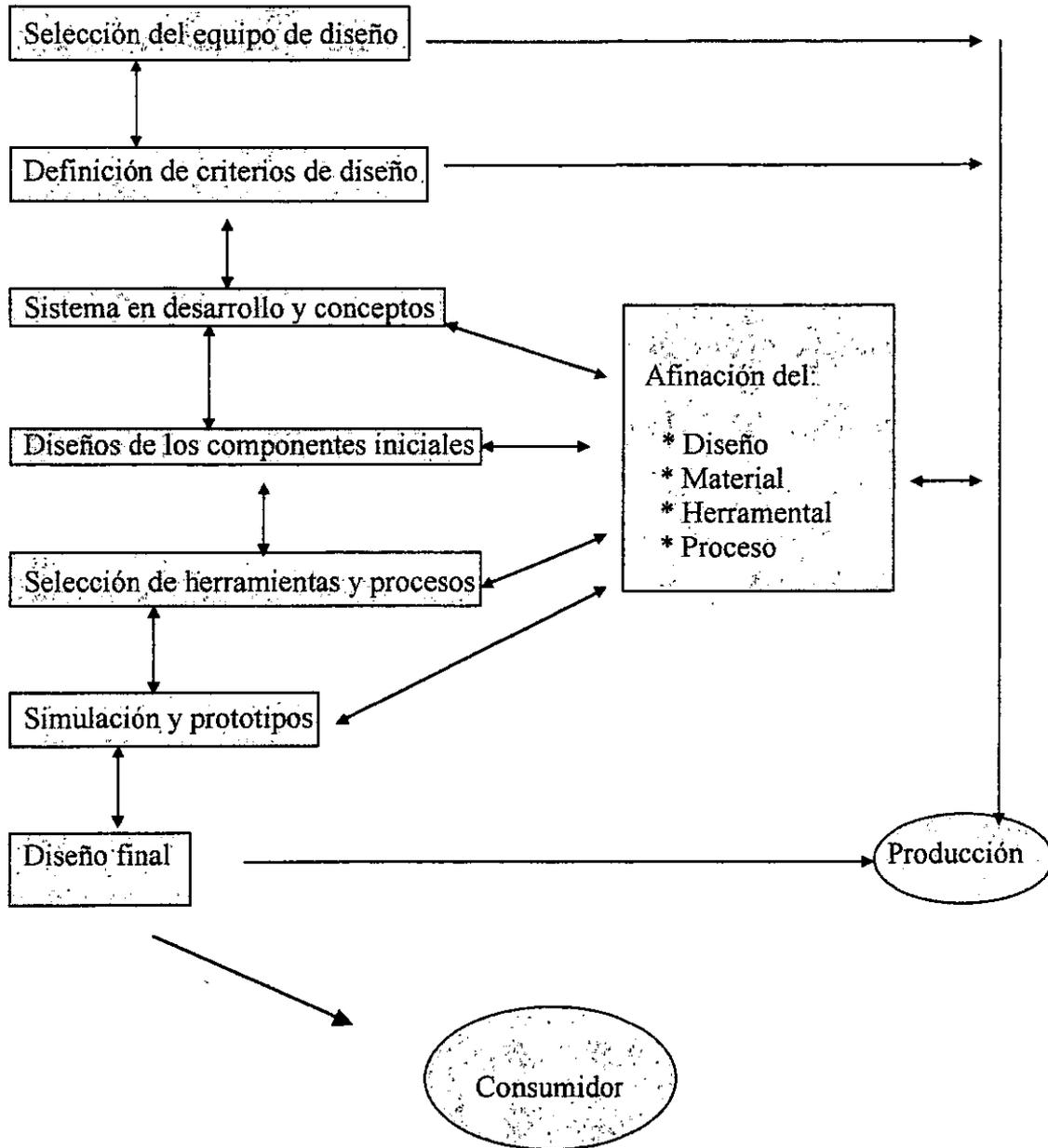


FIGURA 1.2

Como parte final de este capítulo se muestra la tabla 1.2 de algunas clases de plásticos con algunas características específicas.

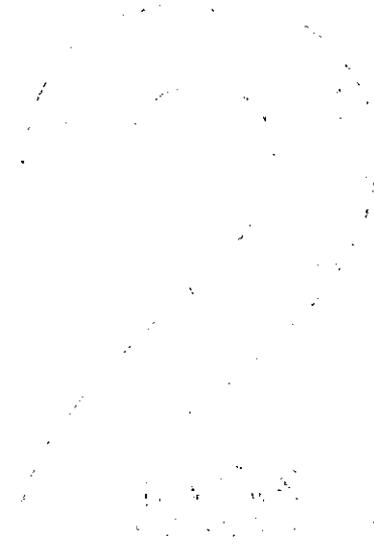
Propiedades representativas^a

	Gravedad especifica	Resistencia a la flexión kg/cm ²	Resistencia al Impacto Izod kgf	Temperatura de flexión ° C.
TERMOFIJOS				
Poliester alkid	1.2	140	0.3	26
Epoxy, uso general	1.25	1120	0.6	176
Fenoles, uso general	1.5	700	0.3	188
Urea formaldehido	1.5	700	0.3	132
TERMOPLÁSTICOS				
* bajos				
Polietileno baja densidad	0.92	1120	No se rompe	38
Polipropileno	0.90	490	0.8	54
Poliestireno cristal	1.05	840	0.4	82
PVC, grado tubo	1.3	910	1.0	68
* Intermedios				
Polimetil metacrilato	1.18	980	0.4	82
ABS	0.7	770	4	110
Celulosa acetato butirato	1.18	280	3	66
Elastómero olefina	0.93	350	No se rompe	
* Ingeniería				
Acetal copolimero	1.41	910	1.4	110
Nylon 6/6, 30% fibra vidrio	1.3	2100	3	249
Policarbonato	1.2	945	5	132
Polibutilen tereftalato	1.54	1960	1.7	207
* Alto desempeño				
Polifenileno sulfide 40% fv	1.64	2450	1.6	260
Polimero cristal liq; 30% fv	1.61	2590	2.8	232
Politetrafluoroetileno	2.17	1190	3	38
Polieterketona	1.3	1120	1.6	160
Polietersulfona	1.42	1260	1.4	202

^a Todas las propiedades tienen sus rangos, dependiendo de su grado y sus modificadores, los valores típicos son los mostrados. Modern Plastics Encyclopedia, Mid-december 1992.

TABLA 1.2

NYLON



CAPITULO

Wallace Hume Carothers, director de la estación experimental de Dupont en Wilmington, descubrió el nylon (llamado así debido a que se descubrió simultáneamente en New York y Londres) un polímero compuesto de fibras sintéticas de amidas poliméricas con una proteína de estructura química derivada del carbón, aire y agua. El cual tiene como característica su extrema dureza, su alta resistencia a la tracción y la habilidad de ser formado en fibras de varias formas. La invención del nylon por Dupont en los años 30's y su introducción en 1938, fue un gran avance en la química de los polímeros.

El nylon debuta en la feria mundial en Nueva York en 1939, y fue manufacturado como una resina de moldeo para uso industrial. Los experimentos utilizando nylon lubricado para cojinetes para la industria automotriz comenzaron rápidamente.

Los esfuerzos en su desarrollo fueron interrumpidos durante la segunda guerra mundial, algunas aplicaciones muy específicas fueron adoptadas durante este periodo, aunque después de la guerra continuaron los esfuerzos para seguir el desarrollo del material.

La mayoría de las aplicaciones del nylon después de los años 40's y hasta principios de los años 60's estaban encaminadas a componentes menos críticos como, varillas de válvulas, clips para cables, cojinetes, bujes, carcasas de interruptores y sistemas limpiaparabrisas.

Debido a que los ingenieros automotrices no estaban familiarizados con los plásticos, ellos usaban los metales siempre que fuera posible. Cuando el nylon era usado, se utilizaba en algunos automóviles y no en toda la línea de producción o como equipo original de manufactura (OEM; original equipment manufacturer).

Gracias a sus propiedades mecánicas superiores y especialmente a su resistencia a altas temperaturas, el nylon fue conocido como el primer "termoplástico de ingeniería". Estas propiedades son el resultado del grado de cristalinidad (35% - 40%) y de los puentes de hidrógeno entre las cadenas del polímero. Los nylons son resinas de aplicación general y de moldeo de inyección por calor estabilizadas grado 6/6, tipo poliamidas, producidas en un proceso continuo de una sal llamada diamina y un ácido dibásico. Generalmente el nylon se obtiene de un ácido de seis carbonos y una diamina de seis carbonos, de aquí su nombre de nylon 6/6.

La introducción de mineral de alto desempeño y la fibra de vidrio en el nylon, cambiaron todo; existen dos tipos de fibra de vidrio, una corta y una larga, la fibra corta se utiliza en la inyección y la larga en la extrusión. Proyectos experimentales de pruebas en aplicaciones de radiadores y componentes del sistema de combustible durante la década de 1960; demostraron la capacidad del nylon a resistir altas temperaturas y ataques químicos, iniciándose así el largo camino para considerar al nylon bajo el cofre.

Dupont introdujo la fibra de vidrio como refuerzo en el nylon en 1968, para aumentar su impresionante lista de propiedades. Este aumento de tecnología nos llevo a innovaciones bajo el cofre como lo son los motores flexibles de enfriamiento, rondanas y guías de resortes de transmisiones, y soportes de filtros de aire, incluyendo deflectores de varillas de válvulas, los cuales requerían resistir aceite y temperaturas de hasta 160° C.

Los ingenieros siguieron utilizando al nylon para sistemas de control mecánico, neumático y eléctrico, muchos de los cuales tenían contacto con temperaturas de 160° C. las aplicaciones principales incluían terminales de chicotes de aceleración, retardadores de nivel, cables de cambios y fundas de chicotes para abrir cofres y cajuelas.

Los ingenieros y diseñadores empezaron a utilizar el nylon, para satisfacer sus necesidades en componentes críticos de sistemas anticontaminantes, de los cuales la mayoría eran de alto costo y compleja manufactura en metales, algunas aplicaciones eran: carcazas de canister de carbón activado, tubería del sistema, asientos de inyectores, guías, válvulas y tubería del sistema de vacío, relevadores térmicos y válvulas de ventilación positiva del cárter.

El gobierno norteamericano en 1970 mandó incrementar la eficiencia del combustible, lo cual llevó a los ingenieros a reducir el tamaño y el peso de los vehículos, sus partes del motor y sus componentes internos. El mismo año las regulaciones gubernamentales pedían a las compañías productoras de autos la instalación de equipos de control de contaminación (anticontaminantes).

La libertad de diseño que permitía el nylon, aceptado para su uso en componentes de combustible y de altas temperaturas, hizo posible que estos cambios fueran posibles reduciendo sobre todo los costos.

En la década de 1980 los ingenieros automotrices empezaron a utilizar al nylon como un material clave para ciertas aplicaciones específicas, por lo que el nylon fue denominado tecnología en el control de emisiones, y eficiencia de combustible.

El nylon es el termoplástico de ingeniería de mayor consumo mundial (45% del total), y cerca del 35% del consumo total de los Estados Unidos.¹ Se piensa que aumentará su consumo en un 8% en los Estados Unidos y 12% en México, anualmente hasta el año 2000.¹

Existe una razón principal por la que el nylon ocupa esta envidiable posición sobre los otros plásticos de ingeniería (Policarbonato, Oxido de Polifenileno, y Poliacetal): la combinación balanceada de propiedades de alta resistencia a la flexión, rigidez, su resistencia al impacto, resistencia a los agentes químicos, y su habilidad de autolubricación que resultan en beneficios directos de costo-comportamiento.

El uso del nylon no sólo reduce peso y costo, sino que aumenta el desempeño de los componentes de sistemas anticontaminantes. Los asientos de válvulas y varillas se integran durante el moldeo, eliminando así operaciones secundarias de ensamble.

Los diseñadores encontraron los beneficios del nylon al implementar los sistemas de autosujeción "snap-fit". Con el alto nivel de confiabilidad del nylon los ingenieros empezaron a utilizarlo más en todos los autos, modelos y líneas de producción así como en OEM's.

¹Automotive Engineering, December 1996 pags. 84-89

Los pioneros en este desarrollo fueron los europeos, donde los vehículos son muy pequeños, el petróleo es más costoso, y el control de emisiones es muy innovador.

Las aplicaciones comerciales de plástico en múltiples de admisión, tanques de reserva de líquido de frenos y dirección hidráulica, tapas de radiador y tapas de tanque de gasolina son algunos ejemplos de piezas fabricadas en nylon a principios de 1970 por compañías de autos europeos como BMW, Fiat y Peugeot.

En los años 90, General Motors, AC Rochester, y Dupont Automotriz, comercializaron el primer lote a gran escala de múltiples de admisión en USA. Un adaptador de interfases del sistema de recirculación de gases de escape, juntas, válvulas PCV y fuentes de vacío fueron incorporadas en el diseño y las piezas completas fueron moldeadas en nylon Zytel de Dupont.

La innovación de dichas interfases, las cuales reduce las altas temperaturas del EGR (Exhaust Gas Recirculation) manejadas por el múltiple de admisión elaborado en nylon fueron las piezas claves para la introducción de este material de Dupont. Sin esta innovación, los múltiples de aire plásticos no hubieran sido posibles en muchas aplicaciones norteamericanas.

El múltiple de admisión del Neón Dodge 2.0 litros, es fabricado en nylon Zytel 6/6, con una masa de 1.3 kg en comparación con el múltiple original de aluminio el cual pesaba 5.5 kg el de plástico incremento la potencia del motor en un 2%.

Los múltiples de plástico tienen la característica de reducir las emisiones y proveen un beneficio adicional al medio ambiente. Un estudio independiente realizado en la Universidad de Stuttgart en Alemania en 1992; confirma que los múltiples de plástico reducen significativamente el dióxido de carbono y las emisiones del óxido de nitrógeno; las cuales contribuyen al calentamiento global y la lluvia ácida.

Con un múltiple de admisión de nylon también se reduce el consumo de gasolina, y los sistemas de EGR implementan un mejor desempeño del motor en frío y en caliente; finalmente la baja conductividad térmica de los múltiples de plástico provee aire más denso para un mejor desempeño del motor.

Las ganancias obtenidas en costo y peso rápidamente llevaron a sustituir por plástico al metal; durante este proceso muchos ingenieros encontraron adicionalmente beneficios sorpresa en la estética del nylon, en la adaptabilidad del diseño, su gran manufacturabilidad y virtualmente opciones ilimitadas para crear partes integrales.

Estos beneficios coinciden con los cambios de diseño para reducir el tamaño del vehículo, a fin de obtener mejor economía de combustible sin sacrificar el desempeño. Los supercargadores y turbocargadores en los años 80 y 90, los cuales aumentaban el desempeño de los motores con pequeños componentes, crearon estos cambios logísticos; como piezas de rompecabezas en tercera dimensión, las piezas de un motor eran desarmadas y reordenadas.

Aquí la flexibilidad del nylon ayudó a solucionar el problema, desde resonadores de aire y copolímeros en tanques de gasolina con complicadas formas, hasta piezas electrónicas y eléctricas, las cuales tuvieron que ser expuestas en áreas donde había calor y frío. Con los plásticos de ingeniería especialmente el nylon, los ingenieros empezaron a realizar muchas innovaciones en el diseño de vehículos.

Los termoplásticos encontraron otra aplicación en las tapas de punterías, después de varios años de prueba, en los años 90 hubo grandes cambios y varias sorpresas al descubrir que aunadas a sus otras propiedades el nylon tenía la capacidad de absorber ruidos y en 1992 Rover (compañía de autos, Europea), decide utilizar esta característica en sus vehículos; utilizando al nylon Zytel en sus motores.

El indiscutible beneficio de usar nylon en aplicaciones motrices, nos lleva a que los expertos intuyan que al menos el 80% de la producción de múltiples de admisión sea de nylon al fin de siglo. Las nuevas facilidades en el moldeo confirman que la industria sé esta moviendo en esa dirección.

Las compañías productoras de autos involucran el uso en mayor escala de termoplásticos resistentes a altas temperaturas, para proteger equipo sensible electrónico o eléctrico.

En 1994 Dupont introdujo el Zytel HTN (High Temperature Nylon) en el mercado automotor, aun en su etapa de desarrollo los objetivos de su aplicación pueden incluir cubiertas de bombas de agua, rondanas de sello, cubiertas de tapas de punterías, válvulas y cubiertas de transmisión, así como, sensores, relevadores, interruptores, engranes y bobinas.

Manteniendo los ojos en el futuro, Dupont capturó la atención del mercado en 1995 con un intercambiador de calor hecho de Zytel, mostrando que la versatilidad del material es excelente en otra aplicación tradicional del metal.

El análisis realizado por la industria automotriz nos lleva a creer que el campo en mayor desarrollo será para múltiples de admisión, y se prevé que el uso del nylon dentro del motor será de 5.03 kg. en el año 2000 y de 6.55 kg. para 2005.²

El camino del nylon en aplicaciones motrices fue muy largo desde sus inicios, pero hoy en día no queda duda de su alto desempeño, por lo que se pronostica que el uso del nylon dentro de un motor sigue y seguirá creciendo conforme pase el tiempo. Lo que nos lleva a que se irán descubriendo diferentes materiales con características muy específicas que irán sustituyendo al metal por plásticos de ingeniería.

De los tipos mas comunes de nylon disponibles (nylon 6/6, nylon 6, nylon 6/12), el nylon 6/6 tiene el mayor punto de fusión, la mayor resistencia a la tracción, el mayor módulo de flexión, y la mejor resistencia al escurrimiento.

²Automotive Engineering, December, 1996 pags 84-89

El nylon 6/6 tiene la característica de ser autoextinguible, por lo que se utiliza ampliamente en aplicaciones eléctricas y electrónicas.

El nylon estándar se degrada por la luz ultravioleta y por lo tanto tiene una resistencia pobre al intemperismo. Debido a esto no se recomienda su uso para aplicaciones expuestas directamente sobre la luz solar, sin embargo, se pueden agregar modificadores y aditivos para que puedan trabajar en estos ambientes, se agrega negro de humo finamente dividido para prevenir la penetración de la luz ultravioleta.

La limitación mayor del nylon es el hecho que absorbe humedad expuesto a la intemperie, es decir, es un material higroscópico. Por ejemplo, el nylon 6/6 absorberá aproximadamente 2.5% de agua a 50% de humedad relativa.

Pero al mismo tiempo se beneficia de esta característica al aumentar sus niveles de resistencia al impacto como resultado de la absorción de humedad.

El nylon puede ser fácilmente modificado, de hecho esta característica es una de las grandes ventajas que se han aprovechado para su crecimiento en la industria automotriz.

Existen 3 tipos principales de modificadores de nylon: Moleculares, Aditivos y Refuerzos.

Las modificaciones moleculares del nylon se llevan a cabo por la polimerización de un tercer monómero, el cual, generalmente produce una resina con propiedades diferentes al polímero básico. Los copolímeros son menos cristalinos, tienen menores puntos de fusión, menor resistencia a la tensión y rigidez, así como a los agentes químicos y a la flama, pero por el contrario aumentan su resistencia al impacto (ductilidad) y transparencia.

Los modificadores del nylon generalmente no involucran más del 1% de aditivos, con lo que se obtienen numerosos grados necesarios para cumplir las demandas cada vez más exigentes de los moldeadores.

Los lubricantes son necesarios en todos los grados de nylon de grado moldeo para obtener una fácil expulsión del molde y un buen flujo para operaciones de alta productividad, cada día más demandadas por los consumidores, también es importante decir que los lubricantes son necesarios para una mayor eficiencia en la alimentación de husillo.

El control de la estructura microcristalina del nylon puede ser modificada por la adición de pequeñas estructuras cristalinas, que nos darán como resultado, mayor resistencia a la tensión y rigidez, menor contracción en el molde, menor velocidad de absorción de humedad y mayor opacidad a la luz, pero como desventaja su resistencia al impacto disminuye.

El nylon resalta por su alta eficiencia al ser reforzado, ya sea por medio de fibra de vidrio o por medio del uso de partículas minerales. La razón del eficiente incremento de las propiedades estructurales a través de refuerzos es debido a la presencia de unidades repetidas de grupos amida altamente reactivos dentro del nylon, los cuales permiten un fácil acoplamiento cuando se emplean agentes tales como silanos aminofuncionales o titanatos.

Generalmente se utilizan refuerzos de fibra de vidrio en un 33% a un 43% en el nylon 6/6, obteniendo como resultado una resistencia a la tensión de más de 2409 kg/cm² y un modulo de flexión de hasta 124,100 kg/cm². Además, la contracción de estos materiales puede ser tan baja como 0.762 mm; comparada con un 15-20 % para nylon sin reforzar, resultando en un incremento sustancial en estabilidad dimensional a la humedad y elevadas temperaturas.

En el anexo de fichas técnicas se encuentran tablas de propiedades de algunos tipos de nylon comerciales, sin embargo, en las tablas 2.1 y 2.2 se muestran algunas propiedades de nylon comunes.

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL NYLON

	NYLON 6/6	NYLON 6	NYLON 6/9	NYLON 6/12	NYLON 12
Tensión al cede, kg/cm ²	876	861	744	642	620
Elongación ruptura, %	73	200	50	150	300
Módulo flexión, kg/cm ²	29,200	28,835	24,455	21,170	12,045
Imp. Izod, kgf.	1	1.1	0.7	1	2
Dureza Rockwell R.	120	120	61	114	105
HTD a 264 kg/cm ² , °C	17	14	12	12	10
HTD a 66 kg/cm ² , °C	17	14	12	12	10

Valores de propiedades "seco como se moldeo"
Resumido de Celanese nylon 6/6, Hoestch Celanese NY-1^A.

TABLA 2.1

PROPIEDADES DE NYLON 6/6 REFORZADO

	NINGUNO	40% CAOLÍN	50% MICA	43% FIBRA VIDRIO
Tensión al cede, kg/cm ²	876	1022	1007	2190
Elongación ruptura, %	80	90	50	2
Módulo flexión, kg/cm ²	29,200	63,510	138,700	116,800
DTUL a 262 kg/cm ² , °C	65	14	16	18
% Vol. De refuerzo	0	23	29	26

Valores de propiedades "seco como se moldeo"
Resumido de ZYTEL & MINLON, Modulo II, Dupont.

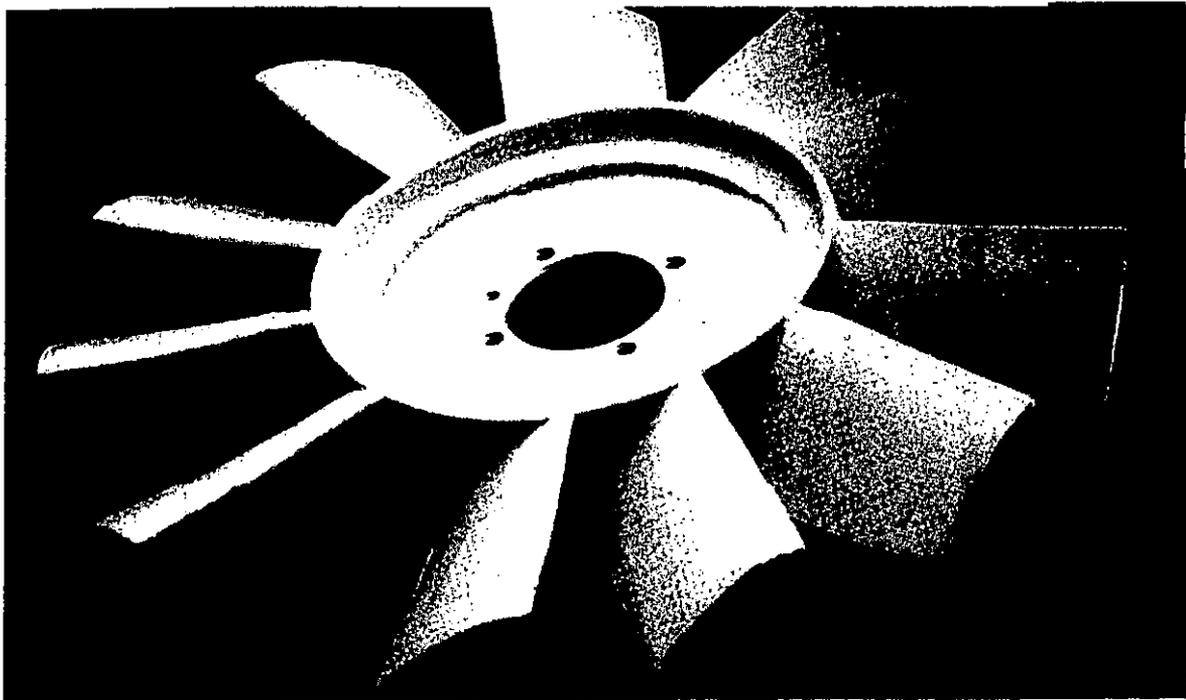
TABLA 2.2

Los altos niveles de resistencia de estas resinas, combinadas con su alta dureza, resistencia a la abrasión y resistencia a la ataque químico, las hacen materiales ideales para cubrir las aplicaciones de ingeniería.

Los ingenieros han encontrado que estas resinas son candidatas ideales para el reemplazo de piezas de metal, produciendo una gran reducción de peso, buena resistencia a la corrosión, cualidades de autolubricación y coloración a costos substanciales bajos, frecuentemente se eliminan operaciones secundarias de acabado, en comparación de metales. Gracias a su versatilidad, moldeabilidad y resistencia a las altas temperaturas, así como a los ataques químicos, el nylon 6/6 es el termoplástico de ingeniería más utilizado en la industria automotriz. El nylon 6/6 tiene propiedades que lo hacen el ideal para aplicaciones en el compartimiento del motor.

En 1960 del total del peso de un automóvil solamente se usaban 200 gramos de nylon, en 1995 un automóvil incluye cerca de 4 kilogramos de nylon solamente en el compartimiento del motor, sin tomar en cuenta el resto del vehículo. Con una producción anual de 12 millones de vehículos, se tienen más de 45 millones de kg de nylon debajo de los cofres de los vehículos modelo 1995.³

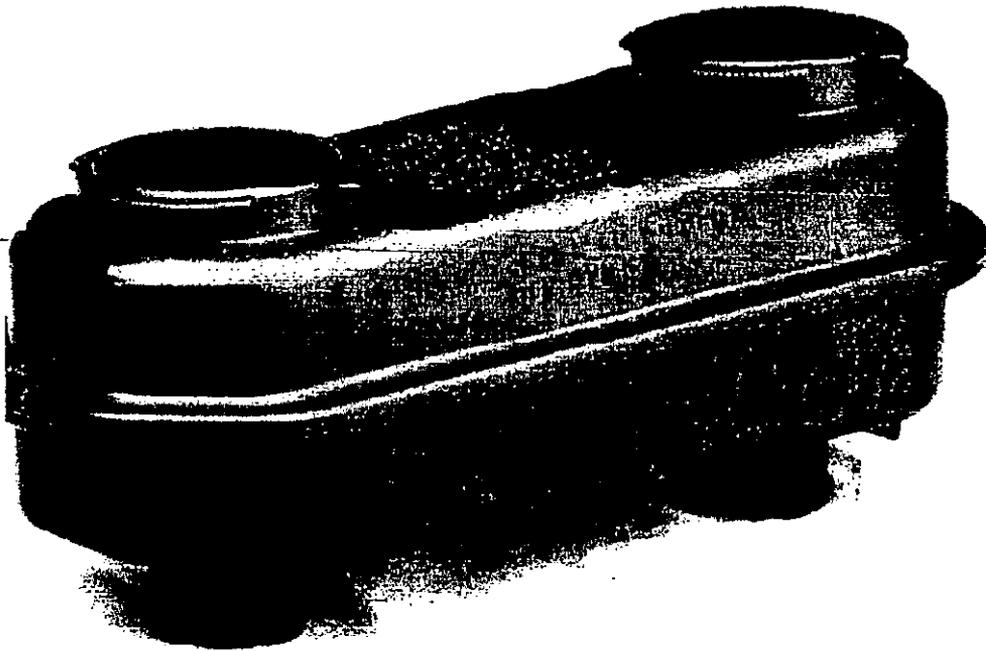
Las siguientes figuras muestran algunas piezas moldeadas con nylon, la mayoría de estas se encuentran localizadas dentro del compartimiento del motor:



Aspas de ventilador, 1972.

FIGURA 2.1

³ Automotive Engineering , December 1996 , pags 84-89



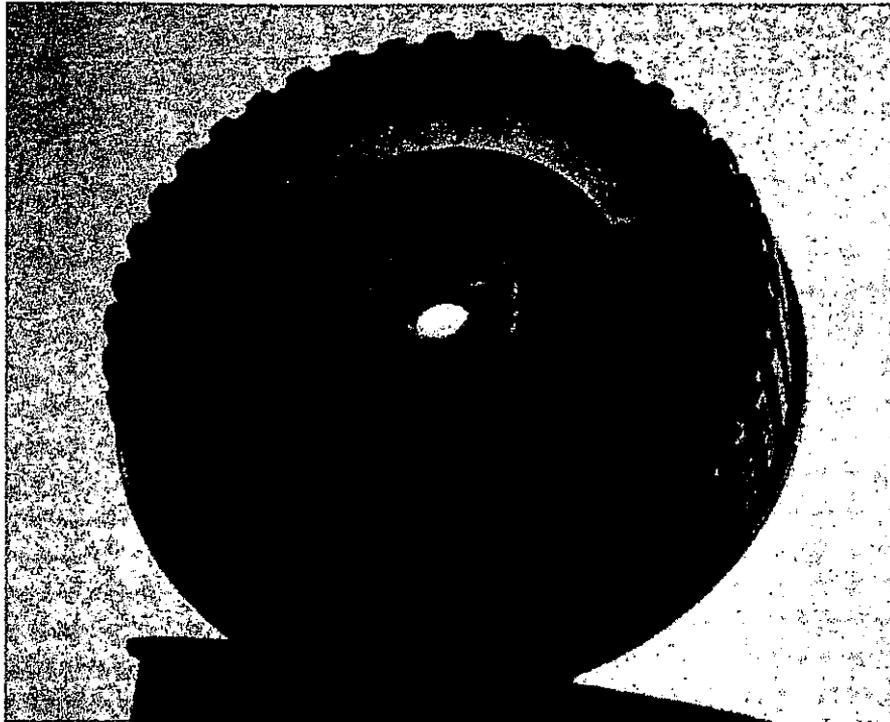
Deposito de liquido de frenos, 1978.

FIGURA 2.2



Tapa de punterías

FIGURA 2.3



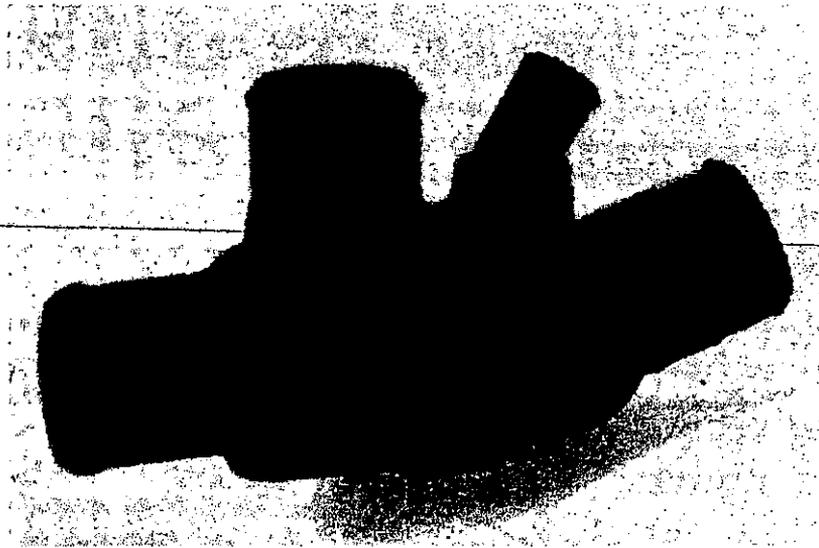
Engrane de distribución.

FIGURA 2.4



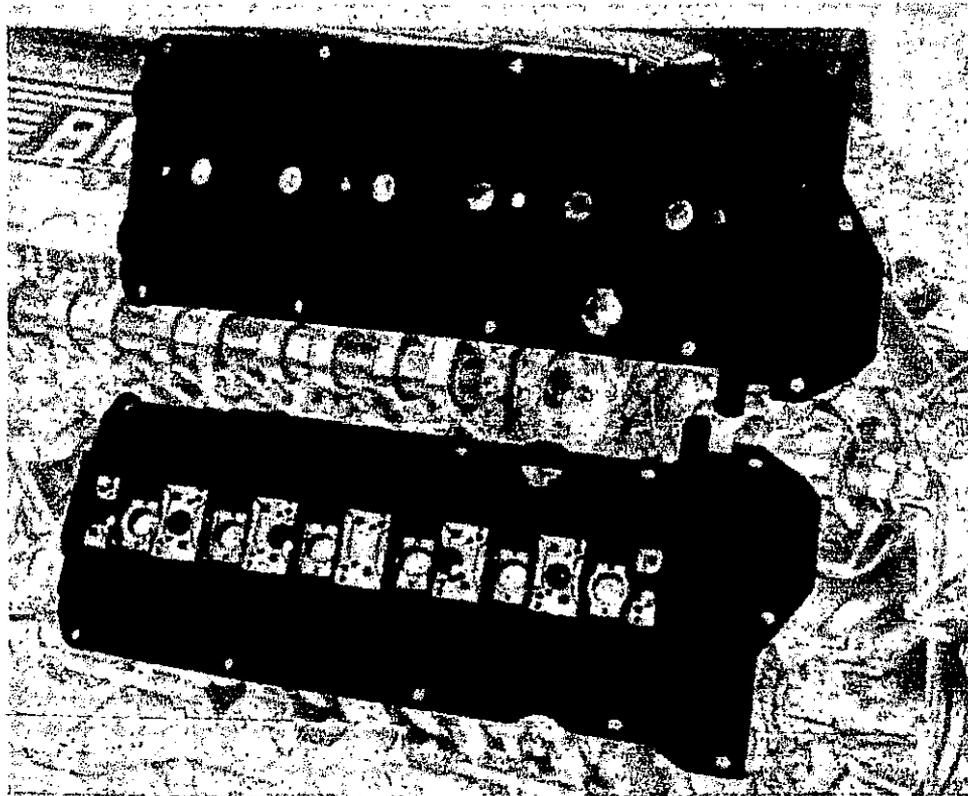
Múltiple de admisión completo

FIGURA 2.5



Caja de termostato

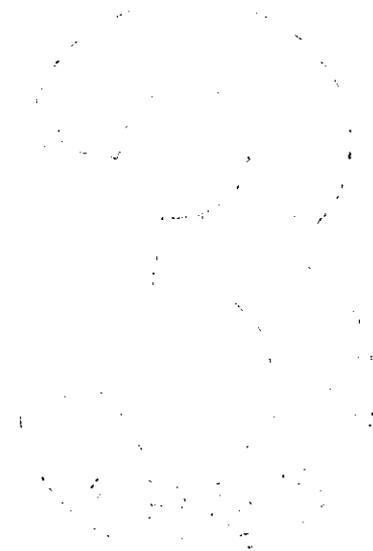
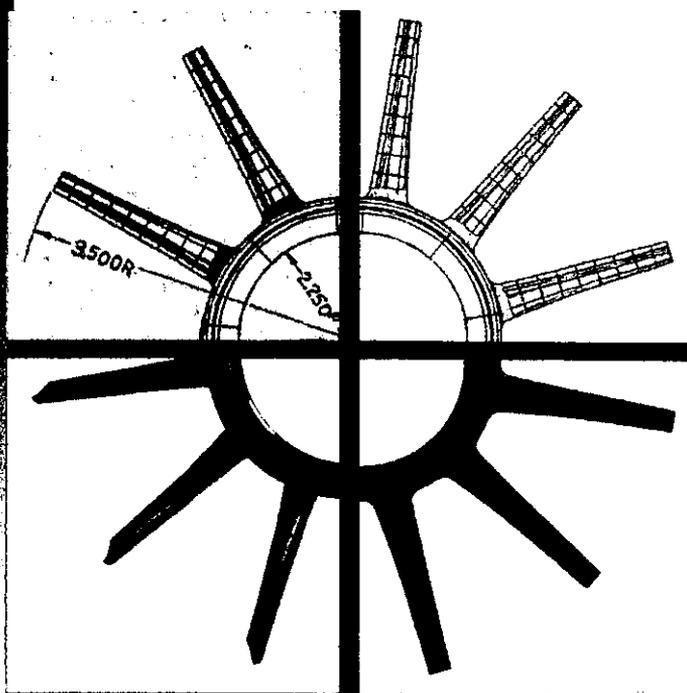
FIGURA 2.6



Cubierta de balancines BMW

FIGURA 2.7

CRITERIOS EN EL DISEÑO DE PIEZAS BAJO EL COFRE



El uso de plásticos en lugar de metales ha ayudado a muchos fabricantes a aumentar los márgenes de beneficio y bajar los costos. Dichos productores están buscando que el cambio también produzca nuevos productos, que se integren más rápidamente al mercado, reduzcan los costos de ensamble final y ofrezcan varias partes en un solo proceso más económico. Más adelante se muestran los pasos y requerimientos que conducen a una eficiente y exitosa conversión a plásticos, revisando el proceso de diseño de reemplazo del metal desde el inicio hasta la producción de la pieza en plástico. Existen algunos aspectos importantes como el seleccionar al equipo de diseño, las consideraciones claves en el concepto de diseño, especificaciones de resinas, diseño de partes y herramientas. para el molde, fabricación, diseño inicial de partes, y prototipos. Se hace principal énfasis en el moldeo por inyección debido a que es el método más usado en el reemplazo de metales.

Los plásticos compiten efectivamente con los metales debido a que ofrecen la ventaja de eliminar costosas operaciones secundarias de acabados y proveen una mayor flexibilidad en el diseño. Todas estos rendimientos consolidan las partes y reducen el tiempo de producción.

Algunos Beneficios de los plásticos:

1. Mayor libertad de diseño, por ejemplo: partes más complejas.
2. Mayor facilidad de unión de piezas.
3. Menores operaciones en el ensamble.
4. Reducción de operaciones secundarias de acabado, por ejemplo: maquinados.
5. Reducción de peso.
6. Amplio rango de propiedades encaminadas a aplicaciones específicas.
7. Resistencia a temperaturas de hasta 250° C.
8. Resistencia a la mayoría de los químicos y los medios corrosivos.

Como resultado, el uso de los plásticos en el reemplazo de metales se ha convertido en una estrategia esencial en algunos mercados como son:

Automotriz: Los plásticos reducen peso, resisten la corrosión de combustibles alternos donde los metales no lo hacen, y ahorran costos en el ensamble de sistemas complejos de varias partes. Estos beneficios se han extendido hacia la producción de automóviles, camiones, tractores, máquinas diesel marinas, vehículos recreativos, así como también en pequeños motores como podadoras y generadores eléctricos.

Aplicaciones médicas: Los plásticos rápidamente están reemplazando al acero inoxidable y otros metales en instrumentos de alto costo y equipos para usos múltiples de cirugía. La flexibilidad de las aleaciones de los plásticos crea un nuevo mercado que crece rápidamente en este mercado.

Con este gran potencial en el reemplazo de metales, los plásticos están limitados a solo el 15% de su capacidad de sustitución. Particularmente en aquellas nuevas resinas de alto desempeño, que se incrementan día a día con la tecnología y los nuevos sistemas de diseño e ingeniería asistidos por computadora.

Estos productos y sistemas habilitan a los ingenieros a visualizar y diseñar partes más complejas, moldes y herramientas que trabajan más eficiente y rápidamente que antes.

La selección de materiales, diseño de partes, diseño de herramientas y procesos de fabricación son muy importantes en el diseño de productos. Estas áreas deben ser constantemente evaluadas como un componente que envuelve desde el inicio hasta la parte final: la producción. Todas ellas deben de estar interconectadas entre sí para poder trabajar correctamente y que cada una este involucrada en todo el proceso.

En la sustitución de metales se comienza por evaluar los factores que nos llevan a modificar el método original de fabricación, como es la manufactura, el ensamble, su función y el medio de trabajo.

Decisiones sobre componentes específicos se desprenden de estos conceptos, especialmente los preliminares en los materiales, diseño de partes, herramientas y procesos.

Sin embargo, los plásticos pueden ser catalogados para cubrir cierto rango de aplicaciones, y no todos trabajan en todas las situaciones. Uno debe de conocer los requerimientos desde el proceso de diseño para seleccionar el material adecuado.

Diseñar con plásticos requiere mucho cuidado porque hay muchas resinas y sus características son críticas en el desempeño del producto. Para satisfacer este y otros factores, el diseño debe de involucrarse dentro del contexto lo mejor posible. Primero evalúa las necesidades del sistema como un todo y no como piezas separadas. Este acercamiento ayuda a crear oportunidades para la consolidación de las partes. Después se definen todos los aspectos del sistema bajo desarrollo, incluyendo los siguientes: mecánicos, de medio ambiente, térmicos, eléctricos, de apariencia, de ensamblado y consideraciones de acabado.

FACTORES CLAVES EN EL REEMPLAZO DE METALES.

1. Prestar atención especial a los factores que puedan ser críticos al sistema y sus componentes, no solo durante su uso final, si no también durante su fabricación y ensamble.
2. Diferenciar lo que queremos de lo que necesitamos, por ejemplo: las propiedades esenciales de las deseables. Dar mayor peso a la información en el proceso de diseño nos lleva a que la selección de materiales sea más eficiente.
3. Definir los requerimientos claves para la aplicación, por ejemplo: temperaturas máximas y mínimas, tolerancias, cargas máximas y deformaciones, dimensiones críticas, color y flamabilidad.
4. Tener cuidado de realizar el reemplazo uno a uno. La sustitución directa de metales por plásticos raramente funciona, debido a que los plásticos tienen diferentes propiedades, estas diferencias afectan a las características del diseño como son el espesor de pared, costillas, radios de intersección de superficies, agujeros y depresiones.

5. Diseñar las características deseadas cerca de las características funcionales. Esto puede ayudar en la combinación de las partes, lo que generalmente elimina operaciones de fabricación y operaciones de ensamblado, reducen peso, mejora la integridad estructural y se reducen costos.
6. Optimizar los valores de costo-desempeño por medio del uso mínimo de material plástico sin afectar las demandas estructurales, funcionales, de moldeabilidad y económicas.
7. Factores de manufactura, mantenimiento, ensamble y desensamble en el diseño para la reducción de costos de labor, herramental, acabados y otras áreas.
8. Revisar constantemente el diseño, la selección del material y la toma de decisiones, nos ayuda a refinar continuamente todo el proceso.

SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DISEÑO

En el reemplazo de metales por plásticos, un equipo eficiente ayuda a hacerle frente de mejor manera a todos los obstáculos. Cuando en el equipo existe sinergia¹ el proceso puede ser más eficaz por medio del ciclo de diseño, reduciendo costos e implementando calidad.

El equipo interno generalmente contiene de 4 a 6 personas. Dependiendo del tipo de producto, puede incluir representantes de producción, diseño, ingeniería, investigación y desarrollo, ventas, publicidad, compras y control de calidad. Este equipo es el inicio del programa, y debe mantenerse intacto hasta que el esfuerzo de diseño sea completado, de esta manera el conocimiento ganado en etapas iniciales de diseño no se perderá posteriormente.

El equipo externo consiste en aquellos que se involucren durante el proceso, como son los distribuidores de plásticos, consultores externos de diseño, y todos aquellos que sean de áreas específicas, por ejemplo: el moldeador, el tornero, y los proveedores de equipo. Cada persona tiene un papel específico, en donde el equipo interno dirige todas las actividades, define el diseño y los requerimientos de desempeño de la pieza.

Los productores de plásticos proveen de hojas de datos técnicos sobre las propiedades y desempeño de los mismos. Ellos pueden ayudar en etapas preliminares o en detalles de diseño, pruebas de prototipos, fabricación y evaluaciones de preproducción. Los servicios de estos fabricantes incluyen todo desde principios básicos hasta sofisticados análisis de ingeniería. Generalmente ofrecen entrenamiento para ayudar al consumidor a entender mejor a sus materiales y como usarlos eficientemente.

¹ Característica que se observa cuando en un grupo surgen mejores resultados de los esperados.

El constructor de herramientas y el moldero garantizan que la pieza sea fabricada con costos adecuados. El moldero de primera instancia ayuda a determinar que el material plástico y el molde trabajen eficientemente de acuerdo a propósitos específicos.

Los mejores ejemplos en la sustitución de metales generalmente emplean equipos de diseño que combinan sus métodos con un cuidadoso desarrollo y pruebas. Algunas compañías solo se guían por medio de un experto en plásticos, lo que lleva a que solo se escojan algunas conversiones o modificaciones aisladas y generalmente los resultados no son los óptimos.

El equipo debe de escoger una parte de metal para reemplazar una vez que tengan una visión muy clara y objetiva de los plásticos y de muchas piezas candidatas a sustituirse. De ser posible hacer una prueba en un componente seleccionado que trabaje en condiciones de las cuales se tengan la mayoría de las variables controladas y se puedan deducir los resultados esperados, es decir, este ensayo nos da un máximo grado de experiencia a un riesgo mínimo.

ESTRATEGIA DE DISEÑO

El diseño conceptual comienza con consideraciones generales y finalmente llega a requerimientos específicos, comenzando por un entendimiento claro de las necesidades de la aplicación. Este entendimiento guía el desarrollo de todo el concepto de sistema de diseño y la selección de los probables materiales. El siguiente paso involucra conceptos generales de diseño, de materiales, fabricación y herramientas.

Para llevar un producto al mercado rápidamente, el productor debe darse prisa en la conceptualización del diseño y seleccionar un producto específico. Esto puede llevar a escoger una parte inadecuada que nos lleve que el proceso de diseño se ajuste a ella posteriormente, asignando demasiado tiempo en detallar los requerimientos del sistema y seleccionando los conceptos viables de diseño.

El grupo de ventas y mercadotecnia siempre dirigen sus esfuerzos a desarrollar un criterio que cumpla lo que los clientes necesitan. Este grupo trabaja con diseño y con ingenieros para definir los detalles críticos del sistema, componente o partes. Esto puede incluir: como se usa, su apariencia, sus características mecánicas y de medio ambiente, requerimientos gubernamentales y otros detalles durante la manufactura.

Las tolerancias en las partes deben ser consideradas, debido a que se determinará el nivel de precisión para maquinados, equipo de procesamiento y acabados secundarios, así como el desempeño de los materiales. Cuando las tolerancias son muy reducidas, pequeñas variaciones en los pasos de los procesos, como el llenado del molde y el enfriamiento, pueden modificar las dimensiones.

Los diseñadores prepararán la concepción de los componentes basados solamente en los requerimientos esenciales. El equipo evalúa el diseño contra estos requerimientos y selecciona una o más opiniones para futuros desarrollos, después analiza el costo de los componentes preliminares y conceptos de ensamble, así como distintos materiales y opciones de fabricación. Una vez que se tiene el diseño inicial terminado, los costos de

análisis preliminares son redefinidos para incluir el ciclo de moldeo, los materiales usados, los desperdicios, la eficiencia del proceso y otra tantas variables.

Finalmente se llega a la selección del material, maximizando el desempeño del sistema al menor costo posible. En los plásticos deben considerarse muchos factores, incluyendo la resistencia química, que puede causar cuarteaduras, decoloramiento, rupturas e inclusive fundirse, durante su manejo, su ensamble, su acabado o su uso. La selección del material es particularmente difícil debido a que los plásticos ofrecen literalmente 10,000 opciones. Las propiedades de los plásticos, como resistencia al calor, dureza y endurecimiento, pueden abarcar una amplia gama de diferentes plásticos a considerar.

Al diseñar una pieza que posteriormente será inyectada en plástico se recomiendan tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Tratar de diseñar con funcionalidad:

Debido a que los moldes de inyección son costosos, el ingeniero debe diseñar de la manera más funcional posible cada pieza. Esto significa que cada una se acople perfectamente a las demás para obtener un conjunto, eliminando operaciones de ensamble, reduciendo peso y frecuentemente aumentando la integridad estructural de las mismas.

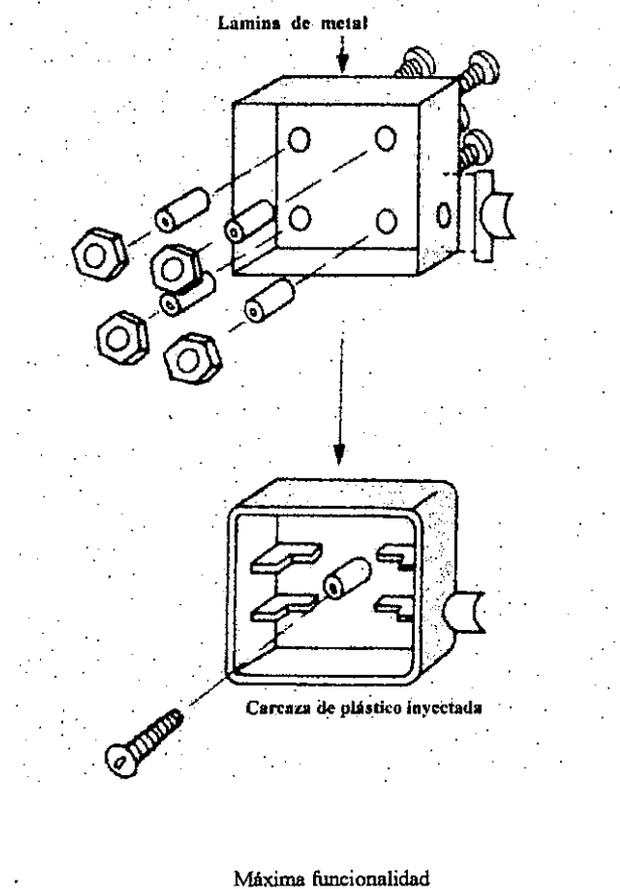


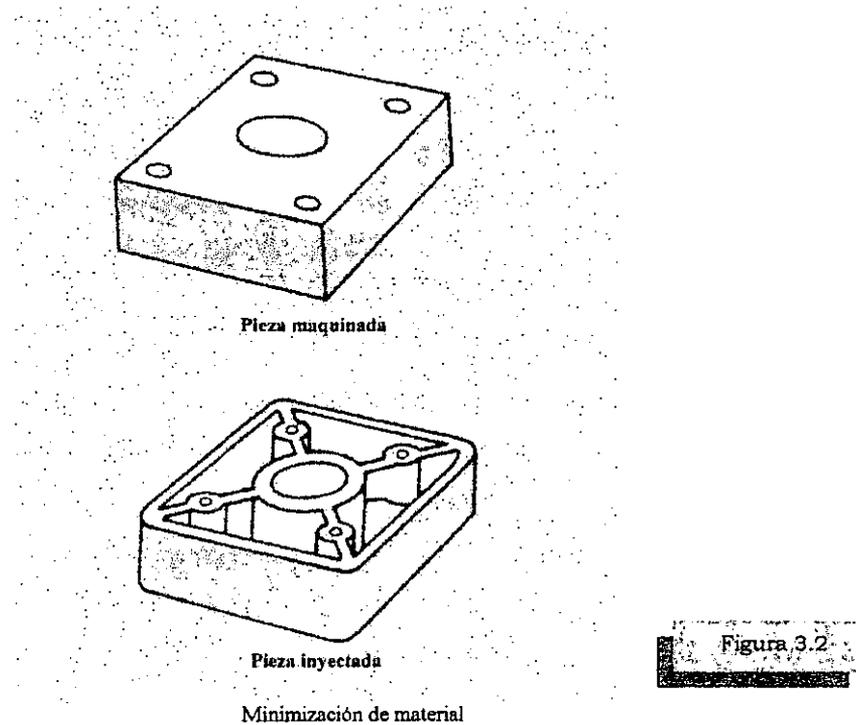
Figura 3.1

2. Lograr una correcta selección del material:

Sobre las bases de la función deseada de la pieza, el medio de trabajo, los costos de mantenimiento y requerimientos especiales, los materiales que cumplan con dichos requisitos pueden ser varios entonces es importante hacer una correcta selección.

3. Disminuir excesos en el uso de material:

El mínimo volumen de plástico que satisface la estructura, funcionalidad, apariencia, y requerimientos de moldeo es usualmente la mejor alternativa.



Se recomienda tomar en cuenta el mayor numero de propiedades posibles para entender de mejor manera todas las variables y así poder controlarlas mas fácilmente:

- **Mecánicas** (resistencia al impacto, dureza, rigidez, endurecimiento, estabilidad dimensional).
- **Eléctricas** (conductividad, dureza dieléctrica, constante dieléctrica, y seguimiento de superficie). Es importante mencionar que el nylon es higroscópico por lo tanto conductor por encima de 220 volts.
- **Medio ambiente** (resistencia a químicos, agua, luz ultravioleta y al añejamiento).
- **Térmicas** (expansión térmica, temperatura de deflexión al calor, respuesta mecánica a la temperatura y estabilidad de la resina).

- **Misceláneas** (cromado, retardo a la flama, transparencia, y lubricabilidad).

Muchas de estas pruebas se hacen en laboratorios y no pueden incluir todos los factores que las afectan en sus usos comunes. Algunas características, como la adhesión o el desgaste, no pueden ser predecibles utilizando pruebas estándares de laboratorio. Otras propiedades como la estabilidad dimensional, dureza y rigidez, combinan efectos de muchos factores que son muy difíciles de medir en el laboratorio. La estimación de cómo una resina se comportara en un área depende de pruebas en prototipos.

Otros factores de vital importancia al diseñar con materiales plásticos son los siguientes:

1. **Temperatura:** las altas temperaturas generalmente hacen a los plásticos más sensibles a esfuerzos mecánicos y más vulnerables al ataque químico, las bajas temperaturas generalmente los hacen menos dúctiles. Se debe tener en mente que las propiedades mecánicas y eléctricas dependen de la temperatura. Se tiene que trazar los rangos de temperaturas a las cuales va a estar sometida la pieza, considerando su ensamble, acabado, manejo y su función final.
2. **Medio ambiente:** se recomienda considerar la compatibilidad con solventes, ácidos, bases, gasolinas, y otras sustancias que puedan afectar las propiedades del material de la pieza. Observe los valores de la resina considerando su tiempo de exposición, concentración y temperatura. Debido a que las mezclas químicas afectan a una resina de diferente manera que si fuera un compuesto puro, la exposición de las resinas a mezclas que sean parecidas a las de su uso final, garantiza un correcto funcionamiento.
3. **Aprobación de agencias reguladoras:** Se deberá consultar la hoja de especificaciones del material para ver si la resina seleccionada cumple con las normas y los requerimientos del producto final. Como por ejemplo tratándose de piezas automotrices por el DOT (Department Of Transportation), SAE (Society of Automotive Engineers), NOM (Norma Oficial Mexicana).
4. **Ensamble:** verificar si es posible hacer uniones entre materiales similares y diferentes así como los métodos de ensamble. Algunos materiales se pegan con solventes, otros con soldadura ultrasónica, otros usan diseños Snap-fit, por ejemplo las resinas con buena dureza, flexibilidad y estabilidad dimensional.
5. **Acabado:** la pieza final tiene la apariencia deseada, no tiene marcas o líneas de inyección y si es factible y/o costeable pintarla o imprimirla.
6. **Costo:** para determinarlo, considere el costo por kilo en el color y en el volumen de compra. Observe la gravedad específica y el tiempo típico de moldeo de acuerdo a la resina seleccionada, porque estas afectan el costo final de la pieza. El costo por unidad de volumen de una resina plástica particular es el siguiente:

$$\text{Costo/ cm.}^3 = 0.0361 \times \text{Gravedad específica} \times \text{costo resina / kilo}$$

El costo del material de una pieza es obtenido por la multiplicación de Costo / cm^3 por el volumen de piezas. Finalmente, un precio estimado se obtiene de duplicar el costo del material de la pieza.

7. **Disponibilidad:** asegurarse que la resina pueda estar disponible en la cantidad deseada, a fin de prevenir sustituciones de material posteriores por la falta del material inicial.

PROCESO DE FABRICACIÓN

En el desarrollo de moldes y herramientas, considere la naturaleza de la parte, el material y la tecnología de fabricación. El equipo de diseño debe entender las opciones de producción y su relación con el diseño. Al seleccionar una opción, comparar costos para el ensamble completo, considerando el equipo necesario, tipo, tamaño, costo y vida de la herramienta basado en el número de partes que se fabricarán. También se debe evaluar cada proceso de fabricación que afecte el desempeño de la pieza y los requerimientos de cada herramienta en cada uno de los procesos. Los termoplásticos de inyección son los que generalmente se utilizan en el reemplazo de metales.

El proceso de fabricación y las herramientas utilizadas pueden afectar el espesor de la pared, las proyecciones, agujeros y otras características finales de la pieza. En el moldeo por soplado, por ejemplo, las esquinas y las características de la superficie pueden causar pequeñas variaciones en el espesor de pared. La calidad de la superficie puede variar dependiendo del tipo de proceso. En el termoformado, por ejemplo, la presión da mejor detalle que cuando se aplican rutas de vacío.

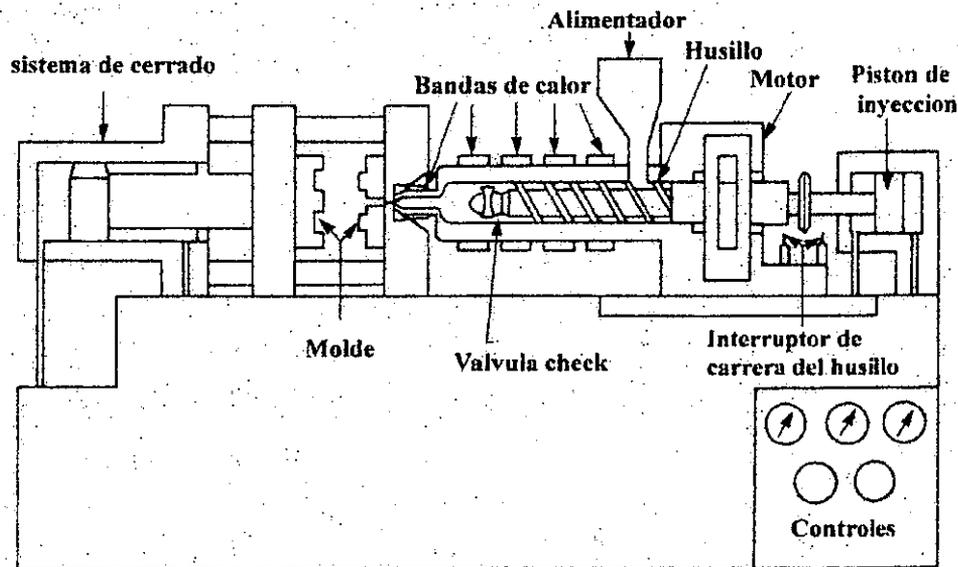
El moldeo por inyección con termoplásticos es eficiente y preciso. Su exactitud produce buenos acabados y piezas multifuncionales con formas complejas en una operación altamente automatizada. Los moldes de inyección normalmente están diseñados para trabajar más de un 1,000,000 de ciclos antes de que requieran un mantenimiento mayor.

Un molde de inyección bien diseñado permitirá monitorear a la resina y a las variables del proceso pudiéndose modificar en un tiempo muy reducido y sin perder calidad en la pieza. Por ejemplo, esto permite realizar cambios en la viscosidad de la resina y variaciones en la presión de inyección o cambios en las temperaturas de las etapas del husillo.

Los métodos computarizados de análisis por elemento finito, como el análisis de llenado de moldes (MFA, molding flow analysis), reducen el tiempo y el costo para desarrollar moldes. El MFA evalúa la posición de la puerta y su tamaño para optimizar el flujo de la resina, también define la localización de las líneas de unión, áreas de esfuerzos excesivos y efectos de pared así como espesores de costillas en el flujo. Algunos aspectos de la pieza pueden aumentar el costo final e involucrar el uso de otras herramientas especiales, como por ejemplo:

- **Complejidad:** piezas complejas pueden necesitar corazones desenroscables o colapsables, varillas de empuje, platos múltiples o intrincadas líneas de partición.
- **Espesor de pared:** afecta el sistema de enfriamiento construido en el molde, número de cavidades y el ciclo de tiempo.
- **Líneas de unión:** pueden formar zonas débiles en la pieza, su localización puede ser controlada por el lugar de la puerta.
- **Acabado superficial:** determina si el molde debe ser pulido o texturizado.
- **Esfuerzos residuales:** aquí las alternativas en el tipo y localización de la puerta, espesor de pared y diseño de venas de llenado son de vital importancia.
- **Dimensión en el molde:** % de contracción mas % de aumento por hidratación.

PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN



Maquina de inyección.

Figura 3.3

Una clara explicación en el proceso de inyección puede ser muy útil para entender la importancia de un buen diseño. El material generalmente tiene forma de pequeños pellets (generalmente de 4 mm de largo), estos son puestos en la tolva alimentadora de la máquina y caerán dentro del área del barreno (tornillo), el cual los alimenta a lo largo del cañón caliente. Conforme la masa de plástico se mueve hacia el frente del cañón, va tomando consistencia de material líquido, debido a las bandas calefactoras. El husillo es controlado para que regrese hacia atrás cuando la cantidad de plástico seleccionada para llenar el molde es la adecuada. Entonces el husillo es empujado con una alta presión para que la boquilla haga contacto con el molde y se inyecte el plástico para llenarlo. Una vez que el plástico está dentro del molde, empieza a fluir a través de un sistema de distribución llamado canales de llenado y por las puertas en las cavidades del molde. Tan pronto como el plástico se enfría y solidifica dentro de las cavidades del molde, este es abierto y la pieza es removida.

DISEÑO INICIAL DE LA PIEZA

En la etapa del diseño conceptual se busca tener un dibujo más o menos cercano a lo que se desea finalmente, el equipo evalúa el desarrollo del concepto, su contribución a todo el sistema y las alternativas a implementar en el sistema para reducir los costos. Estos conceptos determinan fuertemente a los materiales y los procesos de fabricación.

Para plásticos de inyección, el diseño detallado usualmente comienza con definir las relaciones geométricas. Idealmente, las paredes y las superficies deben tener un espesor uniforme (el espesor de pared nominal). El diseñador usa el espesor nominal para sus proyecciones, agujeros y otras características.

El proceso de diseño agrega elementos que harán más resistente a la pieza. Se deben evitar masas pesadas de material que puedan causar hendiduras, vacíos, y otras distorsiones. Por ejemplo, si tenemos una gran masa de material tendremos grandes ciclos de tiempo de inyección que incrementan el costo de la pieza. El diseñador debe tener muy bien definido y establecido el correcto ángulo de salida de la parte, para que al abrir el molde la pieza salga fácilmente. Una vez que se tiene el concepto bien definido existen otras consideraciones a seguir, como son:

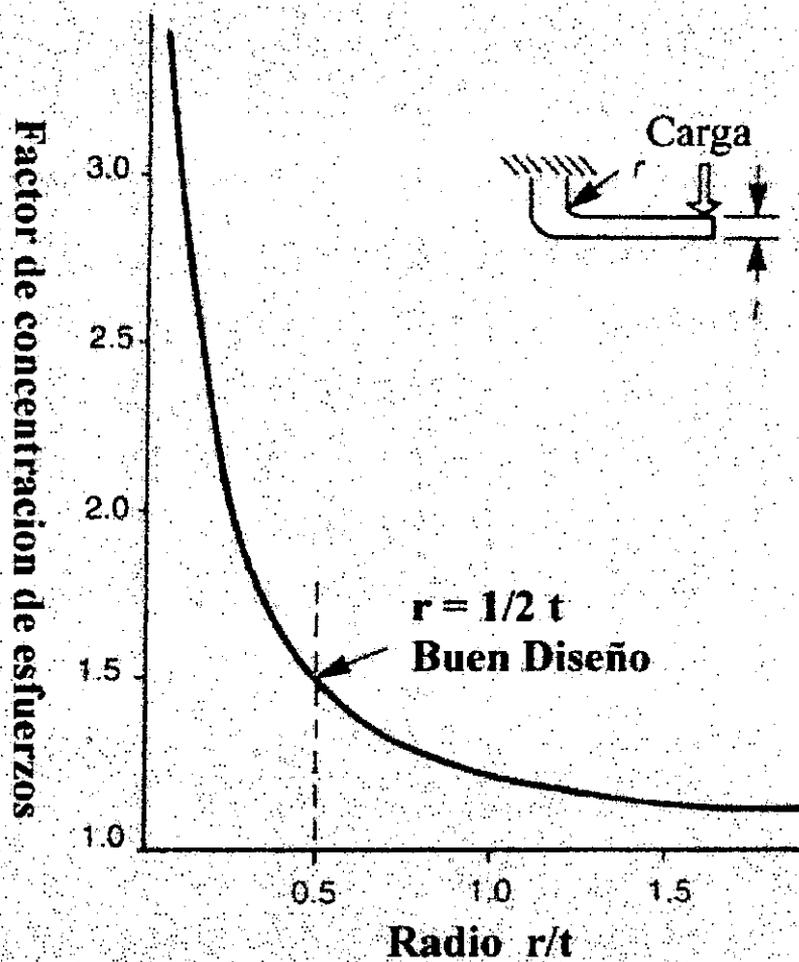
Espesor de pared nominal.

La mayoría de las piezas inyectadas tienen de 0.8 a 5.0 mm. (1/32 a 3/16 pulgadas) de espesor de pared dependiendo de las cargas que se apliquen y sus deflexiones. El espesor mínimo debe ser lo más delgado posible para reducir costos, teniendo en cuenta que no se deben de afectar las propiedades mecánicas que se requieren. Las paredes muy delgadas pueden fallar, las muy gruesas pueden hacer el producto atroz, muy pesado, costoso y ocasionar ciclos de inyección mayores.

En situaciones donde se requiere de mucha carga sobre una pieza, se recomienda el uso de costillas o esculpir la superficie por corrugado, coronado u otras que aumenten la resistencia de mejor forma que el uso de paredes gruesas. Otra opción es seleccionar una resina de mayor dureza y resistencia, con un modulo de rigidez mayor o en su defecto considerar otros métodos de fabricación. El mayor problema visto o por los diseñadores es la uniformidad del espesor de pared en piezas moldeadas, debido a las contracciones del material, a los esfuerzos internos en el moldeo y otros factores. En general se debe tratar de tener dicho espesor lo más uniforme posible, permitiendo variaciones de no más del 10 al 25%. Si el espesor debe variar por el diseño tratar de hacer la transición lo más gradualmente posible, y diseñar los canales de llenado de manera que el flujo vaya de lo más grueso a lo más delgado. Esto minimiza los esfuerzos internos y permite obtener secciones delgadas correctamente llenas.

Radio.

Las piezas plásticas necesitan de radios grandes para reducir concentraciones de esfuerzos en las intersecciones de superficie. La forma de las esquinas es el principal problema, aunado a las paredes no uniformes. Ambos pueden causar falla bajo altas cargas o impacto, como resultado de un pobre flujo durante el moldeo, desgaste del molde y el incremento de esfuerzos en la contracción del material. Los radios internos o fileteados deben ser por lo menos de la mitad del espesor de pared. Las piezas sujetas a altas cargas deberán tener un radio de más de 0.5mm (0.02 pulgadas). En lugares donde no se requiere esfuerzos puede ser de 0.1mm (0.0005 pulgada). Para esquinas externas el radio deber ser igual al de esquinas internas más el espesor de pared mínimo.



Factor típico de concentración de esfuerzos

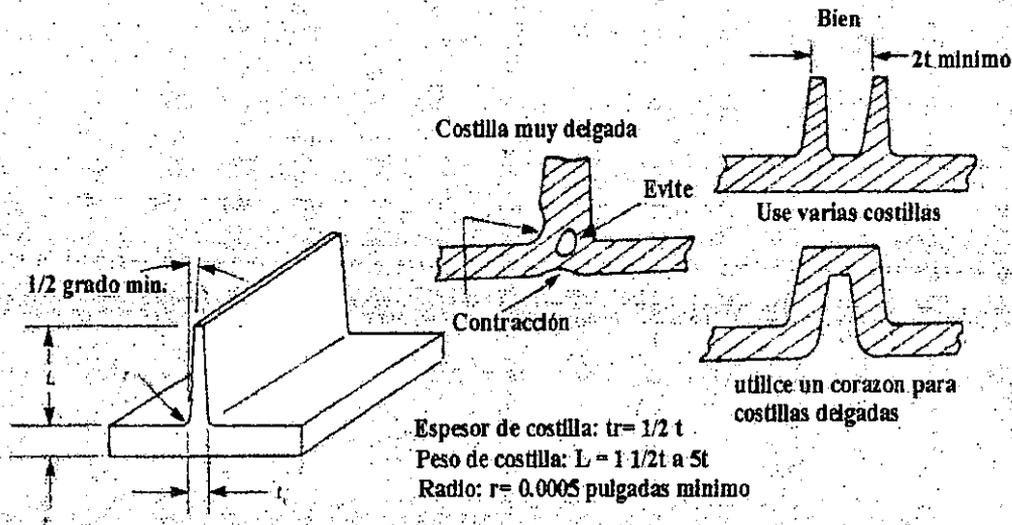
Figura 3.4

Costillas y mamelones.

Las costillas y las espigas (pequeñas costillas triangulares que refuerzan protuberancias e intersecciones) incrementan la capacidad de carga y de resistencia a esfuerzos de la pieza, también las espigas sirven para alinear la pieza durante un ensamble posterior y proveerla de puntos de apoyo.

Se recomienda usar costillas en vez de paredes más gruesas para incrementar la integridad estructural siempre y cuando exista espacio disponible. Las costillas son elementos materiales más eficientes y no afectan el ciclo de tiempo de moldeo. El espesor de la costilla en la base debe ser la mitad de la pared adyacente, y la altura es típicamente $2\frac{1}{2}$ a 3 veces el valor de pared nominal, dependiendo de la resina y su aplicación pudiendo llegar a ser de $1\frac{1}{2}$ a 5 veces. Se recomienda mantener las costillas lo más delgadas posibles si van a estar cerca de áreas visibles para evitar marcas de hendiduras. Cuando la estructura sea más importante que la apariencia, o cuando exista poca contracción del material las costillas podrán ser tan gruesas como la pared externa.

Las costillas deberán de tener como ángulo de salida como mínimo $1/2^\circ$ por lado y un radio mínimo de 0.1mm (0.0005 pulgadas) en su base. Múltiples costillas espaciadas entre si mismas dan mejor resultado que una sola larga, generalmente dan mejor distribución de cargas. Trate de acoplar de la mejor manera posible las costillas con las protuberancias, paredes laterales, componentes de montaje, y otras estructuras. Varíe el número y el tamaño de acuerdo a la carga que soportará la pieza. Los nervios usualmente se extienden desde una a dos paredes de espesor desde la intersección de los elementos reforzados.



Diseño de costillas para termoplásticos.

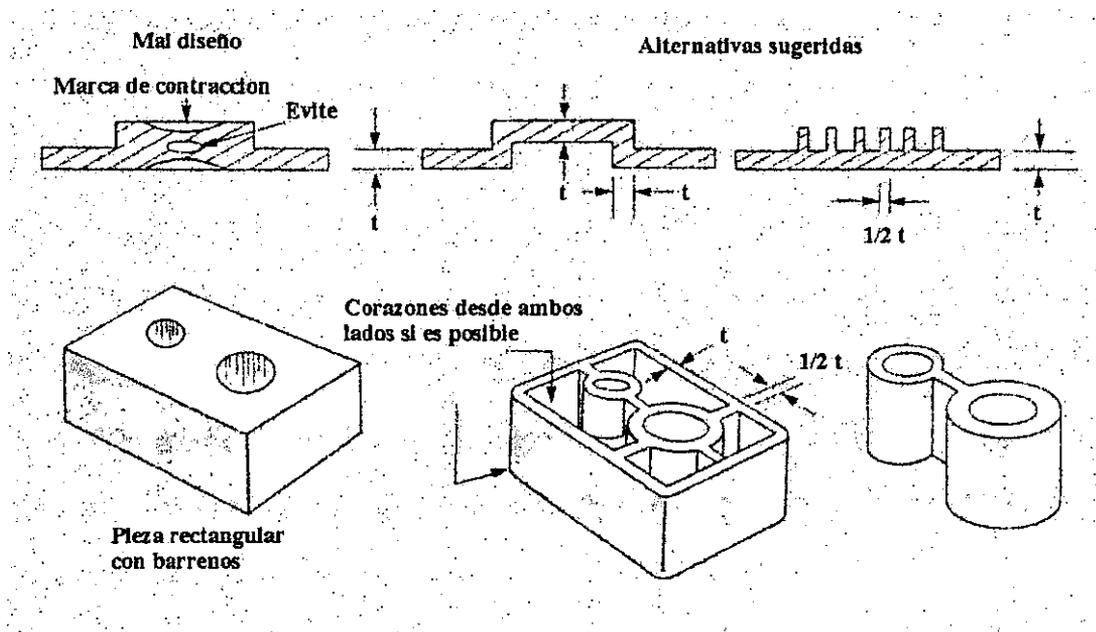
Figura 3.5

Las espigas usualmente sirven como puntos de montaje, de posición o de sujeción. Deben de tener un espesor que no sea mayor al espesor de pared mínimo para prevenir daños de apariencia o problemas de moldeo. Cuando sean utilizadas para sujeción con tornillos

autorroscables debe de tenerse cuidado con su diámetro interno y su espesor de pared para prevenir esfuerzos que los fracturen.

Corazones.

Este proceso crea pequeños agujeros, superficies o agujeros ciegos en la pieza, generalmente para reducir peso, proveerla de puntos de montaje, o eliminar secciones de pared. Los corazones son creados por alfileres que sobresalen del molde. El tamaño mínimo de un corazón depende de la fuerza que tenga que resistir durante el flujo del material sin llegar a tener una deflexión. La profundidad de un agujero ciego no debe de exceder 3 veces su diámetro. Los corazones que se extienden a lo largo de las dos cavidades del molde pueden ser del doble que los corazones ciegos debido a que se soportan por los dos lados.



Ejemplos de corazones.

Figura 3.6

Análisis y simulación.

El análisis del diseño define la forma de la pieza, el espesor, y otros parámetros que establecen su desempeño. El análisis debe considerar el proceso de moldeo y la resina como un todo. Puede incluir la respuesta de la resina a niveles de bajos esfuerzos. El esfuerzo térmico puede hacer que el plástico sea más rígido y varíe su coeficiente de expansión térmica, por lo que es necesario tener en cuenta el movimiento entre las dos partes.

El diseño inicial crea una pieza teórica, el análisis subsecuente, la simulación y evaluación del prototipo demuestran el cómo trabajan las partes en su aplicación, de donde se valoran todos los factores esenciales para retroalimentar y redefinir el diseño. El análisis ingenieril define la geometría optima de pieza por medio de la evaluación de cargas directas o las deflexiones en un punto, línea, frontera o área. Este análisis durante el diseño conceptual nos da la geometría inicial de la pieza. Durante este análisis la precisión de los resultados no debe ser aproximadamente 25%. Para aproximar las ecuaciones de diseño, utilice ecuaciones simplificadas de esfuerzos y deformaciones para materiales plásticos, para mayor referencia pueden consultarse formulas y ecuaciones en el anexo de ecuaciones.

Los análisis subsecuentes incrementan la precisión debido al uso de ecuaciones más exactas y método computarizados que pueden incorporar efectos no lineales y geometrías durante el ensamble, el manejo, proceso de manufactura y uso final. Muchas herramientas computarizadas de diseño han sido utilizadas durante las dos ultimas décadas, incluyendo el diseño asistido por computadora, ingeniería, y manufactura (CAD, CAE y CAM)². Estas herramientas han ayudado al aumento del uso de los plásticos en aplicaciones complejas, muchas de las cuales no pudieron hacerse por métodos manuales de análisis.

La herramienta del CAD que predice el desempeño de la pieza es el análisis por elemento finito (FEA, por siglas en ingles).

El FEA estructural es especialmente útil en evaluar esfuerzos y deflecciones en piezas complejas con elaboradas superficies. Es un análisis de prototipos que comienza con modelos lineales simples y puede terminar con modelos muy complejos. En sus primeras etapas constantemente redefine y reanaliza la pieza hasta conseguir el desempeño que se busca. Otras herramientas FEA predicen el llenado del molde, el enfriamiento y otros elementos concernientes a la pieza y su fabricación.

Creación de prototipos.

Los prototipos son modelos que facilitan al diseñador y al consumidor de una respuesta rápida a su necesidad conceptual. Usualmente destacan los problemas de diseño y de ensamble, y permiten las pruebas de propiedades esenciales. Cuanto más exacto sea el prototipo será más caro. Generalmente se hacen prototipos muy exactos para piezas muy complejas con tolerancias muy reducidas y grandes detalles. También cuando se requieren probar propiedades mecánicas o térmicas.

Los modelos más exactos generan la pieza usando el mismo material y el proceso de manufactura que será utilizado para fabricar la pieza. Los prototipos exactos copian el espesor de pared, curvaturas, filos, cantos, radios, ángulos y otras características. Cualquier variación en la pieza terminada puede esconder problemas, como contracciones, alabeos, inclinaciones, y cambios en la orientación de los refuerzos, localización de líneas de unión, o quemaduras por gases atrapados en la herramienta. Los moldes prototipo deben de tener

² Computer Aided Design, Computer Assisted Evaluation, Computer Assisted Manufacture.

la misma puerta, líneas de enfriamiento, insertos, corazones y otras características que el molde de producción final.

Se pueden seguir rutas alternas con el mismo material pero con diferente proceso, por ejemplo, una pieza puede ser maquinada de un bloque de material macizo. El prototipo maquinado puede ser de la misma resina pero tiene diferentes propiedades mecánicas, químicas, y térmicas que si hubiese sido moldeado.

Existen otras maneras de fabricar prototipos, se pueden usar técnicas de escritorio como el uso de una máquina de control numérico de 3 dimensiones, sinterizado por láser y la estereolitografía (SLA). La simulación de una geometría ayudada por métodos computacionales habilita el entendimiento de la forma y la función sin la necesidad de construir un modelo físico. Estos métodos ayudan al diseño CAD a ser convertidos rápidamente en una pieza terminada, evaluada y probada.

El SLA, por ejemplo, rompe el diseño CAD en rebanadas muy finas y construye la pieza, capa por capa, a partir de un líquido fotopolimérico usando un láser. Es una manera muy avanzada y cara de hacer prototipos en horas y no en días o semanas por maquinado o moldeo. Sin embargo, el uso de SLA no puede competir con altas cargas mecánicas, pero ayuda mucho en desarrollos de ensamble, en pruebas gubernamentales, pruebas ergonómicas y otros usos. Uno de los más comunes es que sirve para fabricar el molde de inyección.

Evaluación de prototipos.

Los requerimientos de diseño deben incluir las pruebas del prototipo. En dichas pruebas, es recomendable el uso del criterio original de diseño, dando mayor peso a los factores más importantes. Cuando la parte se salga de las especificaciones, se debe tratar de ajustar el diseño u otras partes del sistema. Aunque las pruebas específicas dependen mucho del tipo de pieza, la evaluación de prototipos exactos puede realizarse en tres áreas: la moldeabilidad, el desempeño de la pieza y su ensamble.

Los problemas que surgen durante estas pruebas se pueden corregir si se toma en cuenta todo el sistema. Algunas soluciones pueden ser encontradas en el estudio del diseño, la resina, y el proceso, es posible que la mejor solución pueda encontrarse en otras áreas del sistema. Por ejemplo, puede ser menos caro alterar una pieza metálica que esté unida a una plástica por medio del cambio del programa de control numérico de la fresadora, que hacer modificaciones al molde de inyección para la pieza plástica.

La herramienta prototipo es utilizada como la herramienta piloto de producción. Debe tener las mismas dimensiones de la cavidad y los canales de llenado que la herramienta prototipo. Si la herramienta de producción difiere del prototipo, considere la nueva herramienta como otro prototipo y pruebe nuevamente las piezas hechas con ella. Para lograr la calidad necesaria en la línea de producción, pruebe los moldes por varios días y verifique si las dimensiones cambian o surgen problemas de desempeño, pruebe todas las cavidades en conjunto varias veces durante este periodo.

Si utiliza material de reciclado (generalmente de las boquillas o de las coladas) tome en cuenta que es material no virgen y las propiedades pueden variar considerablemente, por lo que se recomienda probar nuevamente las piezas.

En la evaluación de prototipos se pueden considerar las siguientes preguntas:

Moldeabilidad:

- ¿La pieza se moldeó correctamente?
- ¿Existen manchas en la pieza a causa de frío o calor durante el moldeo?
- ¿La pieza se desmolda correctamente?
- ¿Cuanta contracción ocurre, especialmente en áreas críticas?
- ¿La pieza esta dentro de la tolerancia dimensional?
- ¿Es adecuado el ciclo de tiempo de moldeo?
- ¿El reciclado produce piezas de calidad satisfactoria?

Características de la pieza:

- ¿Tiene rechupes, alabeos, faltantes de material, aire encerrado u otros defectos?
- ¿Que áreas son de falla potencial, por ejemplo, líneas de soldadura?
- ¿Tiene hendiduras, líneas de flujo u otros defectos de superficie?
- ¿Tiene las tolerancias específicas?

Ensamble:

- ¿Puede la pieza correctamente ensamblarse con otras?
- ¿Existe alguna interferencia en el ensamble?
- ¿Trabaja todo el sistema ensamblado correctamente?
- ¿Puede realizarse el ensamble de otra manera más eficiente?

DISEÑO DE MOLDES

El diseño del molde está determinado por el proceso de fabricación. En el molde de inyección el diseñador debe posicionar el tipo y tamaño de las puertas, el número y tamaño de las cavidades, los ángulos de salida, el sistema de colada, y sus canales alimentadores.

El molde es generalmente calentado o enfriado para proveer la temperatura adecuada para la solidificación del plástico. El molde tiene algún tipo de mecanismo, llamado expulsor, que ayuda a extraer la pieza del mismo. Mientras la pieza es enfriada en el molde, el siguiente golpe de plástico esta siendo plastificado en el cañón. El molde se cierra y el proceso comienza nuevamente. A través de esta breve explicación, se observa que el tiempo de enfriamiento en el molde es un factor importante en el ciclo total de moldeo y por lo tanto determinante en la producción de la máquina.

Por otro lado, el diseño de las puertas es complejo, requiere del balance de muchos conceptos. Como la resina pasa a través de la puerta, las líneas de flujo pueden formarse en la superficie de la pieza. La puerta puede ser movida de manera que estas líneas no se vean, en el caso de que la pieza requiera un acabado superficial muy exacto. Las puertas deben ser configuradas de manera que exista un balance en la distribución de la presión en la cavidad y proveer la correcta alineación de las moléculas de la resina y los elementos de refuerzo. También optimizan el tiempo de llenado del molde y acomodan el flujo de la resina de acuerdo a una temperatura específica, especialmente para paredes delgadas y otras secciones angostas. Una alineación impropia creará áreas débiles en la pieza. El tamaño y el tipo de puerta también influyen en gran modo la contracción de la pieza.

El ángulo de salida, generalmente usado para desmoldar la pieza varía entre 0.5° a 3° , de acuerdo al acabado interno de la cavidad, entre más pulido sea la cavidad menor será el ángulo de salida.

El sistema de colada afecta en cuanto al volumen de desperdicio que es producido. Las coladas frías convencionales producen grandes cantidades de material de desperdicio, el cual puede ser reciclado en el caso de termoplásticos. Las coladas calientes prácticamente no producen desperdicio debido a que extendiendo la boquilla se llega hasta la puerta de entrada del molde, aunque es un sistema más costoso y más difícil de operar que el sistema de colada fría. El sistema de colada caliente es muy útil cuando el volumen de esta es relativamente largo comparado con el tamaño de la pieza.

EFFECTOS DE LA RESINA SELECCIONADA

Las características del plástico en el que se va a fabricar la pieza afectan tanto a la pieza como al diseño del molde. Las cualidades claves de una resina también influyen a:

- **Flujo:** El cual depende de la viscosidad, la resistencia al arrastre y la conductividad térmica, es afectado por: la longitud de los canales de flujo de la cavidad, su tipo, el tamaño y localización de la puerta y del enfriamiento del molde.
- **Coefficiente de transferencia de calor:** Se deberá seleccionar adecuadamente este coeficiente para prevenir el encogimiento debido a diferencias de temperatura por enfriamiento, también se deberá mantener la temperatura constante dentro del molde optimizando las características de la resina de acuerdo a su estructura.
- **Contracción de la resina.** También es importante debido a las dimensiones de la cavidad, al enfriamiento y a las tolerancias de diseño de la pieza. El uso de rellenos y el tipo de los mismos afecta mucho la dirección y la orientación del flujo. Por ejemplo, el uso de rellenos fibrosos da por resultados contracciones mayores hacia un lado que hacia el otro. La contracción de la pieza también depende del espesor de la pared y de su geometría, el tamaño de la puerta y de la colada, de la manera en que el sistema de enfriamiento está en el molde, de las condiciones del proceso y finalmente el crecimiento post-moldeo por hidratación natural (Poliamidas).

MÉTODOS DE ENSAMBLE

Debido a la flexibilidad en cuanto a su diseño, las piezas de plástico ofrecen ensambles de bajo costo y ventajas de manufactura. Las piezas plásticas pueden ser hechas con tolerancias específicas sin maquinarse y pueden contener elementos de ensamble dentro del mismo diseño como son agujeros de montaje los cuales eliminan el uso de soldadura, taladrado, ensamble y otras operaciones secundarias de maquinado que generalmente se realizan con metales.

El diseño debe abarcar todos los pasos del ensamble que requiera la parte a reemplazar, como la selección, orientación y lugar de colocación. Considere varias estrategias de ensamble para implementar la eficiencia en la producción, como la consolidación y los métodos óptimos de unión entre componentes o partes de un sistema. De acuerdo a estas estrategias podemos mencionar:

1. **Diseño de sistemas de ensamble:** Como son el Snap-fit, press-fit y los tipos pop-on. Estos son rápidos, no caros y no necesitan partes adicionales. Sin embargo, el maquinado puede ser complejo y caro en el molde, y se requiere de un diseño cuidadoso de los sistemas que requieran este tipo de ensambles. La desventaja es que no son recomendados para partes que necesiten ser desensambladas varias veces, por ejemplo para aquellas que requieran de cierto mantenimiento.
2. **Adhesión química:** Por medio de solventes o adhesivos, aquí se logra una fusión de los materiales por el uso de sustancias que los reblandecen, la unión puede tardar periodos largos de curado y utilizar sustancias tóxicas, por lo que se necesita de un equipo auxiliar de seguridad. La unión entre diferentes resinas necesita mayor cuidado y varía de muchas maneras. Generalmente este tipo de uniones no crea esfuerzos de ensamble.

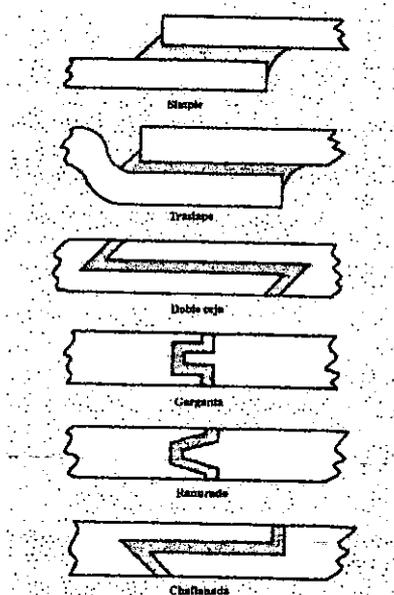


Figura 3.7

Tipos de uniones con adhesivos

3. **Soldadura:** este tipo de uniones se generan al calentar el material por diferentes métodos y después enfriarlo con lo que se logra la unión de los materiales. Este tipo de uniones no requiere de químicos o solventes, pero sí de un equipo especializado. La soldadura puede ser rápida, económica, y generalmente menos peligrosa que los métodos químicos. El método mas utilizado es la soldadura ultrasónica. Otros métodos son: la soldadura de plato caliente, por vibración, inducción y radio frecuencia. Todos estos tipos de soldadura dependen de la interfase de la línea de unión entre las dos piezas a soldar, es decir del área de separación para crear la soldadura entre las piezas. Una limitante a este tipo de soldaduras es que son permanentes y los materiales a unir deben de tener compatibilidad y temperaturas de fusión similares.

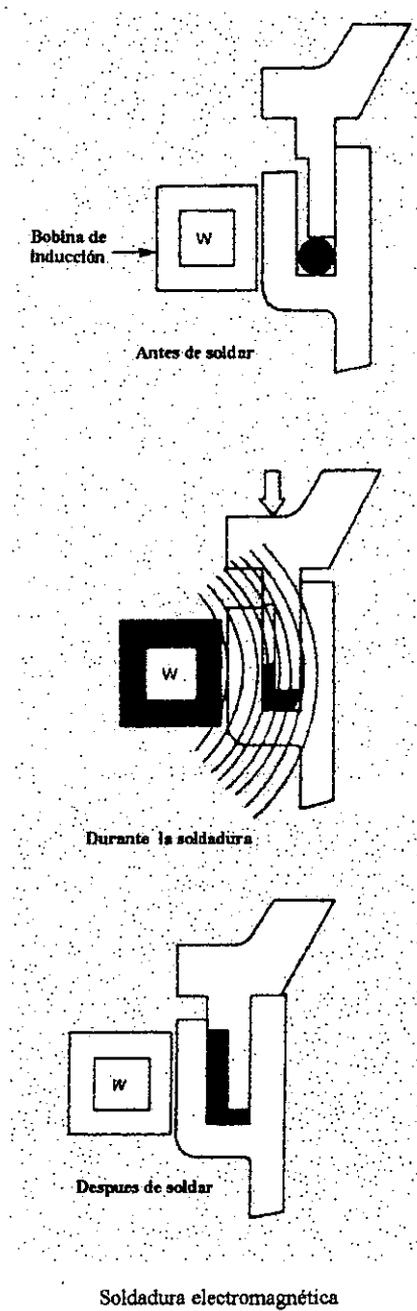


Figura 3.8.

4. **Uniones mecánicas:** aquí se incluyen tuercas, tornillos, pijas, remaches, y clips de resorte. Son fáciles de usar y permite el desensamble no destructivo; La ventaja es que se pueden desensamblar rápidamente y sin dañar a las piezas, también se pueden combinar con soldadura ultrasónica para poner insertos de metal en plásticos, sin embargo, se necesitan de partes adicionales para la sujeción por lo que los costos se incrementan. La parte no debe de apretarse de más porque se puede fracturar o romper durante el ensamble. Para situaciones donde se requiere de torque se recomienda usar cuerdas en el moldeo o insertos de metal.

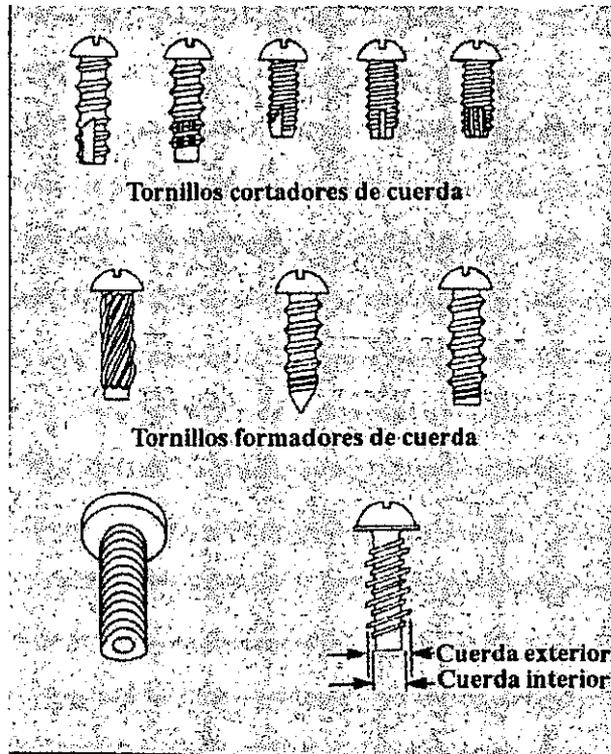


Figura 3.9

Ejemplos de tornillos para plásticos

Diseñar para desensamblar afecta directamente el desempeño de la parte. El objetivo es minimizar y en algunos casos eliminar el ensamble entre las piezas de un sistema. Cuando no sea posible se deben utilizar técnicas de unión que minimicen su manejo como los snap-fits. Los métodos mecánicos son más caros debido a que cada uno requiere manejo por separado y tiempo extra en el ensamble. La forma de la pieza debe ayudar a que la orientación y alineación sean correctas para hacer la unión lo más rápida y fácil posible.

CONSIDERACIONES EN LOS COSTOS

Es una regla general que al reemplazar piezas de metal por piezas plásticas se deben obtener beneficios de al menos un 20% en costos y un desempeño igual o mayor que con los metales. Para que se ahorre en el equipo se deberán definir las mejoras en el desempeño

y costos de la parte a sustituir, esto significa que se evaluarán los materiales, los procesos de manufactura y la aplicación de la pieza. La mayoría de los plásticos de ingeniería son más caros por kilo que los metales, ellos son usualmente menos caros en piezas terminadas, debido a que no necesitan procesos secundarios de acabados ni operaciones de maquinado posteriores, lo que resulta en un precio menor al final de todo el proceso.

No se puede ignorar el costo del uso de materiales plásticos de alto desempeño, por ejemplo, una resina reforzada con fibra de vidrio tendrá menor índice de fluidez, lo que variará en el ciclo de tiempo de inyección de la máquina, la velocidad de inyección, la presión de inyección, el desgaste del molde y el mantenimiento de la máquina. También, los costos tienen que ver debido a factores como inventario, mano de obra calificada, espacio, tiempo en piso de manufactura, energía usada y acabados secundarios. Se debe tomar en cuenta el método de ensamble para piezas que constan de varias partes.

A continuación se muestra una lista de puntos a revisar durante el proceso de diseño en la sustitución de metales por plásticos.³

LISTA DE PUNTOS CLAVE

Auxiliar para el proceso de diseño – sustitución de materiales

<p>Nombre de la pieza:</p> <p>Función:</p> <p>Aplicación:</p> <p>Localización:</p> <p style="text-align: center;">REQUERIMIENTOS FISICOS</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none">• Largo:• Ancho:• Altura:• Diámetro externo:• Diámetro interno:• Volumen: <p>Dimensiones críticas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Localización:• Dimensión:• Tolerancias: <p>Espesor de pared:</p> <ul style="list-style-type: none">• Nominal:
--

³ Adaptada de Modern Plastics Encyclopedia, Mid-December 1992.

- Máximo:
- Mínimo:

Peso:

- Máximo:
- Mínimo:

Densidad:

- Máxima:
- Mínima:

Piezas de unión:

Nombre de pieza de unión:

Función de pieza de unión:

Geometría de pieza de unión:

Material de pieza de unión:

Tolerancias críticas:

- Localización:
- Dimensiones:
- Tolerancia de unión:

REQUERIMIENTOS GENERALES

Promedio de vida:

Deposito:

Reciclaje:

Flamabilidad:

Etiquetas, instrucciones, garantías, etc.:

- Descripción:
- Localización:

Posibles abusos, recomendaciones de seguridad, y advertencias:

- Cantidades requeridas:
- Costo objetivo de fabrica:
- Patentes:
- Para exportar:

REQUERIMIENTOS DE APARIENCIA

Apariencia de la pieza:

Diseño industrial:

- Estética:
- Ergonomía:

Encaja con la línea de producción existente:

Transparencia:

Color (codificado o especial):

- Terminado interno:
- Terminado externo:

Textura:

- Profundidad de textura:
- Numero de patrón:

Plateado o metalizado:

Pintura:

Impresión:

Hot stamping:

Consideraciones de moldeo:

- Línea de partición:
- Localización de puerta:
- Localización de ejetor:

REQUERIMIENTOS MECÁNICOS (A TEMPERATURAS APROPIADAS):

Cargas de tensión:

- Carga:
- Constante, cíclica, transitoria:
- Duración, frecuencia:

Cargas de flexión:

- Carga:
- Constante, cíclica, transitoria:
- Duración, frecuencia:

Cargas de compresión:

- Carga:
- Constante, cíclica, transitoria:
- Duración, frecuencia:

Cargas de desgaste:

- Carga:
- Constante, cíclica, transitoria:
- Duración, frecuencia:

Deflexión (máximo permitido):

- Donde:
- Porque:

Escurrecimiento térmico longitudinal (máximo permitido):

- Donde:
- Porque:

Cargas de impacto:

- Carga:
- Frecuencia:

Restricciones en las líneas de unión:

Dureza:

Resistencia a la abrasión:

REQUERIMIENTOS AMBIENTALES:

Temperatura máxima de operación:

- Duración:
- Constante:
- Intermitente:
- Cíclica:
- Carga:
- Impacto:
- **Tolerancias críticas**

Temperatura mínima de operación:

- Duración:
- Constante:
- Intermitente:
- Cíclica:
- Carga:
- Impacto:
- **Tolerancias críticas**

Resistencia química:

Contacto continuo:

- Sustancia y fase:
- Concentración:
- Temperatura:
- Carga:

Contacto intermitente con:

- Sustancia y fase:
- Concentración:
- Temperatura:
- Carga:

Contacto ocasional con:

- Sustancia y fase:
- Concentración:
- Temperatura:
- Carga:

Otras exposiciones:

Luz ultravioleta:

Exposición exterior:

Radiación:

Expansión térmica:

Sistema de acabado:

- Ataque por solventes:
- Temperatura de horno:

Permeabilidad:

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (CONDICIONES NORMALES DE USO)

Aislantes requeridos:

Máximo/mínimo volumen resistivo:

Máximo/mínimo superficie resistiva:

Voltaje de ruptura dieléctrico:

- Práctico probado en la pieza:
- Localización:

Resistencia al arco:

- Mínimo ASTM:
- Práctico probado en la pieza:
- Localización:

Constante dieléctrica:

Factor de disipación:

Perdida dieléctrica:

Factor de pérdida de disipación:

Conductividad:

Rango resistivo:

Estática mínima:

- Decaimiento:

Transparencia a las microondas:

AGENCIAS REGULADORAS.

Administración de alimentos y medicamentos.

- Contacto con alimentos:
- Uso médico:

Sociedad americana de pruebas y materiales (ASTM, E.U.).

Laboratorios underwriters (UL).

- Rangos de Flamabilidad (UL-94 en el espesor).
- Índice de temperatura (UL-746):
- Contacto con sangre:
- Tiempo en el cuerpo:

Instituto americano nacional de estándares (ANSI, E.U.).

Departamento de transporte (DOT, E.U.).

Sociedad de ingenieros automotrices (SAE, E.U.).

Asociación nacional de fabricantes eléctricos (NEMA, E.U.).

Comisión de comunicaciones federales (FCC, E.U.).

Especificaciones militares (MIL Spec, E.U.).

Códigos estatales y locales:

Otros organismos:

Agencias extranjeras:

- Asociación de estándares canadiense (CSA, Canada).
- Organización internacional de estándares (ISO, Internacional).

- Norma oficial mexicana (NOM, México).
- Otras:

ENSAMBLE Y ACABADO:

Para ser ensamblado a:

El ensamble debe ser:

- Permanente:
- Temporal:
- Repetitivo:
- Permite manteneimiento:
- Hermético (a prueba de fugas):

Tipo de ensamble:

Tornillos:

- Pijas:
- Insertos con cuerda:
- Snap-fits:
- Clips de resorte:
- Remaches:
- Autoroscables:

Factores mecánicos:

- Tolerancias en fijación:
- Deflexiones en fijación:

Soldadura:

Pegado por adhesivo:

Pegado por solvente:

Pegado por electromagnetismo:

Sellado por calor:

Flexibilidad del diseño en piezas a ensamblarse:

Requerimientos de accesorios especiales:

Requiere maquinados:

CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE DISEÑO.

Esterilización:

- Rayos X:
- Química:
- Por vapor:

Cuerdas:

- Milimétricas:
- Estándares:
- Inglesas:
- Finas:
- Inversas:

Insertos moldeables:

- Mismo material
- Diferente material

Gargantas:

Coextrucción:

Otros:

Con esta lista(cuestionario) podemos tener una gama de características importantes a tomar en cuenta cuando se requiere de sustituir una pieza de metal por plástico, cualquiera que esta sea.

DISEÑO CON NYLON



CAPITULO

MOLDEO POR INYECCIÓN

En este capítulo se da una breve descripción de los factores más importantes a considerar durante el moldeo de piezas fabricadas en nylon, se hace hincapié en moldeo por ser el método más utilizado para la fabricación de piezas automotrices en plástico.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

1. Las precauciones más importantes en el manejo de materiales de nylon son el evitar la humedad y la contaminación antes y durante el moldeo, debido a que al contaminarse las propiedades del material pueden variar.
2. Cuando el contenedor de material es abierto, debe ser vaciado dentro de la tolva y cubierta inmediatamente. Si se deja abierta a la atmósfera, la resina absorberá humedad inmediatamente y puede estar demasiado húmeda en tan solo una hora.
3. El exceso de humedad en la resina causará que se degrade rápidamente a las temperaturas de procesamiento. Una medida típica de la degradación es el valor de la viscosidad relativa, la cual disminuye cuando la degradación ocurre, la experiencia indica que el nylon es aceptablemente moldeado hasta con un contenido de humedad de 0.32%.
4. Un contenido de humedad superior al 0.32% en el nylon puede causar goteo en la nariz, espumaje y un pobre control dimensional, además de la pérdida de resistencia al impacto de las partes moldeadas.
5. La vida de almacenamiento del nylon (debido a la absorción de agua) es alrededor de 10 a 15 meses, sin importar el tipo de envase que lo contenga. Lo cual significa que después de este periodo será indispensable secar el nylon antes de moldearlo.
6. La contaminación por polvo y basura también causa problemas de moldeo. Debe tenerse cuidado con el orden y la limpieza, en almacenes, sistemas de transporte, etc. Los contenedores o tolvas de alimentación deben conservarse tapadas. Esto garantiza que no existan peligros de contaminación por polvo y basura además de evitar la captación de humedad.
7. Generalmente las resinas de nylon se envían secas en contenedores protegidos contra la humedad y pueden moldearse directamente sin presecar. Por supuesto el contenedor debe mantenerse cerrado y sellado hasta que la resina se vaya a usar.
8. Si el secado se hace necesario, se recomienda ampliamente un secador con circulación de aire caliente deshumidificado, con un tiempo de residencia máximo en la tolva de secado de 3 horas y temperaturas máximas de aire seco de 82°C.
9. Se recomienda secarla a una temperatura entre 50 y 60° C si ha ganado humedad.

10. La temperatura de secado es el factor del cual más se abusa generalmente al secar; si la resina se encuentra muy húmeda, se recomienda emplear una temperatura de aire razonablemente baja y mayores tiempos de secado. Es preferible emplear mayores tiempos y menor temperatura que menores tiempos y mayor temperatura. Muchos moldeadores llevan el secado al extremo, han oído tanto acerca de los peligros de la humedad al moldear nylon, que tienden a operar secadores demasiado calientes y por periodos demasiado largos. El secado no es una operación deseable al moldear nylon, ya que cuando el nylon se seca, además de la degradación del color, su flujo se hace cada vez más difícil. Para compensar la dureza de la resina sobreseca, el moldeador tiende a elevar la temperatura y presión. Esto por supuesto acelera la degradación, y los esfuerzos en las piezas causando piezas quebradizas y pérdida de impacto, algunas veces acompañada de amarillamiento. El moldeador debe, balancear la degradación térmica y de color contra la facilidad de flujo.

CONDICIONES DE MOLDEO

1. Al iniciar el moldeo deben seguirse las recomendaciones marcadas en las hojas de especificación del producto. Se muestran en el anexo 1 varias tablas con condiciones de procesamiento generales para diferentes tipos nylon.
2. El contenido de humedad generalmente recomendado para inyección es de 0.15 a 0.25 %.
3. Trate de emplear el límite más bajo de la presión y la temperatura recomendadas con un tiempo de residencia en el barril mínimo. Es también importante y a menudo ignorado, que la temperatura del material debe medirse con un pirómetro equipado con un termopar de aguja en una purga de material.
4. Las lecturas de los controladores de temperatura son indicadores pobres de la temperatura real del material en el barril. El nylon fundido algunas veces se encuentra a una temperatura mayor de la indicada debido a que el controlador esta generalmente tomando la temperatura del acero del barril, no la temperatura real del plástico. Por lo tanto recuerde que la temperatura del material debe ser también controlada, no solo la temperatura del barril.
5. Tenga cuidado especial en no exceder la temperatura máxima de procesamiento del nylon que contenga aditivos retardadores a la flama. Las temperaturas altas causan corrosión excesiva.
6. Las temperaturas de procesamiento excesivas causan una importante degradación térmica y pérdida de impacto.
7. Una presión de retroceso o velocidad del husillo demasiado alta puede causar degradación y corrosión aún cuando exista un perfil "correcto" en las temperaturas del barril. Se recomienda una presión de retroceso de 1.8 kg/cm². Seleccione la velocidad adecuada para tener el husillo de regreso de 1 a 3 segundos antes de la siguiente inyección.

8. La regla para moldear nylon reforzado es “caliente y rápido”. Esto significa usar temperaturas de fundido, moldeado y velocidad de inyección altas.
9. Sea cuidadoso al interpretar los resultados cuando cambie la temperatura del molde. Las piezas provenientes de un molde frío inicialmente serán más largas que las partes provenientes de un molde caliente, pero encogerán más a una temperatura mayor de uso final de tal manera que las dimensiones finales serán aproximadamente las mismas.
10. Para nylon reforzado, la temperatura de la superficie del molde debe ser por lo menos de 82°C, esta es considerablemente mayor que para la mayoría de los termoplásticos. Esto es con el objeto de lograr la mejor apariencia superficial y minimizar esfuerzos en las piezas moldeadas.
11. Para facilitar el arranque de la máquina después de periodos prolongados de paro, el cilindro y cualquier conducto de resina debe purgarse de nylon antes del paro. Se sugiere emplear poliestireno cristalino de uso general o polietileno.

DISEÑO DE MOLDES

ACEROS EMPLEADOS EN MOLDES PARA RESINA DE NYLON

Existen cinco aceros ferrosos ampliamente usados para moldes de inyección maquinados (H-13, S-7, A-2, D-2, y P-20)¹, todos son apropiados para moldes de producción para resinas de nylon. La selección de uno o más de estos tipos de acero depende del tamaño y la complejidad del diseño de la pieza deseada, así como de grado de la resina de nylon seleccionado para la aplicación. La manufactura de una pieza dada en nylon puede requerir un acero con un buen balance de resistencia al desgaste, impacto, facilidad de maquinado, estabilidad dimensional, facilidad de pulido y dureza, o un acero con una o dos excelentes propiedades específicas.

La selección del acero debe también considerar los tratamientos superficiales. Con excepción de los aceros A-2 y D-2, el efecto abrasivo de la fibra de vidrio y de la carga mineral causara un desgaste inaceptable de la superficie del molde en un tiempo relativamente corto. Con la experiencia obtenida sobre los tipos de acero H-13, S-7 y P-20, se recomienda alguna forma de endurecimiento superficial.

ACEROS H-13 Y S-7

Los aceros H-13 y S-7 son los más populares para moldes pequeños y grandes. Ambos tienen un buen balance de impacto y dureza lo cual es un buen prerequisite cuando se va a utilizar para fabricar moldes de uso prolongado. Cuentan con una gran facilidad de pulido lo cual es indispensable para producir piezas de buen acabado superficial. El S-7 es el mas utilizado para moldes que requieren formas y secciones de pared complejas, debido a su

¹ Diferentes denominaciones de tipos de aceros según fabricantes y características del material.

facilidad de maquinado. Este tipo de acero es utilizado para moldes de piezas automotrices y eléctricas pequeñas. El H-13 tiene que ser sometido a un endurecimiento después del maquinado. En todos los casos donde se inyecte con resina nylon reforzada en moldes de acero S-7 y H-13, debe de llevarse a cabo un endurecimiento o cromado. El endurecimiento deberá llevarse a un grado de dureza Rockwell C-52 siendo la mínima recomendada. Una mayor resistencia al desgaste se obtiene cromando el molde debido a su mayor dureza que asciende hasta 65 a 70 Rockwell C.

ACEROS A-2 Y D-2

Los aceros A-2 y D-2 ofrecen excelente servicio a largo plazo debido a su alta dureza y resistencia al desgaste. Sin embargo, su dureza extrema significa que son susceptibles a romperse y no se recomiendan para moldes grandes donde las altas presiones asociadas al moldeo ocasionarían fallas en aceros tan rígidos. El D-2 es difícil de maquinar, no siendo práctico para moldes complejos.

Probablemente el mejor uso para los aceros A-2 y D-2 es en insertos, la vida útil de un molde fabricado en acero H-13, S-7 o P-20 puede incrementarse usando insertos de aceros A-2 y D-2 en las áreas de alto desgaste de los canales y entradas de material. Pueden ser cromados, nitrurizados y carburizados, para aumentar su dureza superficial.

ACERO P-20

Si se requiere moldear partes grandes en nylon, como paneles automotrices, el acero P-20 es una buena alternativa. Su menor dureza y rigidez permiten al P-20 ceder más bajo fuerzas de moldeo altas y eliminar las fracturas comunes en grandes moldes fabricados en aceros más duros. Se maquina muy fácilmente. La dureza puede incrementarse después de maquinarlo de 30-5 a 45-50 Rockwell C por tratamiento térmico, si se requieren grandes producciones con resinas de nylon reforzadas será necesario un cromado, carburizado o nitrurado.

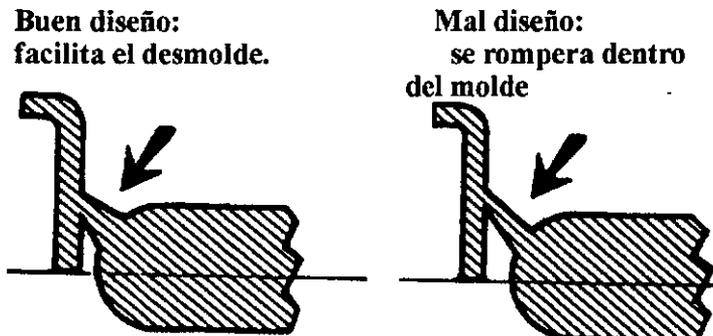
VENTEO

Un adecuado venteo de la cavidad del molde es esencial para asegurar un rápido llenado del molde y evitar material quemado en la parte final de la cavidad debido a la compresión del aire. Los venteos debe localizarse en los bordes de la cavidad lo mas alejados posibles de la entrada de material. Los venteos adecuados para nylon reforzado y sin reforzar con canales de 0.02 – 0.03 mm de profundidad por 3.2 mm de ancho cortados en la línea de partición del borde de la cavidad hacia la ceja exterior del molde. Para asegurar que no se obstruyan los venteos, se puede aumentar la profundidad comenzando a partir de una distancia de 3.2 a 4.8 mm de la cavidad hacia fuera.

COLADAS

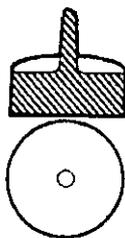
Un objetivo primordial al diseñar canales y entradas del material para nylon reforzado con fibra de vidrio debe ser el logro de un diseño que minimice el rompimiento de la fibra de vidrio, ya que la reducción en la longitud de las fibras de vidrio puede causar una reducción

significante en los valores de las propiedades físicas que se pueden obtener con estas resinas. Para minimizar el rompimiento de las fibras, debe proporcionarse un radio de curvatura en la unión del canal y la entrada de material, y si es posible, donde la entrada se une con la pieza. Cuando puede seleccionarse la posición de entrada de material en un área de pared delgada o de pared gruesa, la mejor selección será el área de pared gruesa; fluyendo en la sección gruesa, las fibras de vidrio transportadas en el nylon fundido tienen mayor oportunidad de girar sin romperse. En las figuras 4-1, 4-2 y 4-3 se muestran varios diseños de coladas para piezas en nylon.

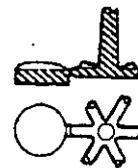


Diseño de colada

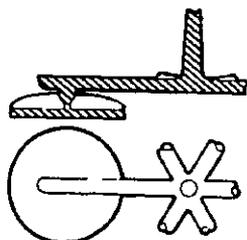
FIGURA 4.1



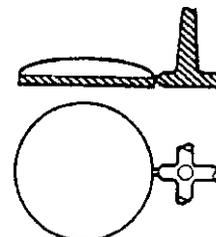
Colada central: para moldes de una cavidad y piezas simétricas recomendable para secciones delgadas.



Colada lateral o borde: para moldes de cavidades múltiples recomendable para secciones medianas y delgadas.



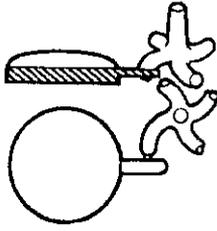
Colada pin (plato): usada para minimizar acabados y/o para operaciones automáticas, solo para secciones delgadas.



Colada pin (restrictiva): da un rápido y fácil acabado, solo para secciones delgadas.

Tipos de coladas

FIGURA 4.2



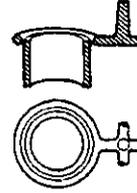
Apendice: provee una gran area para facilitar el desmoldeo, y cuando hay una puerta restrictiva.



Diafragma: para moldes de una cavidad y piezas de anillos concéntricas con diámetros pequeños y medianos.

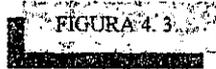


Anillo interno: similar al diafragma, usada en moldes con diámetros internos largos.



Anillo externo: usada en moldes multicavidades concéntricos para piezas de anillos.

Tipos de coladas



TERMINADO DE LA SUPERFICIE

Las resinas de nylon reproducen fielmente la superficie del molde. Si se desea un alto brillo de la pieza, la superficie del molde debe ser muy pulida o puede cromarse.

CERRADO DEL MOLDE

Las superficies de la línea de partición del molde deben revisarse para asegurar un contacto metal – metal al cerrar el molde, y la cara del molde debe ser limpiada cuando sea posible para incrementar la efectividad de la fuerza de cerrado del molde.

Se pueden utilizar indistintamente máquinas de pistón o máquinas de tornillo para la transformación del nylon.

Si se utilizan maquinas de pistón se recomienda usar resinas lubricadas o el uso de lubricantes externos para minimizar las perdidas por fricción y para ayudar a evitar el escurrimiento de material en la boquilla.

Al utilizar máquinas de tornillo, se recomienda que el tornillo sea de 3 zonas y de corta compresión para obtener buenos resultados. En ambos casos es imprescindible el uso de boquillas con dispositivos de cierre por aguja o de corredera debido, al alto grado de fluidez del nylon en estado de fusión.

PRESIONES INTERNAS EN CONTENEDORES, RECIPIENTES Y TANQUES.

Algunos diseños de piezas incluyen contenedores, recipientes o tanques al fabricar piezas de este tipo se requiere el conocimiento de algunas variables físicas involucradas como el manejo de presiones internas, para que las piezas puedan resistir y no sufrir fracturas o deformaciones, se puede utilizar la llamada "teoría de la cáscara" debido a que se considera que su espesor de pared puede ser una cáscara con una carga simétrica. Para distinguir entre la cáscara gruesa y delgada de los cilindros, la relación del espesor de pared (t) al radio (r) debe ser considerada como:

- Si $10t$ es $< r$, la teoría de la pared o cáscara delgada se aplica.
- Si $10t$ es $> r$, la teoría de la pared o cáscara gruesa se aplica.

Presión interna

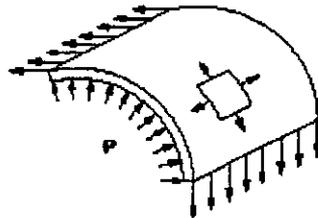


FIGURA 4.4

Pared delgada:

El máximo esfuerzo (aro o circunferencia) es:

$$\sigma = Pr/t$$

Donde P es la presión interna, r es el radio interno y t es el espesor de pared.

Pared gruesa:

El esfuerzo máximo es:

$$\sigma = P(ro_2 + ri_2)/(ro_2 - ri_2)$$

Donde ro es el radio externo, ri es el radio interno y P es la presión interna.

Cáscaras o superficies curvas.

- Espesor grueso: esfuerzos radiales y en aro (tensión).
- Espesor delgado: esfuerzo en aro solamente.

El esfuerzo crítico de una área altamente tensionada de un contenedor o recipiente es la junta o la sección en transición, localizada en la unión entre la cubierta externa y la cascara o el cuerpo del contenedor.

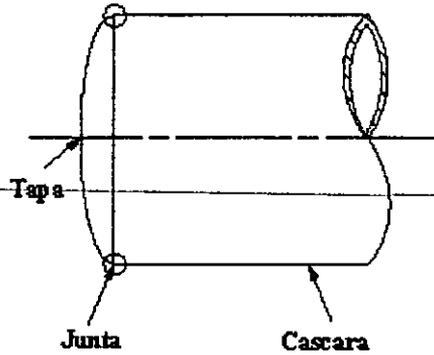


FIGURA 4.5

Esfuerzos en un tubo

Los grandes esfuerzos se localizan en la junta, mientras mas brusco sea el cambio, mayor será el esfuerzo existente. Como conclusión se observa que una forma esférica en la tapa es la mejor solución.

EXPANSIÓN TÉRMICA Y ESFUERZO.

Los esfuerzos térmicos no son típicamente considerados excepto en los casos de materiales no similares y en aquellos que serán ensamblados a otros materiales donde existan diferentes variaciones de temperatura. Esto ocurre cuando un termoplástico estará unido a un metal, (justamente nuestro caso), entonces el material con mayor expansión tenderá a separarse resultado de una carga de compresión, para eliminar esto, el esfuerzo permitido del material de mayor expansión térmica debe ser menor que el esfuerzo de compresión desarrollado en la expansión. La carga crítica de pandeo de la ecuación de Euler (P_e) permite calcular el esfuerzo critico de compresión.

$$P_e = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$$

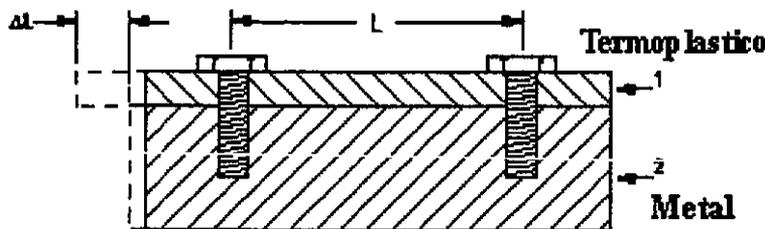


FIGURA 4.6

Carga crítica de pandeo

La siguiente ecuación calcula la diferencia de expansión térmica entre dos materiales diferentes (1 y 2).

$$\Delta L = (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T L$$

Donde:

alfa 1 = coeficiente de expansión térmica del material 1

alfa 2 = coeficiente de expansión térmica del material 2

delta L = cambio de longitud

delta T = cambio en temperatura

L = longitud entre los puntos a unir

Para calcular el esfuerzo térmico, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma = Pr / 2t$$

Esfuerzos de impacto

Una situación de impacto resulta cuando la carga en un parte ocurre sobre una área en un corto tiempo. Cuando se diseña para impactos, ciertamente se tiene que considerar. Un factor importante es minimizar las concentraciones de esfuerzos. Varios lugares en la pieza como agujeros, depresiones, costillas, bosses, y esquinas pueden crear concentraciones de grandes esfuerzos y crear fallas por impacto.

Modifique la parte, mientras sea posible, para reducir y eliminar los esfuerzos sobre áreas grandes.

Un método para predecir esfuerzos de impacto, deflecciones o estrés es calcular la deflección estática de la parte. Esta información puede ser utilizada para calcular un factor de amplificación.

Multiplicando la deflección estática por el factor de amplificación el esfuerzo puede ser determinado.

El factor de amplificación es:

$$K_p = 1 + \sqrt{1 + 2h / y_{estatica}}$$

Donde: h = altura de la pendiente
y = deflección estática.

DISEÑO DE COSTILLAS

Cuando se diseña una pieza, siempre es necesario determinar el número de costillas para producir un desempeño equivalente o esfuerzos basados sobre una pieza con costillas de diferente espesor. Un ejemplo es la conversión de una pieza de aluminio en una pieza de termoplástico. El siguiente método puede ser utilizado para determinar el número requerido de costillas. Se trata de minimizar la masa de la parte sin perder desempeño o manufactura.

Angulo de salida (en grados) = $\frac{1}{2}$

Base de la costilla sobre espesor de pared (T/W) = 0.75

Todos los valores son por unidad de área de espesor de placa, W

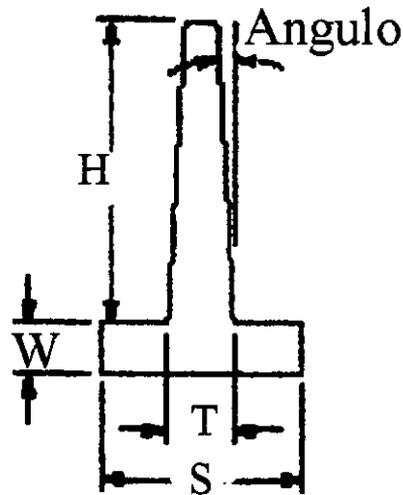


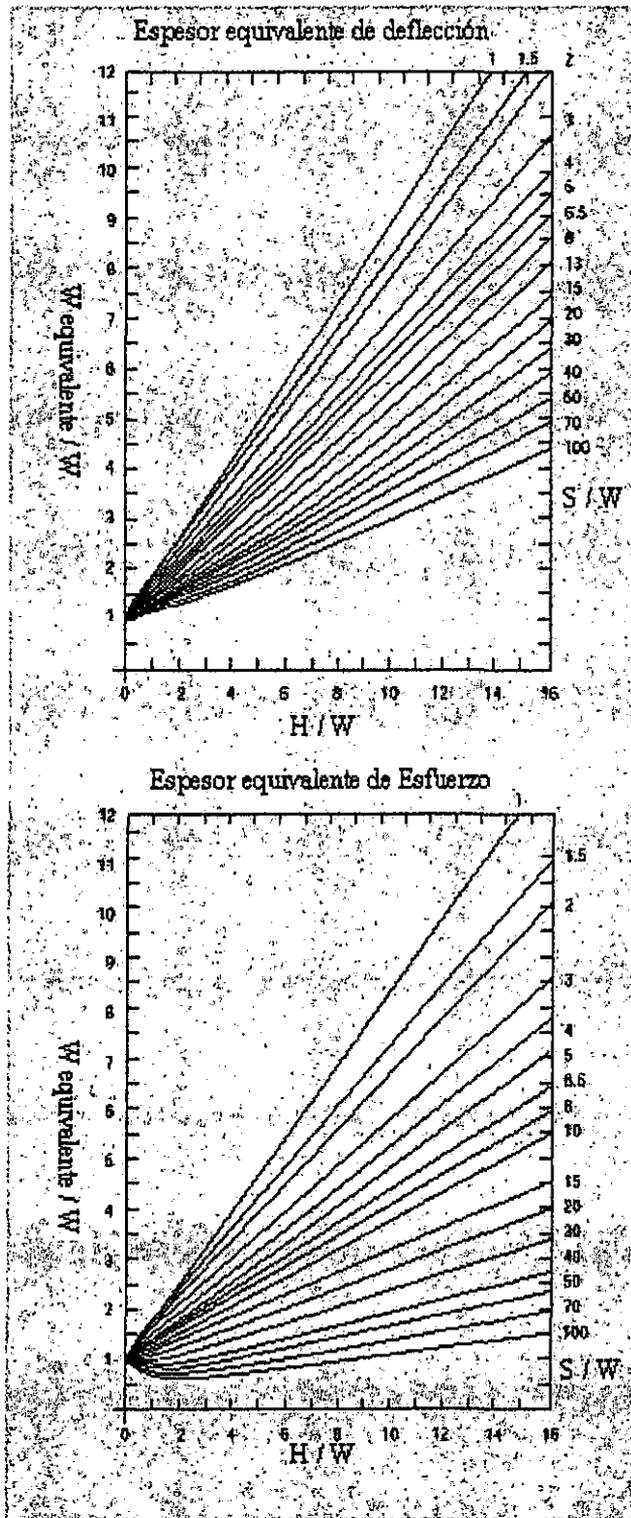
FIGURA 4-7

Diseño de costilla

Donde:

- W = espesor de pared
- T = espesor de la base de la costilla
- S = distancia entre costillas
- H = altura de la costilla.

La figura 4-7 muestra los parámetros geométricos usados en este método. Las curvas mostradas en la figura 4-8 han sido generadas para costillas con ángulo de salida de $\frac{1}{2}$ grado por lado y $T/W=0.75$. existen muchas curvas similares para otros valores.



Curvas equivalentes para deflección de costillas

FIGURA 4.8

La tabla 4-1 nos muestra las variaciones de peso y resistencia de diferentes tipos de costillas de 1/8 de pulgada de espesor.

Tabla de efectos de costillas con diferentes medidas

Caso	Forma	Tamaño de la costilla	Altura de costilla / espesor de pared	% en incremento de peso	% en incremento de rigidez
0		N/A	N/A	N/A	N/A
1		N/A	N/A	100%	700%
2		1/8 in W x 1/8 in H	1:2	3.12%	23%
3		1/8 in W x 1/4 in H	1:1	6.25%	77%
4		1/8 in W x 1/2 in H	2:1	12.5%	349%
5		1/8 in W x 3/4 in H	3:1	19.0%	925%
6		1/8 in W x 1 in H	4:1	25.0%	1901%
7		1/8 in W x 1 1/4 in H	5:1	31.0%	3352%

T = espesor = 1/4 in (3.1 mm)

TABLA 4.1

Diseñar para una rigidez equivalente

Al reemplazar metales por plásticos, la rigidez equivalente de la pieza plástica puede ser determinada. Cuando las dos piezas son equivalentes en la rigidez, la deflexión es la misma. La deflexión es inversamente proporcional al modulo de rigidez (R):

$$R = E I$$

Donde E es el modulo de elasticidad e I es el momento de inercia.

El momento de inercia puede variar de acuerdo a cada geometría. Ver figura 4-9. Sin embargo, por la ecuación del modulo de rigidez del metal y la condición de la pieza plástica la rigidez equivalente puede ser similar.

$$E_{\text{aluminio}} I_{\text{aluminio}} = E_{\text{plástico}} I_{\text{plástico}}$$

Para una pieza sólida:

$$E_{\text{aluminio}} t^3_{\text{aluminio}} = E_{\text{plástico}} t^3_{\text{plástico}}$$

Secciones de rigidez equivalentes

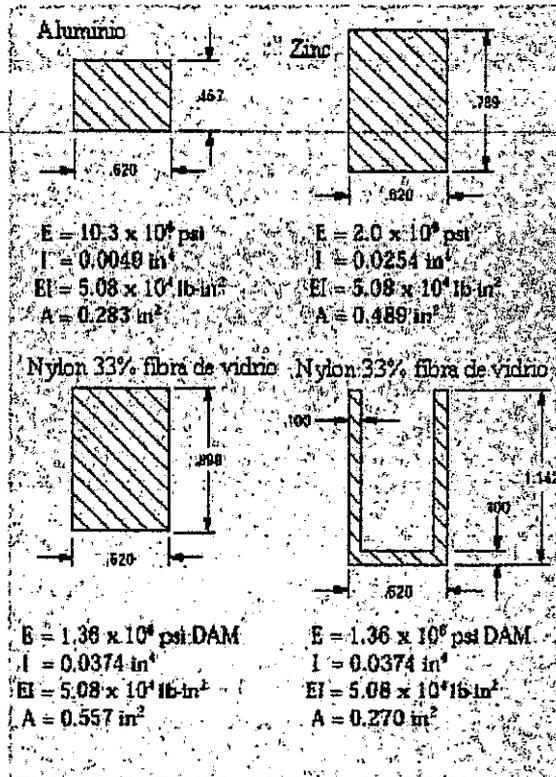


FIGURA 4.9

ENSAMBLE

Diseño con Snap-fit

Cuando se ensamblan dos piezas, los Snap-fits son simples, efectivos en costo y un método de rápido ensamble. Cuando se diseñan correctamente, pueden ser ensamblados y desensamblados muchas veces sin que se vean afectados. El diseñador debe tener cuidado ya que los Snap-fits tienen algunas limitaciones. Pueden incrementar el costo del molde de inyección, si piezas móviles se necesitan para lograr el diseño. El diseñador puede eliminar estas piezas móviles agregando una ranura directamente debajo de la línea del Snap-fit.

Snap-fit en cantiliver o cilíndricos

Muchas aplicaciones utilizan el Snap-fit cantiliver. El diseño cilíndrico puede ser utilizado con materiales termoplásticos sin refuerzos.

Snap-fit en cantiliver y cilindrico

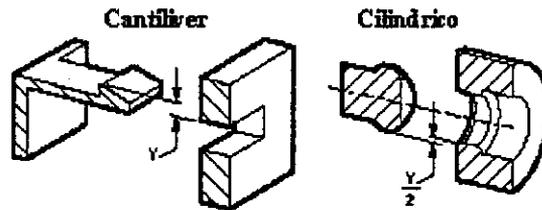


FIGURA 4. 10

Cuando se diseña un Snap-fit en cantiliver, el diseñador tiene que tomar en cuenta muchas consideraciones (cambiar la longitud, el espesor, dimensiones de deflección, etc.).

Para muchas aplicaciones, la sección uniforme de cantiliver es suficiente para diseñar Snap-fits.

Diseño de Snap-fits

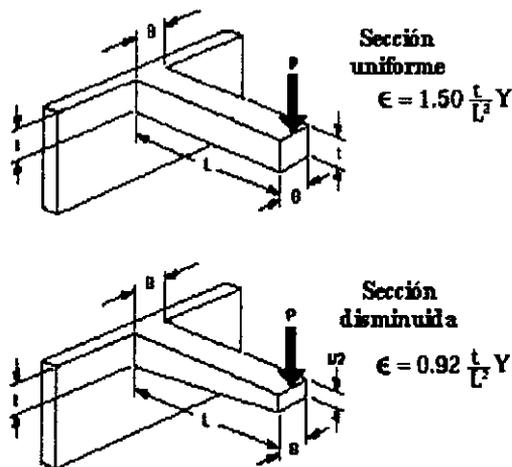
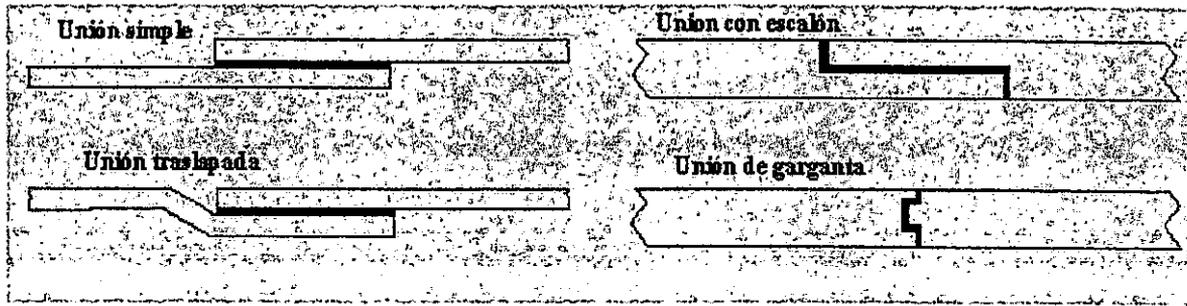


FIGURA 4. 11

Unión adhesiva

Otro método para ensamblar partes es aplicando un adhesivo. Dos materiales similares o no pueden ser unidos por medio de una pequeña gota adhesiva. Varios tipos de diseños de uniones se muestran en la figura 4-12.



Tipos de uniones con adhesivos

FIGURA 4.12

El tipo de adhesivo depende de la aplicación y su uso final. Detalles de algunos adhesivos se ven en la tabla 4-2. Cabe mencionar que son adhesivos utilizados para nylon.

Tabla de adhesivos

Adhesivo	Tipo	Curado	Fabricante
UR 1100	1 parte uretano	30 min @ 250 °F (121 °C)	HB Fuller (612) 481-3415
FE 6046 (Flexible Epoxy)	2 partes epoxico	60 min @ 200 °F (93 °C)	HB Fuller (612) 481-3415
Hysol 934	2 partes epoxico	60 min @ 200 °F (93 °C)	Hysol Aerospace Products (510) 458-8000
Scotch-Weld 2214 Regular	1 parte epoxico	40 min @ 250 °F (121 °C)	3M Company 1-800-362-3455
Scotch-Weld 2214 HI-Temp	1 parte epoxico	40 min @ 250 °F (121 °C)	3M Company 1-800-362-3455
Scotch-Weld 2216	2 partes epoxico	5 min @ 250 °F (121 °C)	3M Company 1-800-362-3455
Tyrite 5700 A/C	2 partes epoxico	15 min @ 200 °F (93 °C)	Lord Industrial Adhesives (814) 868-3611
Superbonder 498	Cianacrilato	30 sec @ 73 °F (23 °C)	Loctite Corporation 1-800-562-0560
Cylok P	Cianacrilato	10 - 30 sec @ 73 °F (23 °C)	Lord Industrial Adhesives (814) 868-3611
Pernabond 268	Cianacrilato	10 sec @ 73 °F (23 °C)	Pernabond Int'l 1-800-526-4741
3-0100	Silicón	24 hrs @ 73 °F (23 °C)	Dow Corning (517) 496-6000

TABLA 4-2

Poliuretanos: alta dureza, buena resistencia al impacto, baja temperatura de curado, limitada resistencia a la humedad, largos tiempo de curado, dos piezas y generalmente necesitan ser mezclados.

Epoxies: alta dureza, resistencia a altas temperaturas, poca resistencia al impacto, largos tiempos de curado y se necesita hacer mezcla.

Cianoacrilatos: como la "Kola loca", que tiene una alta dureza, un rápido pegado, temperatura baja de resistencia, poca resistencia al impacto, y limitada resistencia a la humedad.

Silicones: baja dureza, muy alta resistencia al calor, buena resistencia al impacto, buen sellado, tiempo de curado muy rápido, necesitan ser mezclados y material de muy alto costo.

Tornillos, tuercas y pijas

Tornillos de metal son utilizados para ensamblar componentes termoplásticos, sin embargo también se utilizan tornillos autoroscables. Tornillos y tuercas su utilizan para unir piezas de metal con plásticos o de plástico con plástico. Se debe de tener cierto cuidado para prevenir un esfuerzo excesivo de compresión sobre las piezas plásticas:

- El ensamble debe de requerir cierto torque y ser controlado, un excesivo apriete puede ocasionar una ruptura.
- Los altos torques producen esfuerzos de compresión altos, elevadas temperaturas pueden incrementar los esfuerzos.
- Un tornillo de cabeza ancha con una rondana plana de gran diámetro puede ayudar a incrementar el área de contacto y reducir esfuerzos. La figura 4-13 ilustra este concepto.

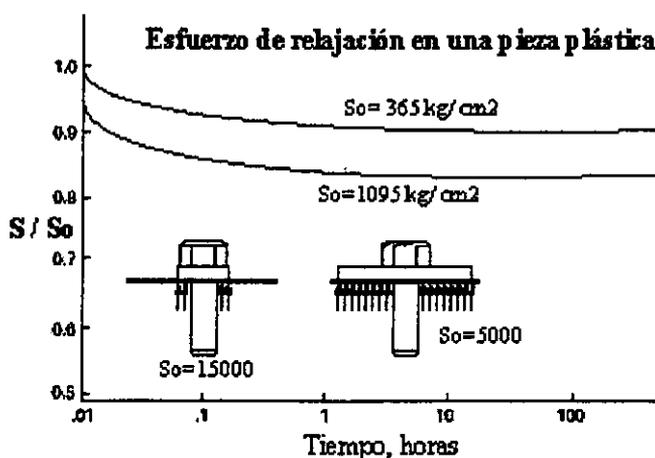


FIGURA 4-13

- Los tornillos de cabeza plana y remaches deben de ser evitados en aplicaciones plásticas, estos tornillos cónicos pueden acufarse y causar esfuerzos ocasionando la ruptura de la pieza.
- Si ocurre un esfuerzo de relajación, la fuerza de agarre y el torque producido por el tornillo puede perderse. Una rondana de presión puede utilizarse para mantener el torque y la fuerza adecuados.

Diferentes tipos de rondanas

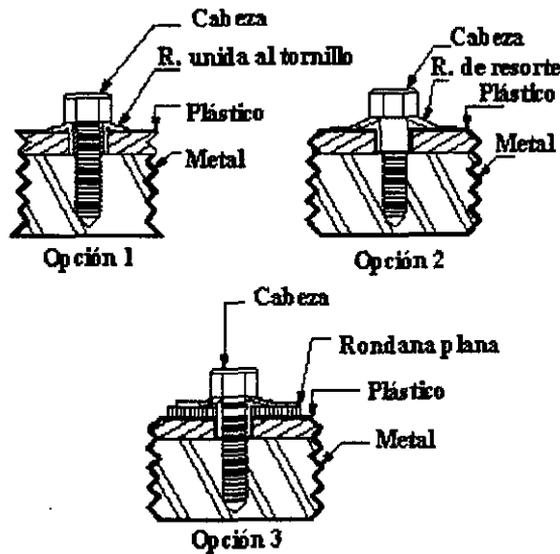


FIGURA 4.14

Existen tornillos autoroscables de varios tipos para plásticos.

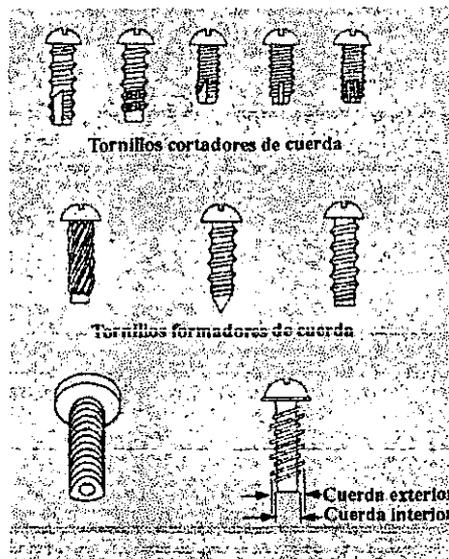


FIGURA 4.15

Tornillos autoroscables para plástico

Insertos

Los insertos utilizados en los materiales plásticos son de varios tipos. Los más comunes son insertos de metal con cuerda, pudiendo ser interna o externa, también existen cuerdas tipo inserto.

Los insertos metálicos se utilizan cuando la aplicación requiere de ensamble y desensamble repetidas veces, y el ensamble necesite tener una buena resistencia a la ruptura y relajación de compresión. Existen varios métodos de instalar los insertos:

Ultrasonido

Este método utiliza el mismo equipo que la soldadura ultrasónica. Las altas frecuencias producen vibraciones que generan calor entre el inserto y el plástico, lo que ocasiona que se funda dentro del bosse, este proceso dura 5 segundos y tiene bajos esfuerzos residuales y una lata dureza a extraer el inserto.

Térmico

Es similar al de ultrasonido ya que el inserto es fusionado dentro del bosse, pero la diferencia es que el inserto es calentado por una maquina parecida a una soldadura de hierro, es lento y deja pequeños esfuerzos residuales.

Auto roscado

Este tipo de insertos tienen una cuerda autoroscante y se manejan dentro del agujero utilizando equipo de bajo costo.

Expansión

Este tipo de insertos no son normalmente deseados. El inserto es empujado dentro del bosse y al atornillarlo con su tornillo, se expande y se fija en el bosse. Permite la creación de grandes esfuerzos y tiene un poco resistencia mecánica.

Insertos

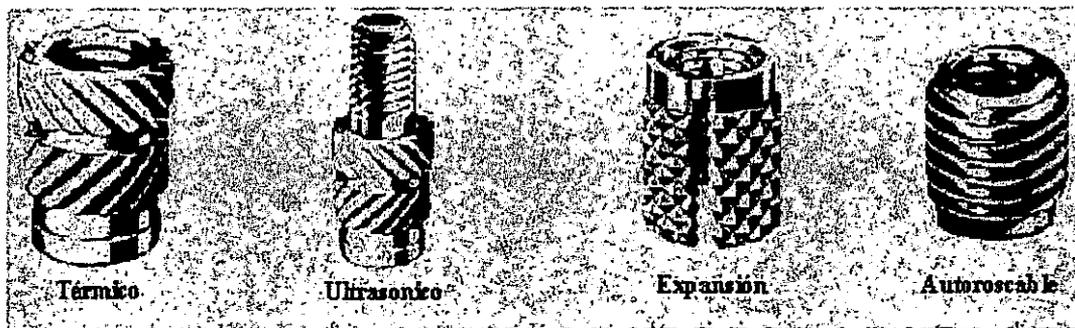


FIGURA 4.16

SOLDADURA

Soldadura ultrasónica

Este tipo de soldadura es rápida para ensamblar materiales iguales o muy parecidos de plástico. La energía eléctrica es convertida en vibraciones mecánicas causando calor por fricción entre las piezas a unir y funde el plástico. Las piezas son sometidas a cierta presión mientras es aplicado el ultrasonido. El tiempo general de soldado es de 0.5 – 1 segundo, las frecuencias comunes son de 20 – 40 KHz. Existen dos tipos principales de soldadura ultrasónica, la de cizalla y la directa. La Primera es usada generalmente en materiales como nylon y poliéster, es decir, para materiales semicristalinos.

Soldadura ultrasónica

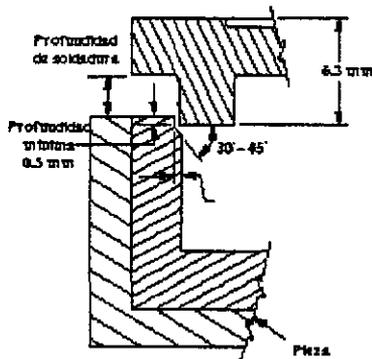


FIGURA 4-17a

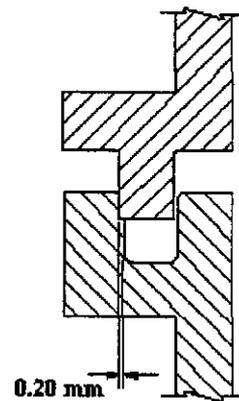
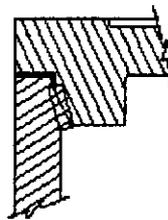


FIGURA 4-17b

La de energía directa utiliza un pequeño borde triangular que será fundido como material de aporte, y generalmente se utiliza para materiales amorfos, generalmente el diseño de la pieza incluye dicho triángulo para asegurar la soldadura. Ver figura 4-18 a y b, figura 4-19.

Soldadura por vibración

Este tipo de soldadura se utiliza para ensamblar piezas largas estructurales. En este proceso, el calor de fricción es desarrollado por el movimiento de dos partes bajo presión. Se pueden obtener soldaduras fuertemente herméticas utilizando este tipo de soldadura. El tiempo de soldadura va de 2- 3 segundos y las frecuencias varían de 120 Hz o 240 Hz con amplitudes pico que va de 0.60 pulgadas - 0.140 pulgadas y 0.30 pulgadas a 0.65 pulgadas respectivamente.

El ciclo de soldadura se muestra en la figura 4-20. Algunos diseños comunes de soldadura se muestran en la figura 4-21.

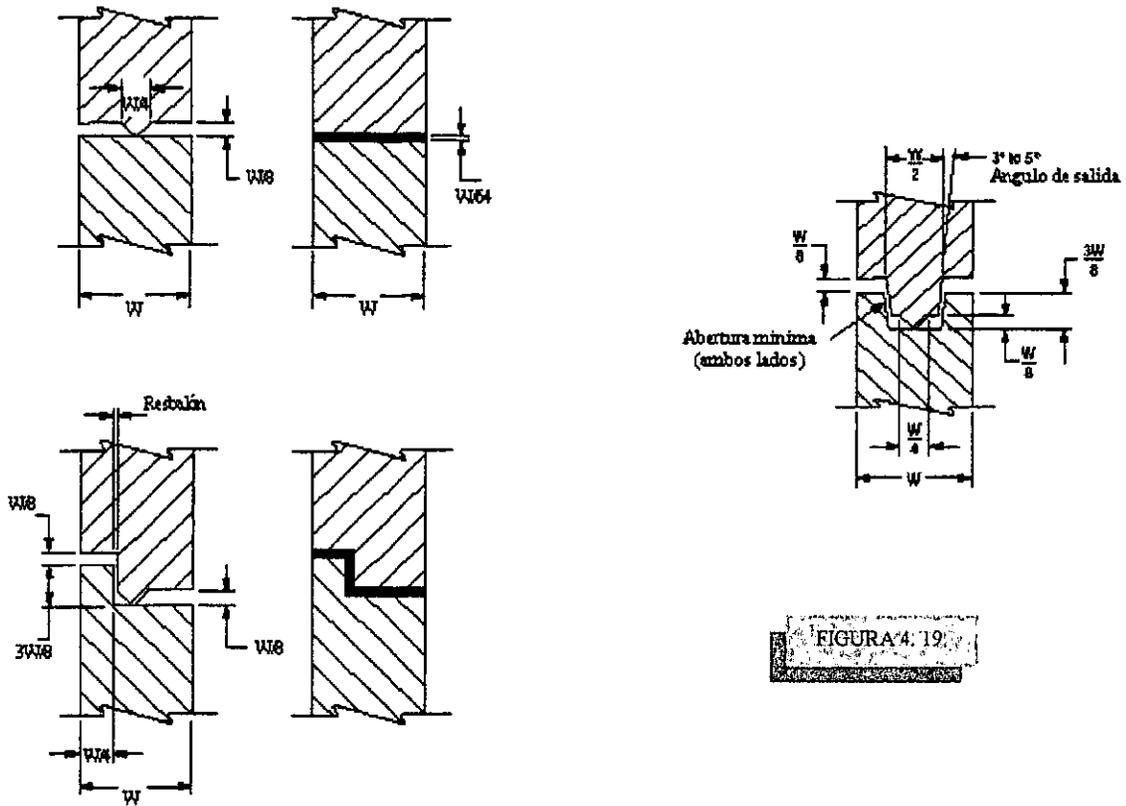


FIGURA 4.19

FIGURA 4.18 a y b

Ciclo de soldadura

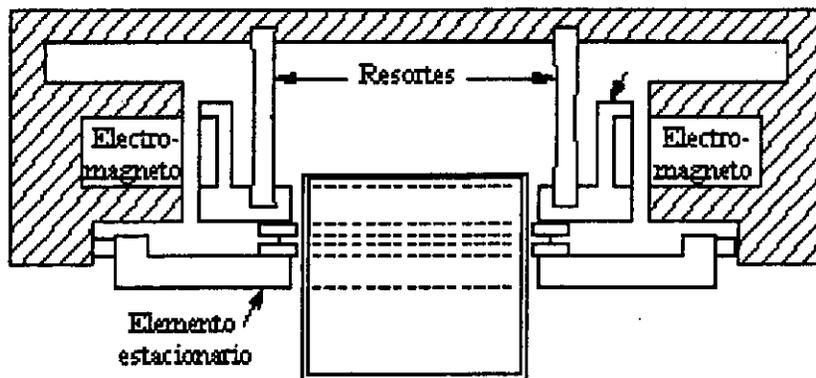


FIGURA 4.20

Diseños comunes de soldadura

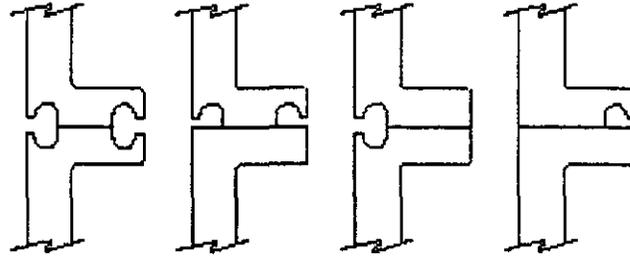
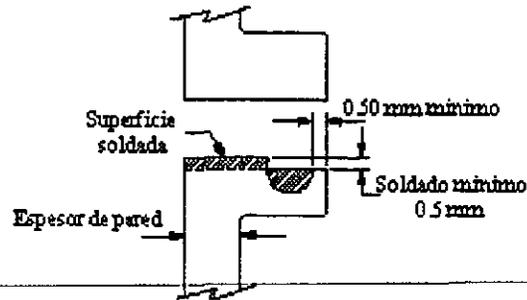


FIGURA 4.21

Con todas estas figuras y breves explicaciones se observa que los métodos de soldadura son muy utilizados en la producción de piezas plásticas, siendo de vital importancia el conocer la función final de la pieza para poder realizar una adecuada selección del proceso si es que requiere de algún tipo de ensamble.

Como parte final de este capítulo se muestra una guía de los principales problemas y soluciones comunes en el proceso de inyección de nylon.

Manchas negras

Máquina	Molde	Material
Purgar o limpiar el cilindro o la boquilla sucios. Verificar que no haya fracturas en el cilindro. Verificar que la boquilla asiente bien en el molde. Limpiar el área superior de la tolva. Cambiar el molde a una máquina más pequeña. Reducir las RPM's del husillo.	Verificar que no haya grasa o aceite en el molde. Reducir el nivel de lubricante de los pernos botadores.	El material puede "curarse" rápidamente. Secar el material si hay humedad. Corregir si hay un secado excesivo para mejorar el flujo y el llenado del molde.

Polímero quemado

Máquina	Molde	Material
<p>Reducir la velocidad de inyección Fijar menores temperaturas. Disminuir la presión del sostenimiento Reducir el tiempo de sostenimiento.</p>	<p>Verificar el venteo del molde: agrandar y/o limpiar. Centrar el molde si esta desplazado. Cambiar la ubicación de la compuerta.</p>	<p>Cambiar el grado o el flujo del material.</p>

Decoloración

Máquina	Molde	Material
<p>Purgar el cilindro. Disminuir la temperatura del fundido. Mover el molde a una máquina con un cilindro más pequeño. Disminuir la temperatura de las zonas posteriores. Disminuir la contra presión. Reducir las RPM's del husillo.</p>	<p>Reducir la temperatura del bloque de corredores calientes.</p>	<p>Examinar en la tolva y en recipientes recién abiertos par verificar que no haya contaminación por otro color.</p>

Fragilidad

Máquina	Molde	Material
<p>Bajar la temperatura del fundido disminuyendo las temperaturas fijadas, reduciendo la contrapresión, o bajando la velocidad del husillo. Aumentar la velocidad de inyección. Si empeora, disminuir la velocidad de inyección o aumentar el tamaño o el numero de las compuertas. Mover el molde a una máquina de menor cilindro, de manera que el peso del tiro sea del 40 al 80% de la capacidad de barril determinada para el poliestireno.</p>	<p>Bajar la temperatura del molde. Aumentar el radio de los filetes de la esquinas.</p>	<p>Disminuir la cantidad de remolido. Secar el material antes de usarse. Si la resina esta muy seca, disminuir el secado y bajar la temperatura stock y las presiones. Humedecer la piezas antes de su transportación. Usar un material de mayor impacto. Verificar la viscosidad relativa de la pieza.</p>

Rebabas

Máquina	Molde	Material
Aumentar el tiempo de sostén. Incrementar la fuerza de cierre. Usar un maquina de mayor tonelaje. Reducir la alimentación. Bajar la temperatura de fundido.	Alinear o ajustar el molde. Examinar que las superficies del molde no estén contaminadas. Checar los insertos en las cavidades del molde.	Cambiar el tipo de material.
Verificar la alineación de las platinas. Tiempos de apertura de compuertas consistentes. Verificar que los pirómetros estén en rangos normales de trabajo.	Reducir la temperatura del molde. Mejorar el venteo en el molde.	

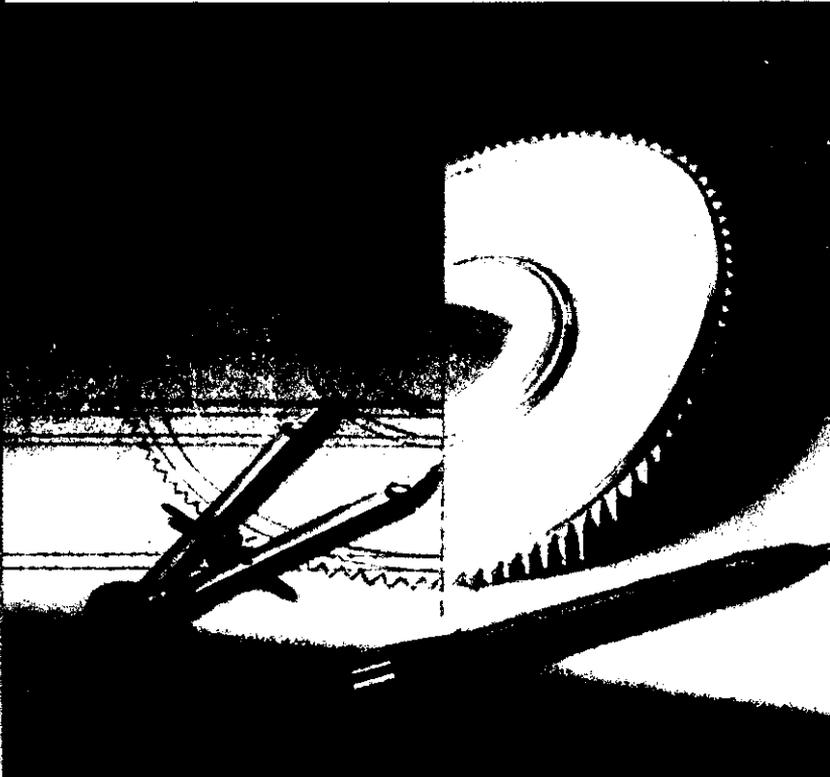
Tiros cortos

Máquina	Molde	Material
Aumentar la temperatura del fundido. Aumentar la presión de sostenimiento. Aumentar el tiempo de sostenimiento. Aumentar la alimentación. Mover el molde a una máquina de mayor capacidad. Checar el sistema hidráulico de la máquina. Aumentar la presión de inyección. Aumentar la velocidad de inyección. Checar válvula check.	Elevar la temperatura del molde. Balancear las compuertas. Aumentar el espesor de l pieza. Mejorar y/o limpiar los venteos. Mejorar la ubicación de las compuertas. Abrir los corredores y/o la boquilla.	Usar un material de mejor flujo. Disminuir el secado. Checar que no exista exceso de lubricante. Si la resina húmeda causa problemas de resbalamiento del husillo, secar la resina.

El contenido de humedad recomendado para el nylon para moldeo por inyección es de 0.15 o 25% medido del fondo de la tolva de alimentación o la entrada a la garganta del barril.

Con esta pequeña guía se pretende dar una rápida solución a los principales problemas en la inyección de nylon, es muy importante mencionar que para cada tipo de material las consideraciones al moldear son muy diferentes y que se tienen que tomar en cuenta al principio del proceso de diseño tanto como de la pieza como del molde.

EJEMPLOS



EJEMPLO 1

PLACA PLANA DE ALUMINIO

El siguiente ejemplo muestra la conversión de una placa plana de aluminio de 6 pulgadas x 10 pulgadas (15.24 x 25.4 cm) con un espesor de 0.125 pulgadas (0.31 cm) a una placa de nylon reforzado con fibra de vidrio con costillas y teniendo una rigidez equivalente.

Para placas planas de la misma rigidez es válida la siguiente fórmula:

$$E_A T_A^3 = E_P T_P^3$$

Conociendo :

$$E_{\text{aluminio}} = 1.0 \times 10^7 \text{ Psi (730,000 kg/cm}^2\text{)}$$

$$E_{\text{plástico}} = 5.0 \times 10^5 \text{ Psi. (36,500 kg/cm}^2\text{)}$$

Sustituyendo en fórmulas:

$$\begin{aligned} T_{\text{plástico}} &= (E_A T_A^3 / E_P)^{1/3} \\ &= \{1.0 \times 10^7 (0.125)^3 / 5.0 \times 10^5\}^{1/3} \end{aligned}$$

$$T_p = W_{\text{equiv}} = 0.339 \text{ pulgadas (0.8 cm)}$$

Este es el espesor de pared que la placa de plástico debe de tener si no tuviera costillas. Debido a que el espesor de pared es más delgado que el deseado para hacer la inyección, el agregar costillas puede ser una alternativa.

Debemos de elegir dos valores: el espesor de pared (**W**) y la altura de la costilla (**H**) o la distancia entre costillas (**S**). Para este ejemplo, seleccionaremos **W**= 0.125 pulgadas (0.31 cm) y **H**= 0.725 pulgadas (1.8 cm).

Al sustituir en la fórmula:

$$W_{\text{equiv}} / W = 0.339 / 0.125 = 2.712$$

$$H / W = 0.725 / 0.125 = 5.8$$

$$T / W = 0.75 \text{ despejamos } T = 0.125 (0.75)$$

$$T = 0.094 \text{ pulgadas (0.2 cm)}$$

Lo que nos importa es la deflexión equivalente, debemos buscar en la curva que corresponda a estos dos diferentes radios y observamos que **S/W**= 20, despejando la **S**:

$$S = (0.125) 20 = 2.5 \text{ pulgadas (6.35 cm)}$$

Esto significa que para una placa plana de 6 pulgadas x 10 pulgadas, se necesitaran 3 y 4 costillas respectivamente. Y la sección equivalente en material plástico se vería como la figura 1.

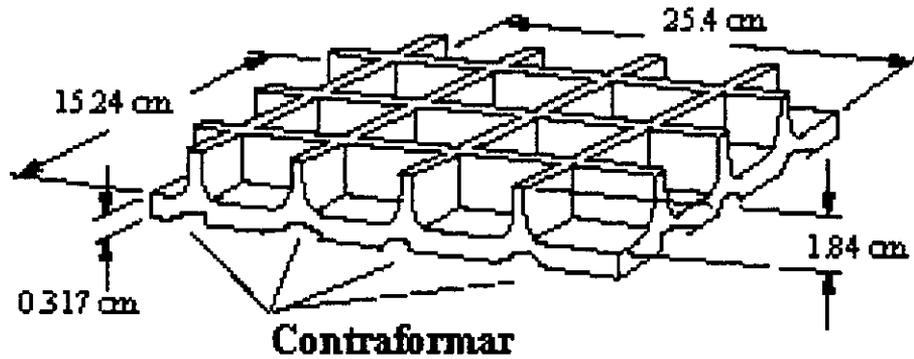


FIGURA 1

Nota : la solución es contraformar en la parte inferior de la placa.

EJEMPLO 2:

SOPORTE DE PILOTO AUTOMÁTICO

En este ejemplo es una caja de soporte de un control de piloto automático, el problema es que después de la conversión de metal a plástico existe un alabeo. Se piensa que se puede deber a tres razones:

1. Material
2. Proceso
3. Diseño

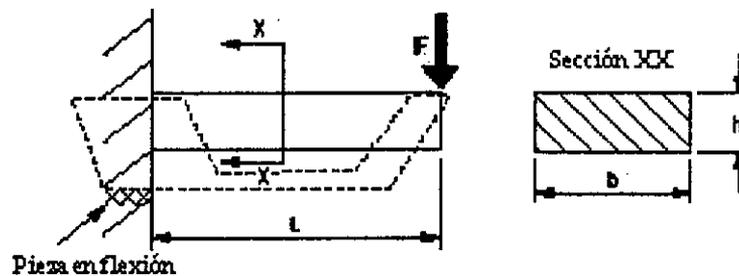
Se procede a realizar un análisis, de donde se utilizara una viga simple en cantiliver (similar a la de la pieza en su uso final).

$$R = E I$$

E = modulo de elasticidad

I = momento de inercia

R puede ser incrementada si se aumenta E o I .



Nota: se debe de observar que la sección analizada se debe a que la parte izquierda de la pieza, la cual esta básicamente anclada, tiene una sección larga de modulo y es mucho más rígida que en la parte central de la pieza.

Si observamos que $I = bh^3 / 12$, un pequeño cambio en h resultaría en un efecto cubico o en un largo incremento de R , siendo un cambio muy efectivo.

Si h es duplicada, se incrementara R 8 veces.

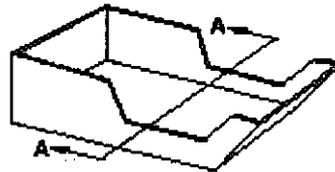
Para hacer la pieza de plástico más rígida que la de metal:

$$EI_{\text{plástico}} \geq EI_{\text{metal}}$$

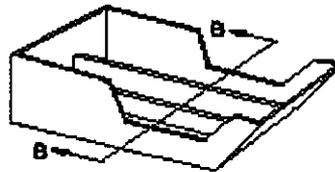
Si la Eplástico es de 740,000 Psi (54020 kg/cm² Nylon Capron 8233) @ 50% de humedad relativa y para el acero 30,000,000 Psi(2190 kg/cm²).

Entonces los resultados serian los siguientes:

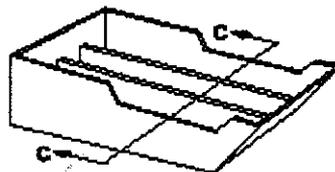
Sección AA	Sección BB	Sección CC
Pieza original en acero	Pieza actual en plástico	Pieza rediseñada en plástico
$I = .0002$ $EI = 6,000$	$I = .0008$ $EI = 592$	$I = .041$ $EI = 30,340$



Pieza en acero



Pieza p lástica actual



Rediseño

Conclusiones:

Un cambio en el material no seria suficiente, debido a que incrementaría el costo.
El proceso no determina que sea el problema según el análisis.
El rediseño se aplico con resultados exitosos.

EJEMPLO 3:

TAPA DE TERMOSTATO

En este ejemplo se observan los efectos del medio ambiente. El problema es una pieza esta fuera de especificaciones. Las posibles razones de que la pieza falle pueden ser:

- 1. Material**
- 2. Proceso**

La falla corresponde a una variación dimensional.

La pieza fue inspeccionada por el control de calidad y puesta en almacenamiento.

Cinco meses después fue requerida por un cliente y la pieza tenía 0.0045 pulgadas fuera de medidas y la regresa el cliente.

Se comienza con un análisis:

La pieza fue moldeada en nylon Capron 8233. La dimensión crítica, y la importante es 2.002 pulgadas en el diámetro. Se ha asumida que el problema puede ser debido a que la pieza absorbió humedad.

Si la pieza fue medida después de moldearse, la pieza se encontraba en condiciones seca como se moldeo (DAM). Si se observa el crecimiento dimensional de la pieza contra el porcentaje de humedad relativa del material, se puede ver que el crecimiento de la pieza al 50% de humedad relativa es 0.00025 pulgadas/pulgadas. La siguiente fórmula es utilizada mundialmente para cálculos de dimensiones críticas, la fórmula para una circunferencia alrededor de una pieza es:

$$c = Dx\pi$$

Donde :

C = dimensión crítica

D = diámetro

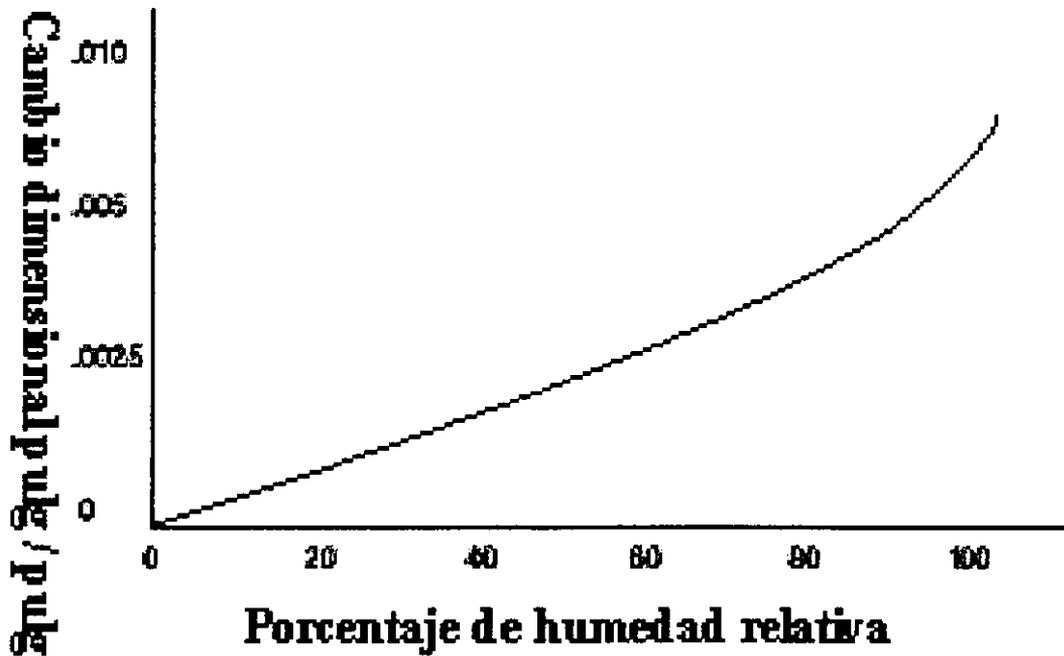
Si multiplicamos 2.002 pulgadas de diámetro por 0.00025 pulgada/pulgada, obtenemos un crecimiento de la pieza de 0.0005 pulgadas, siendo esta la medida que nos dio de falla la pieza en almacenamiento.

Conclusiones :

1. Solo se deben de verificar cuando las tolerancias sean muy reducidas.
2. Se pueden corregir preparando el tamaño del molde tomando en cuenta el tamaño de la pieza de acuerdo a una humedad relativa del 50%.
3. Las piezas pueden ser condicionadas inicialmente con dimensiones estables.

Después de este ejemplo se observa claramente que hay un factor muy importante de cuando se moldean piezas en materiales que absorben agua, y este debe de tomarse en cuenta para las dimensiones, existen curvas específicas de absorción de agua de los diferentes materiales y también curvas de porcentaje de humedad contra cambio dimensional, como la que muestro en la gráfica:

Gráfica de porcentaje de humedad relativa VS cambio dimensional

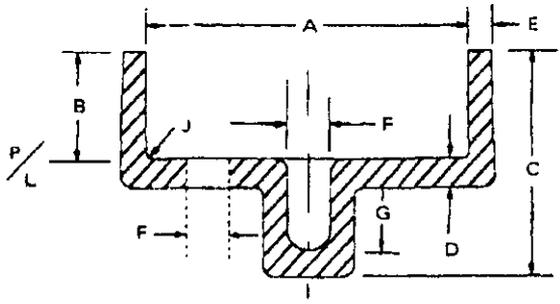


FICHAS TECNICAS DE NYLON

ANEXO

Los valores comerciales representan costos de producción e nivel económico, los valores finos representan tolerancias mayores y un aumento en los costos.

Codigo de letras	Dimensiones (pulgadas)	Tolerancias																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
A = Diámetro (ver nota 1)	0.000																												
	0.500																												
	1.000																												
	2.000																												
	3.000																												
	4.000																												
B = Profundidad (ver nota 3)	4.000																												
	5.000																												
	6.000																												
C = Altura (ver nota 3)	6.000 a 12.000 por cada pulgada adicional agregue (pulg)	Comm. †	Fine †																										
		.003	.002																										
D = Pared de piso (ver nota 3)		.004	.003																										
E = Pared lateral (ver nota 4)		.005	.003																										
F = Diámetro de agujero (ver nota 1)	0.000 to 0.125	.002	.001																										
	0.125 to 0.250	.003	.002																										
	0.250 to 0.500	.003	.002																										
	0.500 & Over	.005	.003																										
G = Profundidad de agujero (ver nota 5)	0.000 to 0.250	.004	.002																										
	0.250 to 0.500	.004	.003																										
	0.500 to 1.000	.005	.004																										
Angulo permitido por lado (ver nota 5)		1/4°	1/2°																										
Uniformidad plana (ver nota 4)	0.000 to 3.000	.010	.004																										
	3.000 to 6.000	.015	.007																										
Tamaño de la cuerda (clase)	Interna	1	2																										
	Externa	1	2																										
Concentricidad (ver nota 4)		.010	.006																										
Costillas, esquinas, bordes. (ver nota 6)		.020	.012																										
Acabado de superficie	(ver nota 7)																												
Colorabilidad	(ver nota 7)																												

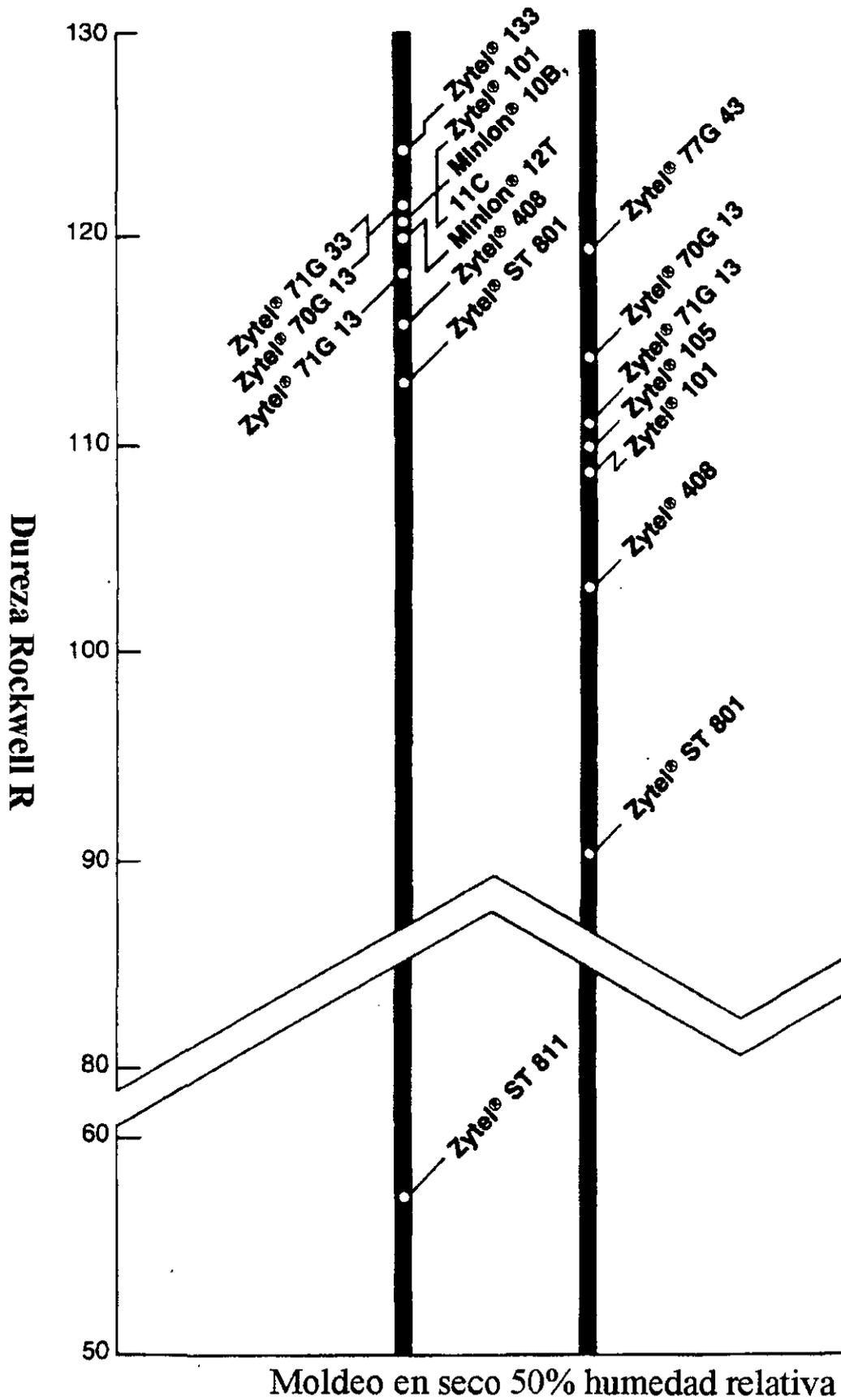


Notas de referencia

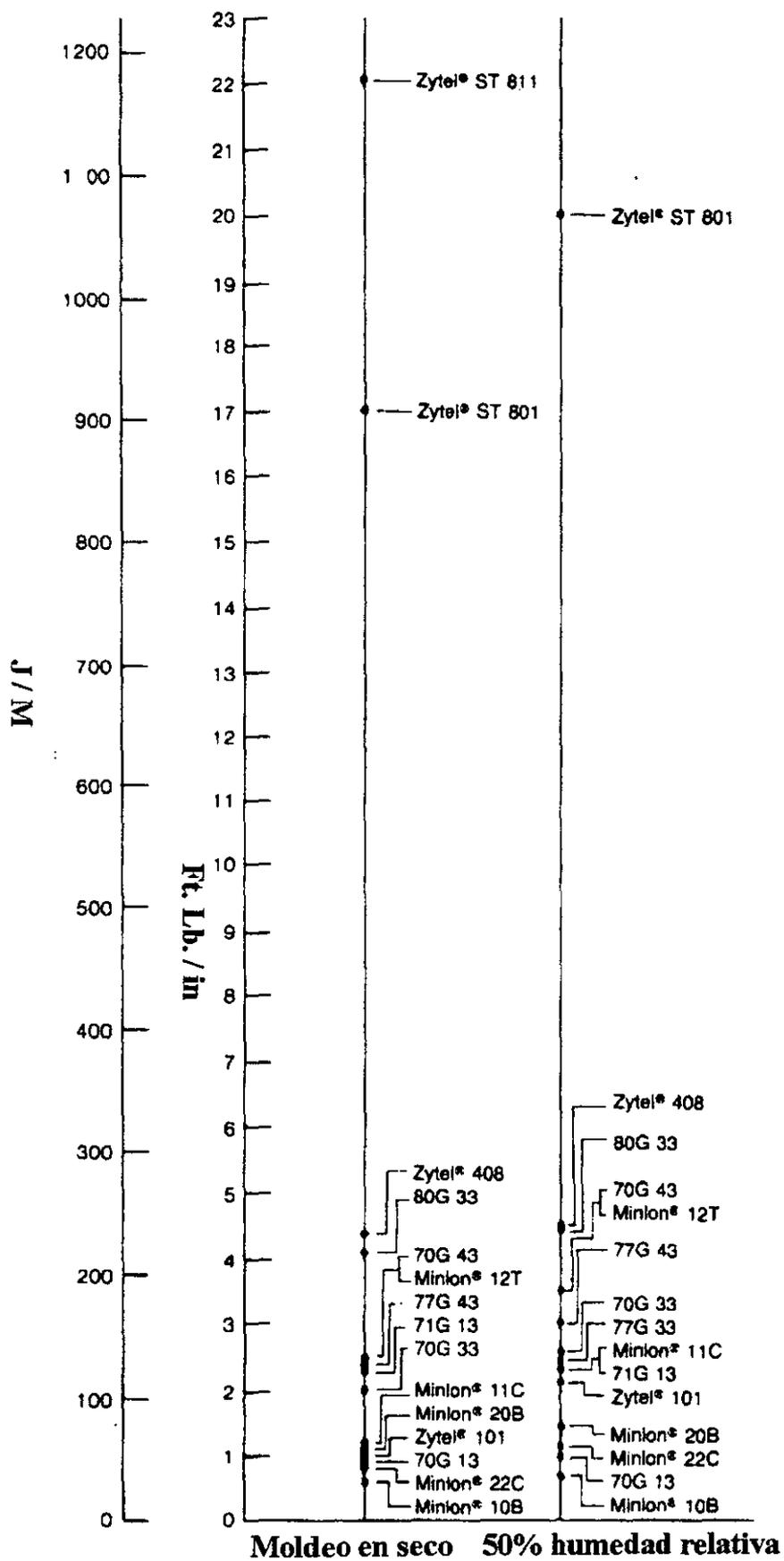
- 1.- Estas tolerancias no incluyen características específicas del material.
- 2.- Tolerancias basadas en un espesor de pared de 1/8 de pulgada.
- 3.- La línea de partición debe de tomarse en cuenta.
- 4.- El diseño de la pieza debe de tomar el espesor de pared lo mas constante posible. Una completa uniformidad en esta dimensión es imposible de obtenerse.
- 5.- Debe de tenerse cuidado en el radio de profundidad de un agujero debido a que se puede crear un punto que dañe en exceso el corazon.
- 6.- Estos valores pueden ser incrementados siempre que exista compatibilidad con el diseño requerido y una adecuada tecnica de moldeo.
- 7.- Se requiere conocimiento del cliente o moldeador antes de maquinarse.

Conversión SI
Pulgada = 25.4 mm

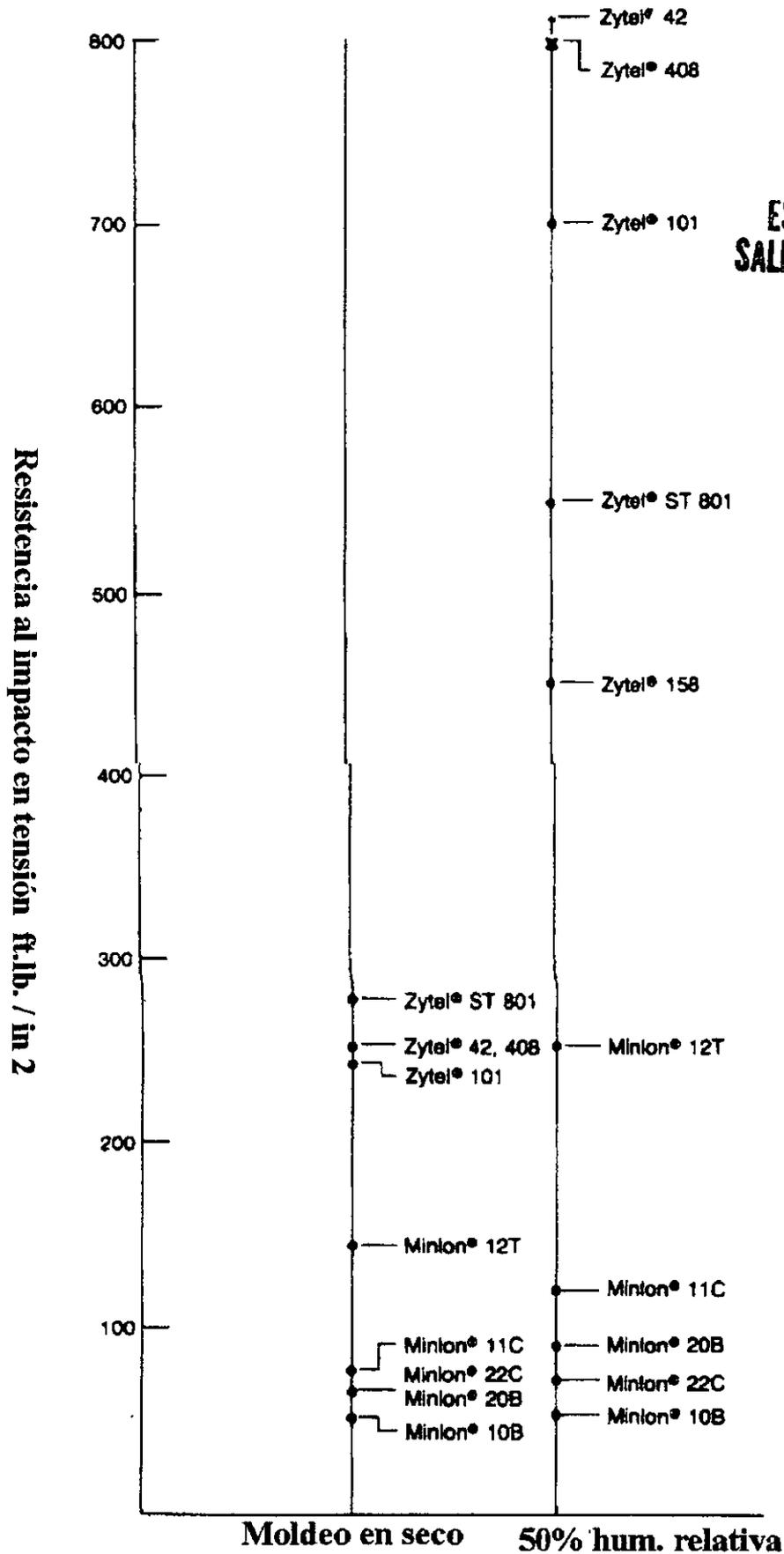
Gráfica comparativa de dureza



Gráfica comparativa de impacto IZOD

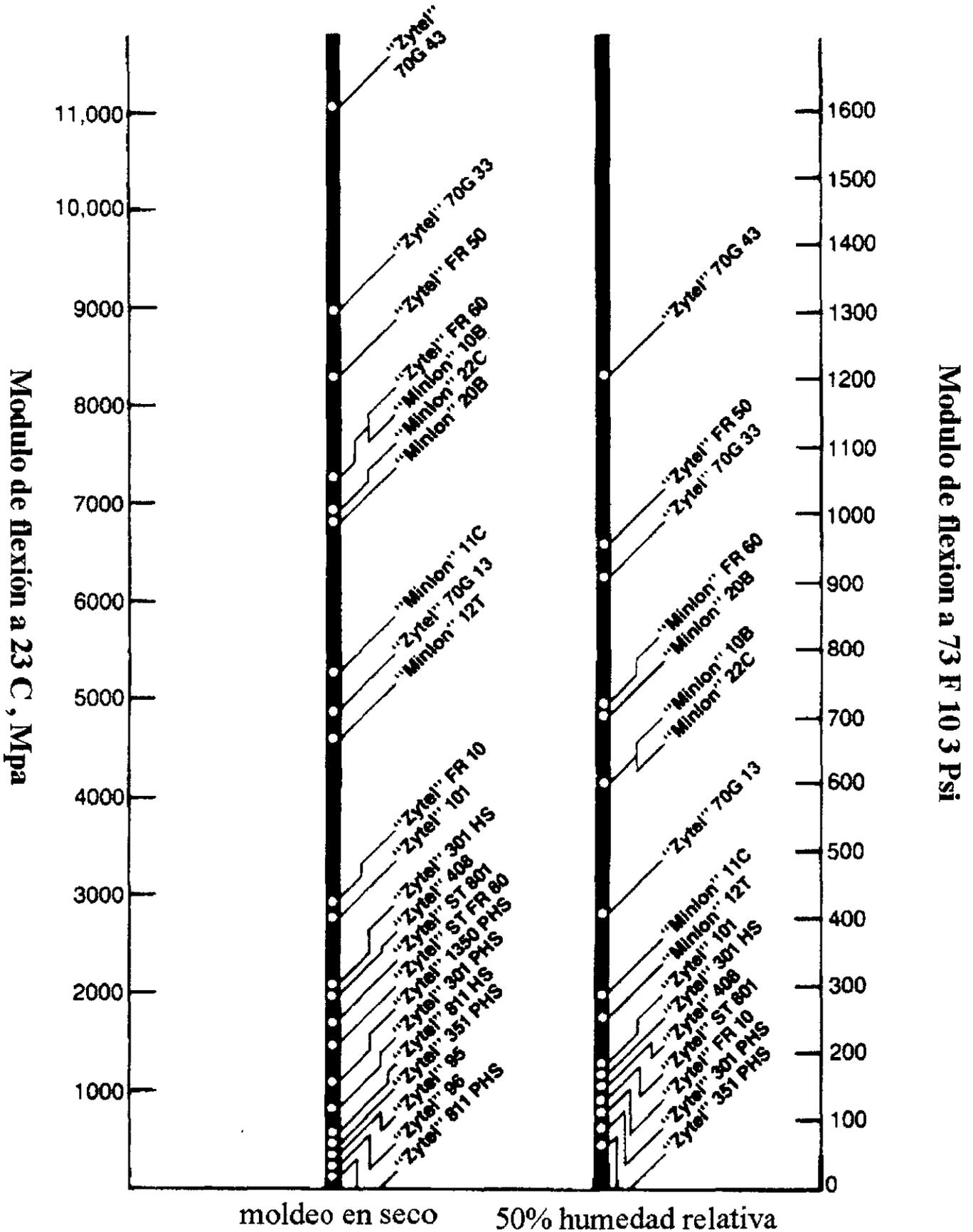


Gráfica comparativa de módulo deflexión



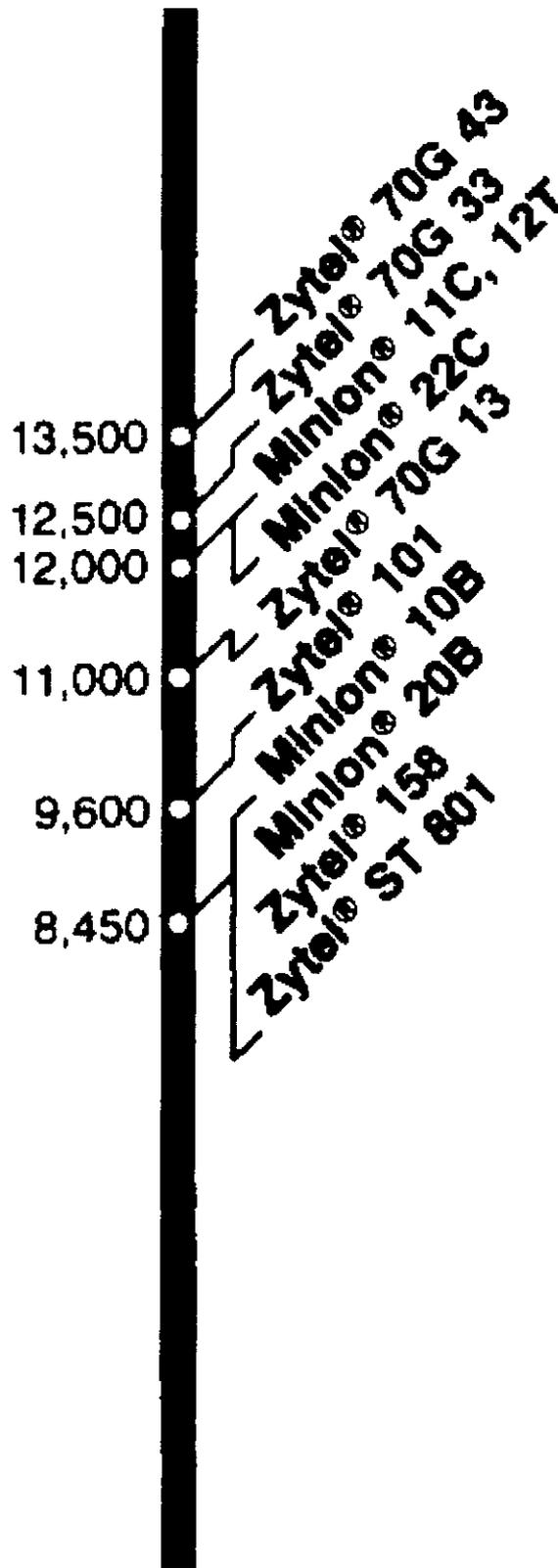
ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Gráfica comparativa de módulo deflexión



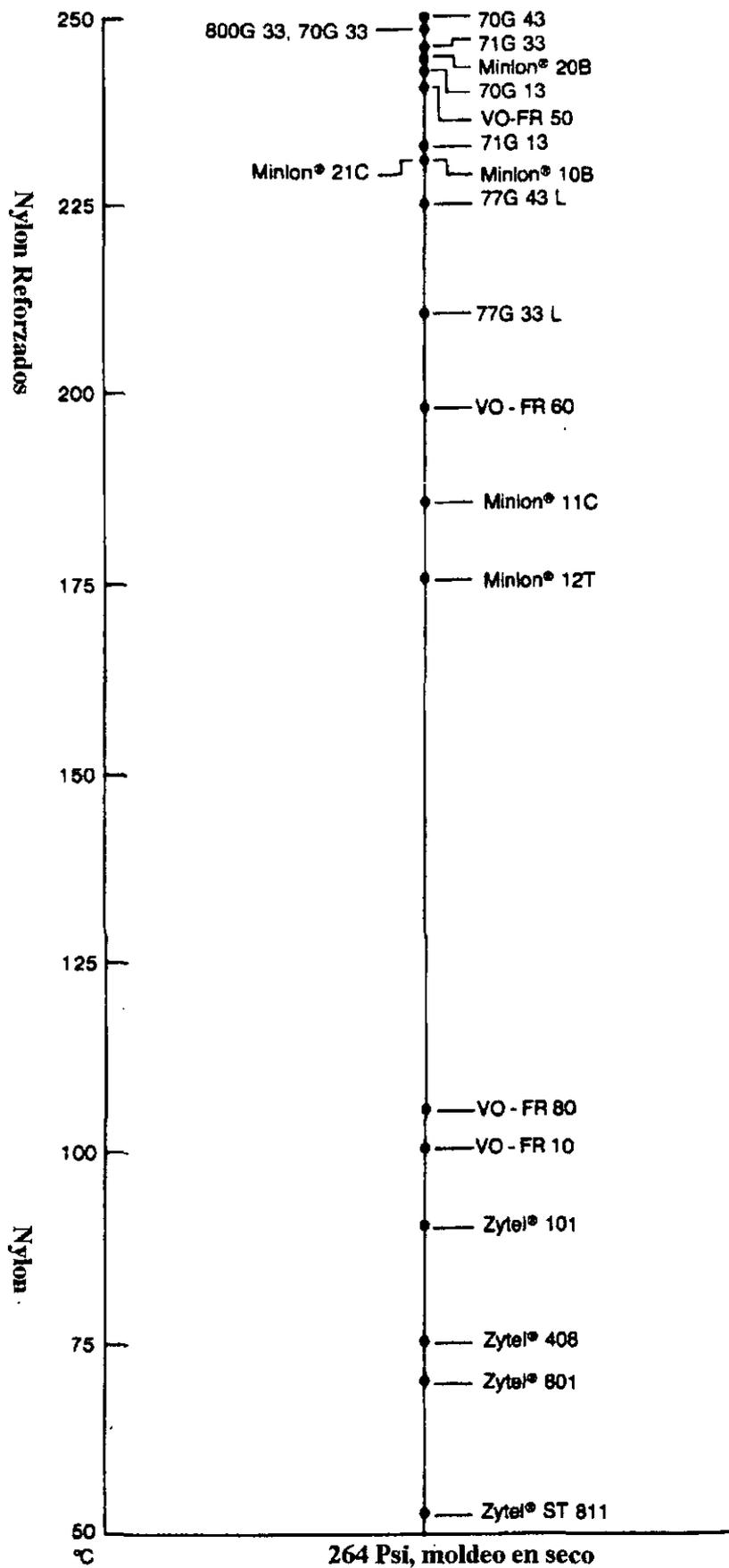
Gráfica comparativa de resistencia al corte

Fuerza al corte PSI



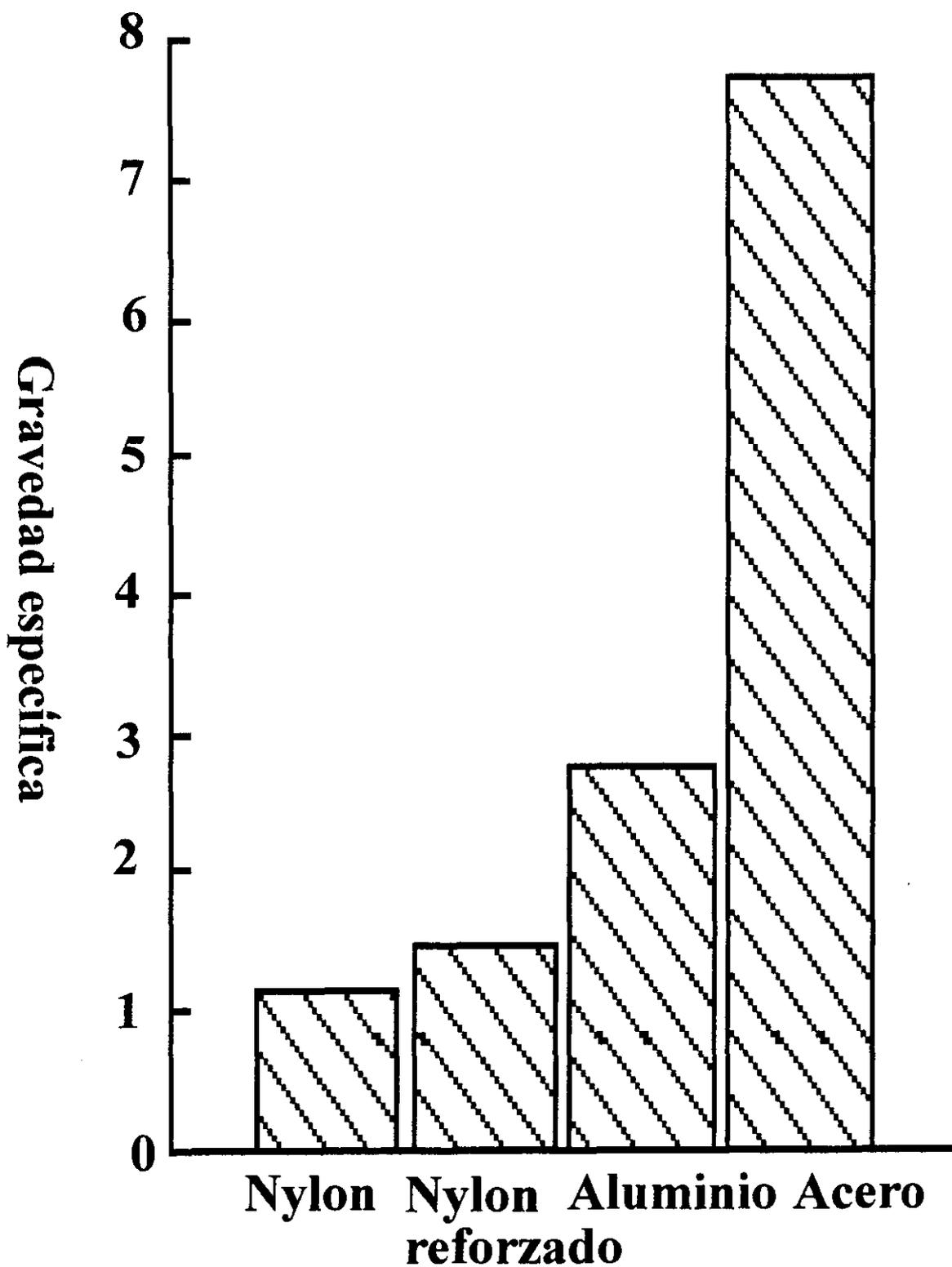
a 23 grados centigrados

Gráfica comparativa de temperatura deflección



Gráfica comparativa de gravedad específica

GRAVEDAD ESPECIFICA



Gráfica comparativa de coeficiente de expansión térmica

EXPANSION TERMICA

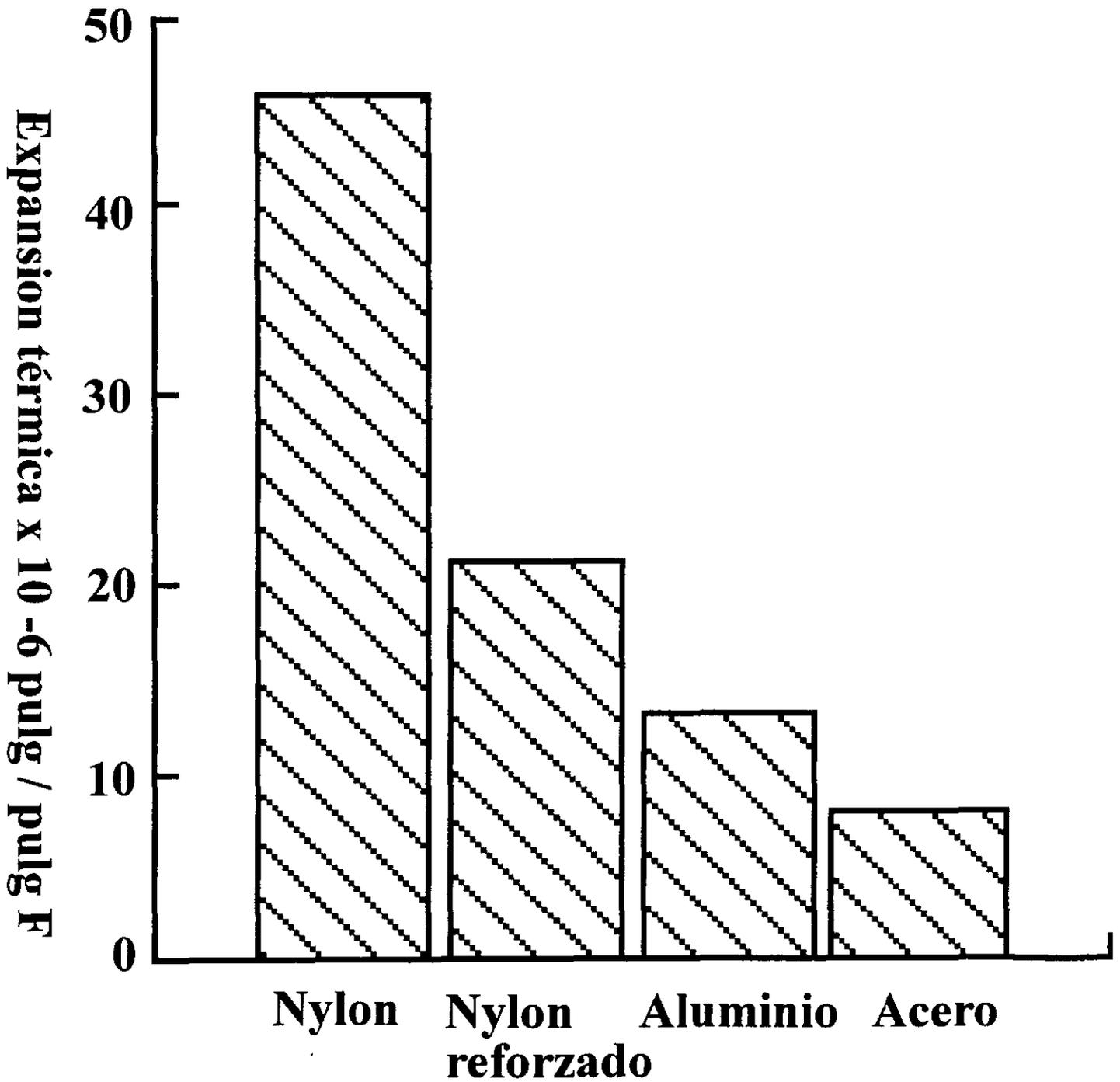


Tabla de nombres y usos de Nylon

<i>Denominación</i>	<i>Características específicas</i>
Zytel 101 Y Zytel 101 L	Nylon 6/6 de uso general. El Zytel 101 L es lubricado para una buena alimentación en la maquina y un rápido desmolde.
Zytel ST 801 HS	Nylon resistente al calor modificado Para máxima tenacidad.
Zytel 408 HS	Nylon 6/6 Tenaz y resistente al calor.
Zytel 103 HS-L	Nylon resistente al calor para una larga vida a Altas temperaturas de servicio, lubricado para una adecuada Alimentación de la maquina y un buen desmolde.
Zytel 105 BK-10A	Nylon resistente a la intemperie. Contiene Carbón negro disperso para máxima resistencia al Intemperismo.
Zytel 122 L	Nylon resistente a exposiciones en agua caliente Lubricado para mejorar la alimentación de la maquina.

Zytel 42	Nylon 6/6 de alta viscosidad para extrusión de varillas, tubos Y formas complejas, y piezas inyectadas que requieran Aplicaciones de alta resistencia al impacto.
Zytel 151 L, 158 L	Nylon 6/12 lubricado para la alimentación de la maquina Y fácil desmolde.
Zytel 70 G 13 L 70 G 33 L	Nylon reforzado con fibra de vidrio en un 13% o 33% con Fibras cortas. Excelentes propiedades de resistencia a la tensión, De rigidez y estabilidad dimensional, lubricados para fácil desmolde y rápida alimentación en la maquina.
Zytel 70 G 33 L HS -1	Nylon reforzado con fibra de vidrio un 33%, Resistente al calor y una larga vida de servicio en altas Temperaturas, lubricado.
Zytel 70 G 33 HR - L	Nylon reforzado con fibra de vidrio un 33%, Lubricado y resistente a la hidrólisis.
Zytel 77 G 33 L	Nylon 6/12 reforzado con fibra de vidrio un 33% con fibras cortas, lubricado y baja absorción de humedad obteniendo una excelente estabilidad dimensional.
Zytel FR-10	Nylon con la mayor temperatura de flamabilidad, Y temperatura de deflexión al calor Sin reforzar.

Zytel FR - 50	Nylon reforzado con fibra de vidrio y con retardante a la flama, con excelente estabilidad en el proceso.
Zytel ST FR- 80	Nylon super tenaz Excelentes propiedades comparables con otros plásticos de ingeniería.
Zytel 77 G 43 L	Nylon 6 /12 reforzado con fibra de vidrio un 43% En fibras cortas, lubricado, baja absorción de humedad y una máxima estabilidad dimensional.

**DISEÑO
ESTRUCTURAL
FORMULAS
Y ECUACIONES**

ANEXO

DISEÑO ESTRUCTURAL

ESFUERZO

Esfuerzo de tracción:

Cuando una fuerza es aplicada a un cuerpo este sufre una deformación, pudiendo ser comprimido y estirado. El esfuerzo de un cuerpo es determinado por la carga (F) aplicada por unidad de área:

$$\sigma = F / A$$

El esfuerzo es el cambio de longitud sobre su longitud original ver figura E-1.

Esfuerzo de tracción

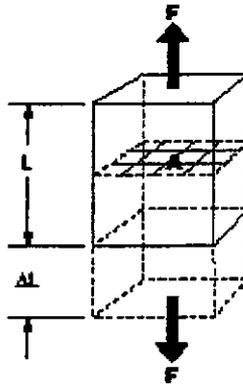


FIGURA E. 1

La ley de Hooke es la relación entre el esfuerzo y la deformación, como la deformación es proporcional al esfuerzo y al módulo de elasticidad (E) o al módulo de Young; es la constante de proporcionalidad:

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Todos los plásticos tiene una curva característica de esfuerzo deformación:

Curva de esfuerzo deformación

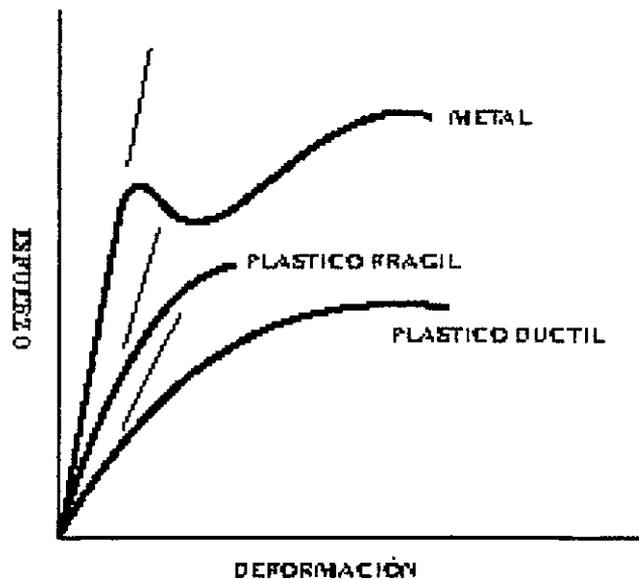


FIGURA E-2

Para obtener la curva esfuerzo deformación de una resina, se debe de realizar una prueba de tensión a temperatura ambiente. A una pieza se le aplica una carga por medio de una maquina de esfuerzo que posteriormente gráfica la curva.

La gráfica de esfuerzo deformación describe la respuesta de la resina a la carga aplicada a un determinado rango (0.2- 0.5 in/min.). El punto de cedencia (desviación de la línea recta) depende de la temperatura a la cual se está midiendo. Los materiales plásticos tienen diferentes líneas de respuesta como los metales. La temperatura y la humedad pueden cambiar estas curvas.

Cuando a una pieza plástica se le aplica una gran fuerza externa, puede exceder su límite elástico y no regresara a su posición y longitud original por lo tanto su forma no permanecerá constante. El material perderá su linealidad tanto como el esfuerzo se acerque al punto de cedencia, una vez que el punto de cedencia es rebasado, el material se encontrara fuera del rango de plasticidad (no lineal), al exceder dicho punto el material tendrá una deformación permanente.

La ley de Hooke solo se aplica cuando no se ha sobrepasado el límite elástico. Existen diferentes tipos de esfuerzos: Normal, Cortante, Torsión y Flexión.

Esfuerzo Normal:

El esfuerzo normal es el ratio de la fuerza aplicada sobre una sección de área (A) dada:

$$\sigma = F / A$$

Cuando una carga es aplicada perpendicularmente (normal) al plano de superficie, resulta un esfuerzo normal a la sección. Un esfuerzo normal puede ser de tensión o compresión, dependiendo de la dirección de la fuerza aplicada. Cuando la fuerza es aplicada hacia el exterior del cuerpo es un esfuerzo de tensión (ver figura E-3) y cuando la fuerza es aplicada hacia el interior del cuerpo es esfuerzo será de compresión (ver figura E-4).

Esfuerzo normal de tensión

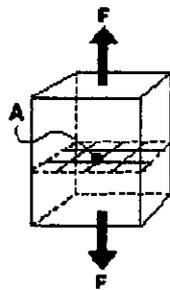


FIGURA E. 3

Esfuerzo normal de compresión

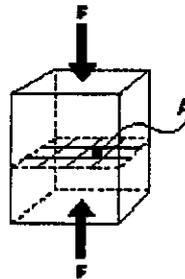


FIGURA E. 4

Esfuerzo cortante:

El esfuerzo cortante es también expresado como una fuerza aplicada sobre una sección de área dada (A).

$$\tau = F / A$$

La diferencia es que el resultado de la fuerza es aplicado en un esfuerzo paralelo a la sección de área y no perpendicular (Ver figura E-5).

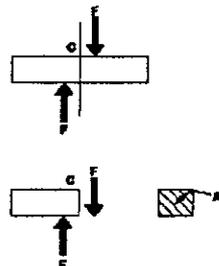


FIGURA E. 5

Esfuerzo cortante

Esfuerzo de torsión:

Cuando una pieza esta sometida a torsión, torcida a lo largo de su eje longitudinal, ahí existe un punto sobre el plano de la sección, con un esfuerzo cortante (ver figura E-6). El máximo esfuerzo cortante de una barra en torsión es calculado por:

$$\tau = Tc / K$$

Donde la variable c es la distancia del centro de la barra hacia la superficie donde el máximo esfuerzo ocurre, y K es la sección de área dependiente de la función.

Esfuerzo de torsión

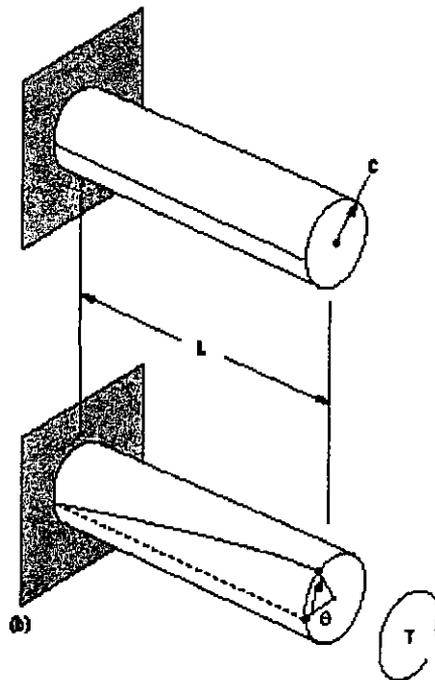


FIGURA E-6

El torque es calculado por:

$$T = \phi KG/L$$

Donde la variable teta es el ángulo de giro par hacer el torque, G es el modulo de rigidez del material y L es la longitud de la pieza. La ecuación puede ser manipulada para calcular el ángulo de giro:

$$\phi = TL/KG$$

Esfuerzo de flexión:

Cuando una pieza es estructuralmente soportada se encuentra en flexión, la sección superior estará sometida a una compresión y la sección inferior estará sometida en una tensión.

El centro de la pieza es el eje neutral (N.A), y es la región de esfuerzo cero. El máximo esfuerzo ocurre en las fibras de los extremos (a y b). El esfuerzo de flexión se expresa como:

$$\sigma = Mc / I$$

Donde M es el momento de flexión, c es la distancia desde el eje neutral de las x al extremo exterior de la fibra y I es el momento de inercia. Ver figura E-7.

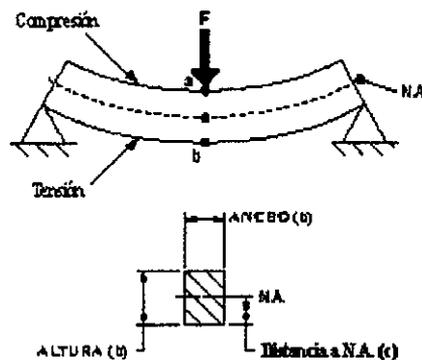


FIGURA E.7

PROPIEDADES DE DIFERENTES SECCIONES TRANSVERSALES

Explicación de variables:

La siguiente explicación nos muestra que variables se utilizan en las formulas de las figuras E-9 a E-14:

- **A = área**
- **Y = distancia desde el centroide hasta el extremo**
- **I = momento de inercia**
- **r = radio de giro sobre el eje principal**

Secciones transversales de viga:

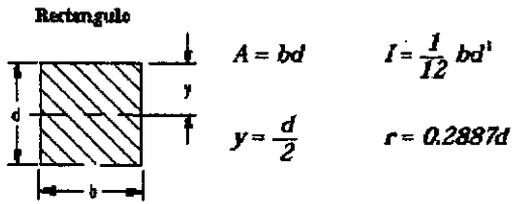


FIGURA E. 9

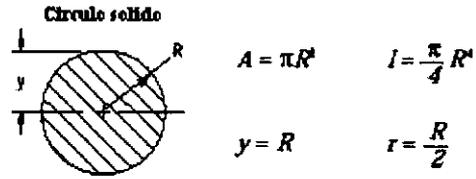


FIGURA E. 10

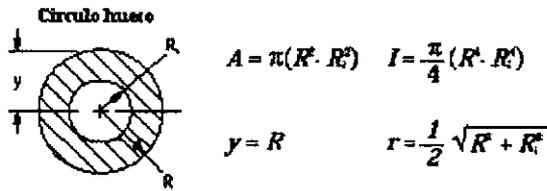


FIGURA E. 11

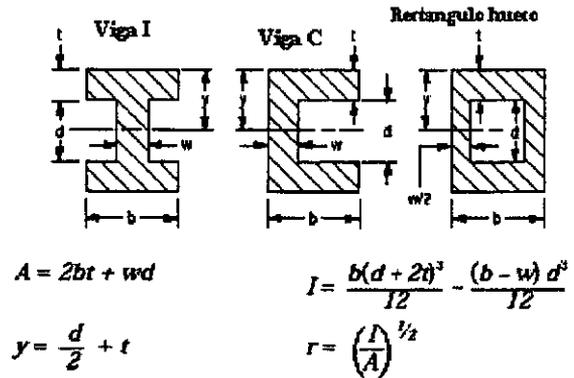


FIGURA E. 12

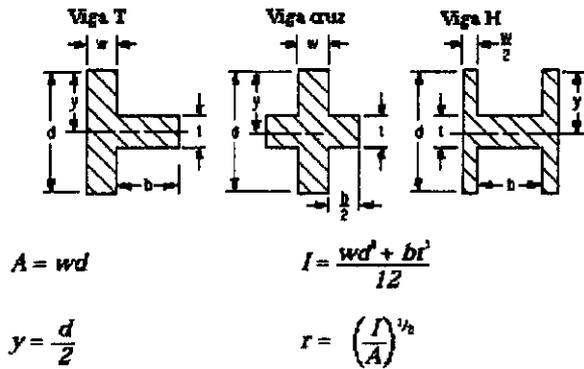


FIGURA E. 13

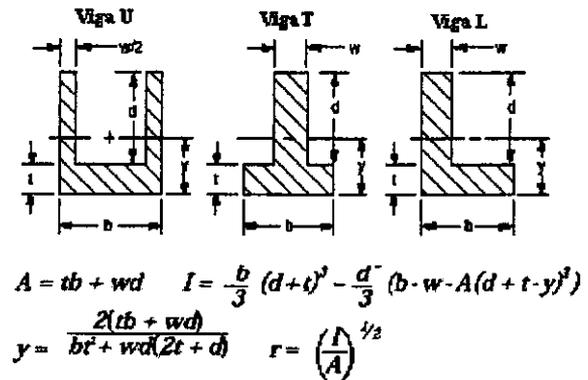


FIGURA E. 14

Formulas comunes para vigas empotradas:

Las siguientes ecuaciones pueden ser utilizadas para determinar el momento máximo, M_{max} ; desplazamiento de un punto, y ; máximo desplazamiento, y_{max} ; y máximo esfuerzo, σ_{max} , de las más comunes estructuras de viga; c = distancia desde el centroide de la sección transversal.

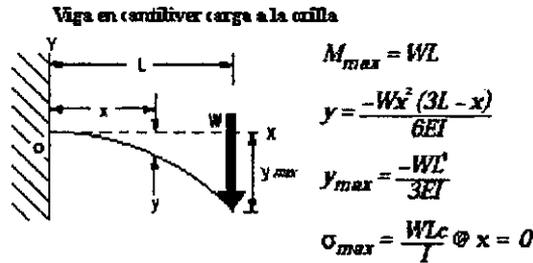


FIGURA E. 15

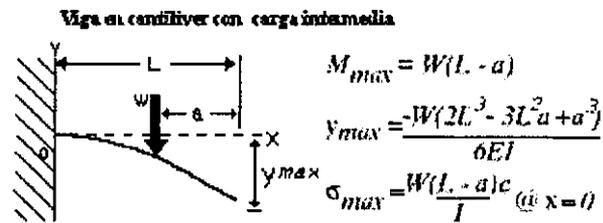


FIGURA E. 16

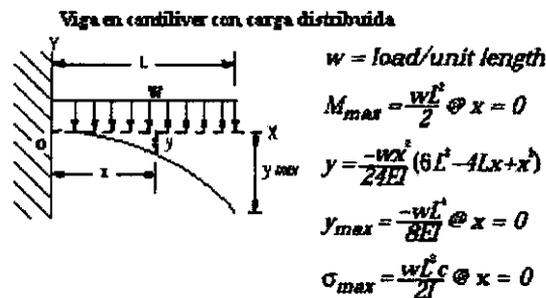
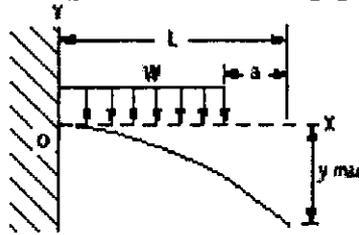


FIGURA E. 17

Viga en cantiliver con carga parcialmente distribuida



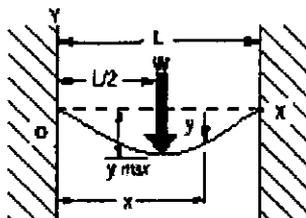
$$M_{max} = \frac{w(L-a)^2}{2} @ x = 0$$

$$y_{max} = \frac{-w}{24EI} (L-a)^3 (3L+a)$$

$$\sigma_{max} = \frac{w(L-a)^2 c}{2I} @ x = 0$$

FIGURA E.18

Viga sostenida con carga centrada



$$M_{max} = \frac{WL}{8} @ x = \frac{L}{2}$$

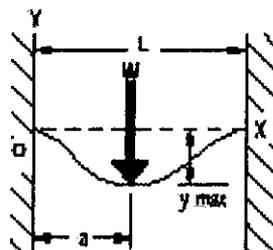
$$y = \frac{-W}{48EI} (3Lx^2 - 4x^3)$$

$$y_{max} = \frac{-WL^3}{192EI} @ x = \frac{L}{2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{WLC}{8I} @ x = 0, L$$

FIGURA E.19

Viga sostenida con carga intermedia



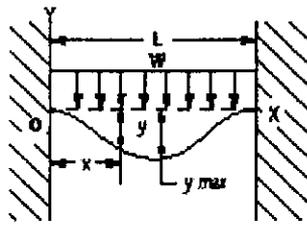
$$M_{max} = \frac{Wa^2(L-a)}{L^2}$$

$$y_{max} = \frac{-2W(L-a)a^2}{3EI(L+2a)^3} @ x = \frac{2aL}{L+2a} \text{ if } a > L/2$$

$$\sigma_{max} = \frac{-Wa^2(L-a)c}{L^2 I}$$

FIGURA E.20

Viga sostenida con carga uniforme distribuida



$$w = \text{load/unit length}$$

$$M_{max} = \frac{wL^2}{12} @ x = 0, L$$

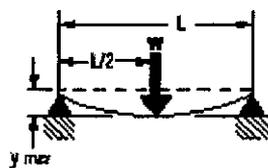
$$y = \frac{wx^2}{24EI} (2Lx - L^2 - x^2)$$

$$y_{max} = \frac{-wL^4}{384} @ x = \frac{L}{2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{wL^2 c}{12I} @ x = 0, L$$

FIGURA E.21

Viga soportada con carga al centro



$$M_{max} = \frac{WL}{4} @ x = \frac{L}{2}$$

$$y = \frac{-W}{48EI} (3L^2 - 4x^2) \text{ for } 0 \leq x \leq \frac{L}{2}$$

$$y_{max} = \frac{-WL^3}{48EI}$$

$$\sigma_{max} = \frac{WLc}{4I} @ x = 0, L$$

FIGURA E.22

Formulas para deformación torsional y esfuerzo:

Utilizando estas formulas se puede obtener el ángulo de giro, U; y el esfuerzo cortante máximo, T max. Ver figuras E-23 a E-29. Donde:

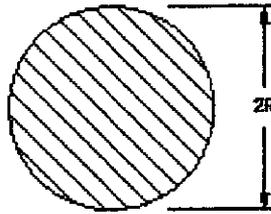
$$\phi = TL / KG$$

- T = momento de giro (fuerza-longitud)
- L = longitud de la viga
- G = modulo de rigidez (fuerza por unidad de área)
- K = sección transversal dependiendo de la función (longitud 4)

Referencia : Roark, Raymond & Young Warren, *formulas for strees and strain*, MacGraw Hill.

VIGAS EN TORSIÓN

Sección circular sólida

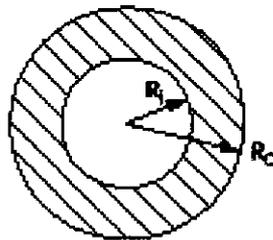


$$K = \frac{1}{2}\pi R^4$$

$$\tau_{\max} = \frac{2T}{\pi R^3}$$

FIGURA E. 23

Sección circular hueca

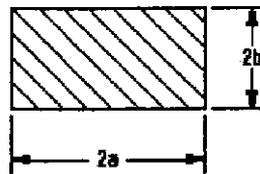


$$K = \frac{1}{2}\pi (R_o^4 - R_i^4)$$

$$\tau_{\max} = \frac{2TR_o}{\pi (R_o^4 - R_i^4)}$$

FIGURA E. 24

Sección rectangular sólida

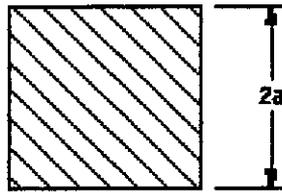


$$K = ab \left[\frac{16}{3} - 3.36 \frac{b}{a} \left(1 - \frac{b^4}{12a^4} \right) \right] \text{ for } a \geq b$$

$$\tau_{\max} = \frac{T(3a + 1.8b)}{8a^2 b^2}$$

FIGURA E. 25

Sección cuadrada sólida



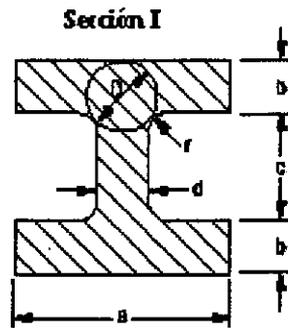
$$K = 2.25a^4$$

$$\tau_{max} = \frac{0.601T}{a^3}$$

FIGURA E.26

Secciones I, T y L

Para secciones I, T y L el máximo esfuerzo cortante ocurre cuando el círculo inscrito, D, toca la frontera. A= sección transversal de área.



$$K = 2K_1 + K_2 + 2\alpha D^4$$

$$K_2 = \frac{1}{3}cd^3$$

$$\alpha = \frac{I}{t_f} \left(0.15 + \frac{0.4r}{b} \right)$$

$$D = \frac{(b+r)^2 + rd + \frac{d^2}{4}}{2r+b}$$

FIGURA E.27

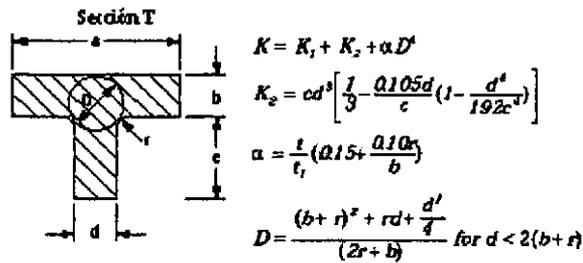


FIGURA E. 28

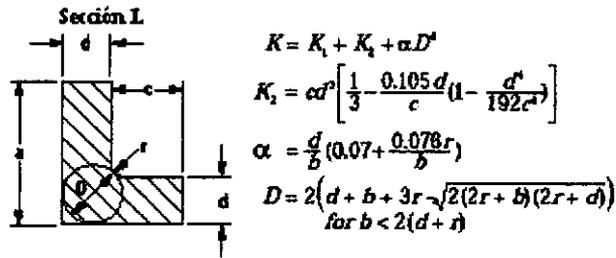


FIGURA E. 29

Formulas para placas planas

En placas planas y circulares con un espesor de pared constante se pueden utilizar estas formulas para determinar el máximo desplazamiento, y_{max} ; y el máximo esfuerzo de alabeo, σ_{max} , de una placa sometida a una carga uniforme. ν es el radio de Poisson. (Ver figuras E-30 a E-33).

Placa circular soportada en la orilla con carga uniforme

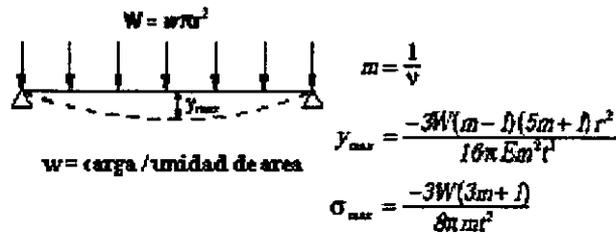


FIGURA E. 30

Placa circular sostenida con carga uniforme

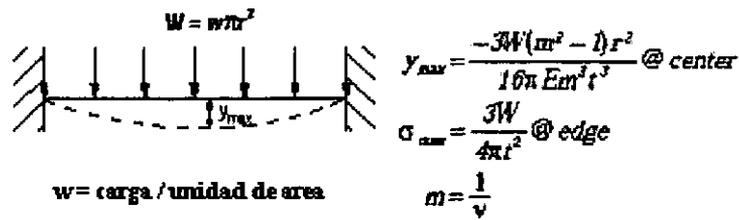
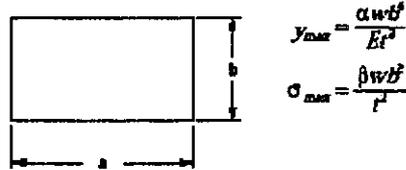


FIGURA E. 31

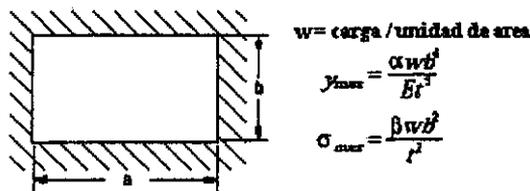
Placa rectangular con carga uniforme



a/b	1	1.2	1.4	1.6	1.8
β	0.2874	0.3762	0.4530	0.5172	0.5688
α	0.0444	0.0816	0.0770	0.0908	0.1017
a/b	2	3	4	5	∞
β	0.6102	0.7134	0.7410	0.7476	0.750
α	0.1110	0.1335	0.1400	0.1417	0.1421

FIGURA E. 32

Placa rectangular con carga uniforme y soportada



a/b	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	∞
β	0.3078	0.3834	0.4356	0.4680	0.4872	0.4974	0.500
α	0.0138	0.0168	0.0226	0.0251	0.0267	0.0277	0.0284

FIGURA E. 33

Tabla de conversiones

1 PSI ----- 0.73 Kg / cm² ----- 6894.76 Pa.

1 lb / pulg² ----- 0.00002767 kg / mm²

1 pulg ----- 25.4 mm ----- 2.54 cm

lbf ----- 0.453 Kgf

1 pulg³ ----- 16.4 cm³

GLOSARIO DE TERMINOS

ANEXO

PLASTICOS

SIMBOLO	NOMBRE QUIMICO	NOMBRE COMERCIAL
ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno	Cyclolac, Novodur, Rondafin, Terluran
ACM	Caucho al acrilato	Cianacril, Hycar
APE	Poliesteres aromáticos	Arylef
ARAMID	Poliamida aromática	Kevlar, Aramid
ASA	Acrilonitrilo estireno éster acrílo	Luran S
AU	Caucho de poliuretano	Urepan
CA	Acetato de celulosa	Cellidor
CAB	Acetato butirato de celulosa	Cellidor
CM	Caucho al cloropoliétileno	Bayer CM, CPE
CR	Caucho al cloropreno	Baypren, Neoprene
CSM	Poliétileno clorosulfonado	Hypalon
EA	Caucho al etileno acrilato	Vamac
ECO	Caucho de epíclorhidrina	Herclor, Hydrin
EP	Epoxido	Araldit
EPDM	Caucho de etileno propileno	Nordel, Vistalon, Dutral
EU	Caucho de poliuretano	Adiprene C
FPM	Fluorocaucho	Viton, Tecnoflon, Fluorel
IR	Caucho de isopreno	Cariflex IR, Nastyn
MVQ	Caucho de silicona	Silopreno, Silastic
NBR	Caucho acrilonitrilo butadieno	Chemigum, Hycar, Perbunan
PA	Poliamida	Trogamid T
PA 6	Poliamida 6	Grilon, Renyl, Ultramid
PA 66	Poliamida 66	Zytel, Ultramid A, Minlon
PA 11	Poliamida 11	Rilsan B
PA 12	Poliamida 12	Grilamid, Rilsan A, Vestamid
PAI	Poliamida imida	Torlon
PAN	Poliacrilonitrilo	Dralon, Orlon
PBTP	Tereftalato de isobutano	Ultradur, Vestodur, Crastin
PC	Policarbonato	Lexan, Sinvet, Orgalan
PE	Poliétileno	Hostalen, Lupolen, Stamylan, Vestolen
PEEK	Poliéter etercetona	Victrex PEEK
PEI	Poliéter imida	Ultem
PES	Polietersulfona	Victrex PES
PETFE	Politetrafluoretileno etileno	Hostaflon ET, Tefzel

PETP	Polietilentereftalato	Arnite, Crastin, Mylar, Rynite
PFA	Perfluoralcoxi	Teflon PFA
PFEP	Tetrafluoretileno hexafluor propileno	Teflon FEP
PI	Poliimida	
PMMA	Polimetilmetacrilato	
POM	Poliformaldehido	Delrin, Ultraform, Hostaform
PP	Polipropileno	Daplen, Vestolen, Moplen
PPO	Oxido de polifenilo	Noryl
PPS	Sulfuro de polifenilo	Ryton
PS	Poliestireno	Edistir, Hostyren, Lustrex
PSU	Polisulfona	Udel
PTFE	Politetrafluoretileno	Fluon, Teflon, Hostaflon
PUR	Poliuretano	Desmopan, Lycra, Vulkollan
PVC	Cloruro de polivinilo	Trovidur, Trosiplast
PVDF	Fluoruro de polivinilideno	Kymar, Solet, Dyflor
PVF	Fluoruro de polivinilo	Tedlar
SAN	Estireno acrilonitrilo	Kostil, Luran, Tyril
SB	Estireno butadieno	Hostyren, Lustrex
SBR	Caucho de estireno butadieno	Buna, Cariflex
TPE	Elástomero termoplástico	Hytel, Kraton, Solpren
UP	Poliéster insaturado	Keripol, Leguval, Palatal

BIBLIOGRAFIA

Bosch Robert

Manual de la técnica del automóvil

Editorial Reverte S.A.

Barcelona

1994

Torres Morales Miguel Angel.

Apuntes de materiales plásticos

UNAM

1996,1997,1998

Hibbeler R.C.

Mecánica para ingenieros: Estática

Editorial C.E.C.S.A.

México

1982

Beer & Johnston.

Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica

Mac Graw Hill

Quinta edición

1990

Amoco performance products

Amoco Engineering plastics for performance and value

USA

1998

Dupont

Design Handbook for Dupont Engineering Plastics

Modulo II Zytel & Minlon

USA

1996

Advanced Materials Group

Celanese Nylon 6/6

NY-1A

Hoechst Celanese

USA

1995

Advanced Materials Group

Celanese Nylon 6/6

NY - 4

Hoechst Celanese

USA

1995

Advanced Materials Group

Celanese Nylon 6

PA-4

Hoechst Celanese

USA

1995

Advanced Materials Group

Designing with Celcon

Design Manual

CE -10

Hoechst Celanese

USA

1995

Advanced Materials Group

Celanese Nylon 6/6

NY-2A

Hoechst Celanese

USA

1995

Advanced Materials Group

Celanese Nylon 6/6

NY-3A

Hoechst Celanese

USA

1995

Advanced Materials Group

Designing with Nylon

Design Manual

NY -10

Hoechst Celanese

USA

1995

Allied Signal Plastics

Design Solutions Guide

USA

1998

Dupont Polymers

Dupont Polymers: Automotive Design Advancing With Polymer Technology

E- 62121

USA

1991

Engineering Polymers Division
Dupont Application Profile
E - 91- 125
USA
1991

Engineering Polymers Division
Dupont Application Profile
H - 14805
USA
1990

Engineering Polymers Division
Dupont Application Profile
H - 14807
USA
1990

Engineering Polymers Division
Dupont Application Profile
A - 96 / 251
USA
1996

Engineering Polymers Division
Dupont Application Profile
A - 96 / 252
USA
1996

Engineering Polymers Division
Dupont Application Profile
A - 96 / 253
USA
1996

Engineering Polymers Division
Dupont Application Profile
A - 96 / 254
USA
1996

Dupont Automotive Products
Commercial Applications for 40 Dupont Materials in Today's Cars
USA
1990

Allied Signal Plastics
Injection Molding Processing Guide For Capron
USA
1996

Hoechst Celanese
Designing with Plastics
The Fundamentals
Design Manual
TDM -1
USA
1996

Zan Smith, Charles McChesney, Ken Fletcher
Switching from Metals to Plastics
Hoechst Celanese Corporation
USA
1992

Hoechst Celanese
Automotive Solutions
Solutions : Person to Person
USA
1992

Dupont Company
Termoplastics
USA
1990

www.dupont.com

www.basf.com

www.alliedsignal.com

www.monsanto.com

www.bayer.com

www.nylon.com

www.hoechst.com

www.ge.com

www.asplastics.com

www.yahoo.com

www.altavista.com

www.amoco.com

www.sae.com

Society Automotive Engineers

Automotive Engineering

May 1993

USA

Society Automotive Engineers

Automotive Engineering

December 1996

USA

Society Automotive Engineers

Automotive Engineering

April 1997

USA

Society Automotive Engineers

Automotive Engineering

August 1997

USA

Society Automotive Engineers

Automotive Engineering

September 1997

USA

Society Automotive Engineers

Automotive Engineering

October 1997

USA

Society Automotive Engineers

Automotive Engineering

December 1996

USA

Society Automotive Engineers
Automotive Engineering
January 1998
USA

Society Automotive Engineers
Automotive Engineering
February 1998
USA

Society Automotive Engineers
Automotive Engineering
March 1998
USA

Chilton's
Automotive Industries
September 1991
USA

Allied Signal
Automotive Specifications Guide
USA
1998

Allied Signal
Snap-fit Design Manual
USA
1998

Dupont Polímeros de ingeniería
Desde la idea hasta la comercialización
Dupont Company
H - 11737 - 6
Suiza
1995

Society Automotive Engineers
Automotive Engineering
May 1997
USA

Society Automotive Engineers
Automotive Engineering
June 1997
USA

Society Automotive Engineers

Automotive Engineering

July 1998

USA

Modern Plastics

Mac Graw Hill

August 1997

USA

Modern Plastics

Mac Graw Hill

May 1997

USA

Manufactura

Grupo Editorial Expansión

Volumen 4 Número 27

Septiembre 1997

México

Tecnología del plástico

No. 83

Enero 1998

Colombia

Tecnología del plástico

No. 84

Febrero 1998

Colombia

Tecnología del plástico

No. 85

Marzo 1998

Colombia

Tecnología del plástico

No. 86

Abril- Mayo 1998

Colombia