

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA



50

FABRICACION DE RECIPIENTES DE  
POLIETILENO POR EL METODO DE  
ROTOMOLDEO.

JORGE CARABALLO CERTUCHA  
BENITO GARCIA HERRANZ  
CARLOS F. RANGEL BALBOA  
INGENIERO QUIMICO

1973



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

CLAS. Tesis  
ABO. \_\_\_\_\_  
FECHA. 14/3  
OBS. 19.6.50



QUIMICA

## PROLOGO

El método de rotomoldeo no es nuevo en realidad pues se ha venido usando durante años con vinilos, pero el moldeo con polvos de polietileno sí es novedoso ya que fue en Nueva York en 1961 donde por primera vez la U.S.I., uno de los principales fabricantes de polvos de polietileno hizo una demostración pública. A raíz de esto en Estados Unidos ha habido un gran desarrollo en este campo y son muchos los artículos que por este método se fabrican, aunque son mas los artículos que podrán fabricarse y que en los próximos años le auguran un gran desarrollo.

En México su desarrollo no es grande todavía pero seguramente en los próximos años se incrementará. Precisamente por esto, el presente trabajo se encamina a hacer un estudio general sobre este método y en particular de un campo donde ha resuelto muchos problemas, que es el de recipientes de polietileno.

Para ello primero haremos un análisis sobre la materia prima, el polietileno, producto cuyas propiedades lo hacen muy útil, donde se tratará de dar todas sus características; tanto desde un punto de vista general como específico respecto a los compradores y a nuestro caso particular.

Posteriormente presentaremos un panorama general de los métodos de moldeo mas importantes que existen y una comparación de todos ellos contra el rotomoldeo, sus ventajas y desven

tajas; ocupandonos finalmente del moldeo de recipientes.

También trataremos uno de los campos al que no se le da la importancia debida en la industria y es el de la seguridad donde esperamos que haya un incremento que beneficie primamente al obrero y en consecuencia a la industria en general.

Por último veremos un aspecto básico en la industria, que es el de la economía, parte muy importante y que rige generalmente todos los aspectos anteriores.

## A) ¿QUE ES UN PLASTICO?

Un plástico es una resina sintética o hecha por el hombre, es un material similar en muchos aspectos a las resinas naturales que se encuentran en los árboles u otras plantas, y tiene generalmente un peso molecular muy elevado.

Un plástico es sólido antes de procesarse y una vez procesado, pero sabemos que, mientras se procesa es blando por la aplicación combinada de calor, presión y trabajo mecánico, para adquirir varias formas tales como películas, recipientes, etc. (La definición más completa es por lo tanto: polímeros orgánicos moldeables en múltiples formas funcionales, por efecto del calor, presión y catálisis).

Tenemos dos grandes divisiones de la enorme y aún creciente familia de los plásticos, hecha en base a su comportamiento ante el calor: termofijos y termoplásticos.

Los plásticos termofijables o termofijos, se ablandan generalmente sólo una vez bajo el efecto del calor y no se reblandecen otra vez con calentamiento subsecuente. Los termoplásticos, por otro lado, pueden volver a reblandecerse por calentamiento y endurecerse por enfriamiento.

Las resinas de polietileno son miembros de una serie de compuestos relacionados químicamente que se llaman poliolefinas, comprendidas en la familia de las termoplásticas.

El polietileno, polímero formado a partir del etileno por catálisis de radicales libres es de gran interés por

muchas razones. Primero, es uno de los plásticos sintéticos de crecimiento más rápido. Muchos campos de aplicación ya se han comercializado pero, muchos mercados potenciales esperan la explotación.

Desde el punto de vista de abastecimiento de material crudo, el polietileno está en una posición muy favorable y, por esta razón, es potencialmente el más importante de los materiales sintéticos termoplásticos. El hecho de que su explotación sea relativa se debe a la situación de patentes primeramente. Esta situación se acerca a un cambio crítico debido a que expira la composición básica en materia de patentes. Como resultado estamos en un período de expansión de la capacidad de producción de polietileno lo que traerá el consumo de este material con sus exclusivas propiedades y su situación de abastecimiento. La Paley Report estima que para 1975 se producirán medio billón de Kg. anualmente.

Este polímero es también de gran importancia en el área de ingeniería química, porque en su producción se lleva a cabo una reacción grandemente comercial a presiones extremadamente altas y a elevadas temperaturas. Además, es exotérmica y el considerable calor de reacción debe disiparse si se quiere evitar consecuencias desastrosas. Más aún, debido a la naturaleza de la reacción el material crudo debe ser de alta pureza con respecto a ciertos materiales.

El polietileno es de particular interés a los científicos de polímeros porque se hace a partir del progenitor de

Los monómeros vinílicos. El conocimiento adquirido que concierne a la estructura de este polímero de vinilo básico de seguro tendrá un gran uso para los conocimientos de estructuras de polímeros en general. Esta posición básica en la ciencia de polímeros se acentúa por el hecho de que el polietileno es uno de los pocos polímeros capaces de sintetizarse por reacciones químicas alternativas que conducen a productos que tienen la misma composición química.

Es uno de los materiales conocidos que son mezclas de hidrocarburos alifáticos de alto peso molecular. Estos materiales son de interés particular a el tecnólogo del petróleo así como para el científico de polímeros, debido a que son de mayor peso molecular que los hidrocarburos encontrados en el petróleo.

El polietileno interesa a la epistemología porque su descubrimiento fue casual, como resultado directo de la investigación fundamental.

#### Temprana historia del desarrollo del polietileno

El descubrimiento de la polimerización del etileno fue notable por varias razones. La primera de ellas es, desde el punto de vista teórico, en el tiempo del descubrimiento, se creía que el etileno no podía polimerizarse para dar un material plástico de alto peso molecular. La segunda, el descubrimiento puede considerarse como un ejemplo en el estudio de la ciencia, debido a la curiosidad científica sin atenderse a consideraciones comerciales. Tercera, mientras que los materiales poliméricos

se preparan a partir del etileno, el plástico polietileno de alto peso molecular no surgió de los refinamientos de los procedimientos utilizados para hacer estos productos de bajo peso molecular. Antes de que los productos de alto peso molecular pudieran prepararse, era necesario un nuevo acercamiento basado en la ingeniería de alta presión.

En 1928 la Alkali Division of Imperial Chemical Industries, antiguamente la Brunner Mond and Company Limited, de Gran Bretaña, se unió con la Universidad de Amsterdam en un programa de estudio para el comportamiento de materiales bajo presión. Una compresora basada en el principio modificada Cailletet y que era capaz de producir una presión de 3,000 atmósferas se había diseñado por el profesor de la universidad A. Michels. M. W. Perrin registra la historia de las experimentaciones que llevaron al descubrimiento del polietileno en los laboratorios de la Imperial Chemical Industry. Esta investigación, cuando comenzó, no estaba ni remotamente conectada con la polimerización, o aún con el comportamiento del etileno, era dirigida para observar los efectos de la presión en las propiedades físicas de la materia y los posibles efectos químicos de la alta presión. El experimento particular que llevó a la formación del polímero fue diseñado primeramente para combinar benzaldehído con etileno. Sin embargo, cuando el autoclave se abrió, se encontró que el benzaldehído permanecía inalterado, y que un sólido blanco, de apariencia parafinosa, cubría el interior del recipiente como una película delgada.

Debido a que los experimentos posteriores, llevaban a explosiones, se abandonó el trabajo. Dos años más tarde el producto fue descubierto por segunda vez, de nuevo accidentalmente. La ICI fabricó una pequeña planta y patentó el polietileno como una nueva composición de la materia en Inglaterra, en los Estados Unidos y en Francia.

#### Producción comercial del polietileno

En septiembre de 1941 Sir Harry McGowan, gerente de la ICI, escribió a Walter Carpenter, entonces presidente de la Dupont, señalando el valor del producto. Debido a que las fuerzas armadas de los Estados Unidos estaban explorando la utilidad de este material, se hizo necesario para la ICI proteger sus derechos de patente. En marzo de 1942, la Dupont firmó un contrato con la Secretaría de Marina, por los trabajos de la Dupont en una planta de 2 millones de libras en Virginia. La unidad se completó a mediados de 1943. En diciembre de 1942 la Union Carbide and Carbon firmó un contrato similar con la Marina. Utilizando aceros especiales los cuales fueron diseñados para el programa de aterrizaje, la Carbide fue capaz de construir una planta en Virginia, la que comenzó a operar en primavera de 1943. Durante el intervalo de la guerra la Carbide se convirtió en un gran factor en la producción del polietileno, mayor aún que Dupont.

Otro aspecto de negocios en el desarrollo del polietileno salió en decreto del juez Sylvester Ryan de Nueva York, en su juicio de que la ICI y la Dupont habían estado actuando

restrictivamente en el comercio mediante trucos en patentes para ocasionar una división de territorios.

## B) GENERALIDADES FISICAS Y QUIMICAS

El polietileno es un plástico con propiedades sobresalientes

¿Cuáles son las propiedades que hacen al polietileno un material termoplástico particularmente aconsejable para miles de productos?

Existen muchas de ellas, tales como poco peso, flexibilidad, alta resistencia química, rigidez y propiedades eléctricas sobresalientes. Todos se tratarán con detalle posteriormente. Para las aplicaciones específicas solamente unas de ellas son esenciales.

Las propiedades físicas de las resinas de polietileno no son mayormente, no como se piensa exclusivamente, dependientes de las propiedades básicas moleculares tales como densidad, peso molecular promedio y distribución del peso molecular. Estas propiedades básicas, en turno, son controladas por el tamaño, estructura y uniformidad de la molécula del polietileno.

En virtud de todos los estudios efectuados los últimos años, muchos detalles de la estructura molecular del polietileno no se comprenden totalmente, y gran parte de lo que se ha encontrado es tan complejo, que aquí va a presentarse de una manera simple.

Moléculas de etileno y la manera en que se unen para formar la cadena de polietileno

El etileno es un hidrocarburo gaseoso, compuesto por dos átomos de carbono y cuatro de hidrógeno,  $C_2H_4$  con el siguiente arreglo. (fig. 1)

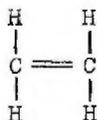


Fig. 1 Estructura del etileno

Los dos átomos de carbón en la molécula de etileno están unidos por el enlace fuerte característico de algunos hidrocarburos.

Bajo ciertas condiciones, sin embargo, esta unión se "abre".

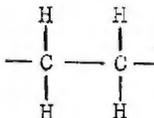


Fig. 2 Unidad básica de la cadena de polietileno

Esto le da a una molécula de etileno la posibilidad de unirse con otras para formar una cadena en la cual todos

los átomos de carbón están unidos entre sí y cada uno soporta sus dos átomos de hidrógeno.

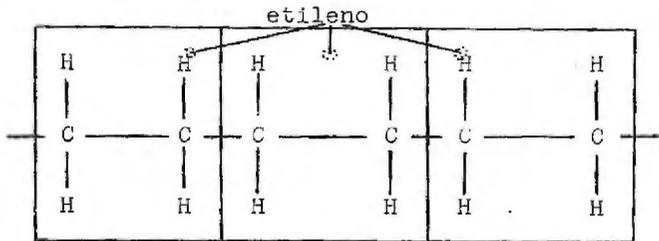


Fig. 3. Estructura de parte de la cadena básica de polietileno

Dicha cadena de moléculas de etileno se llama polietileno. La cadena de polietileno es una de las tantas conocidas en química orgánica, cada una consiste de numerosas moléculas simples o monómeras, se llama proceso de polimerización cuando se han unido una a otra para formar una enorme molécula o polímero.

#### Apariencia, tamaño y peso molecular de la cadena de polietileno

Las cadenas moleculares de el polietileno no son planas o de dos dimensiones. Tienen configuración en tres dimensiones, los átomos de hidrógeno están arreglados a lo largo de una cadena interna de átomos de carbono en forma de zig-zag. Las cadenas de polietileno pueden ser cortas o enormemente largas, continuando miles de átomos. De hecho, la polimerización del polietileno crea una gran mezcla de cadenas de diferente longitud, algunas de ellas pueden ser muy cortas (de doce mo-

lécúlas o menos), mientras otras son gigantes conteniendo muchos cientos de miles de unidades de etileno.

La siguiente figura es una parte muy pequeña de una molécula promedio de polietileno.



Fig. 4 Cadena de polietileno con ramas laterales

El peso molecular de la cadena de polietileno, como la de la figura 3, será un múltiplo de 28. Si la cadena consiste de 10 moléculas de etileno, su peso molecular será de 280; si tuviera 1,000, sería de 28,000 ( el cual es un valor moderadamente alto para el peso molecular promedio del polietileno

comercial, como los que se usan para hacer películas.

#### Ramificaciones de la cadena y sus efectos

No existe ningún polietileno comercial que se forme exclusivamente de cadenas simples como el de la figura 3. La estructura comercial de la mayoría de las resinas de polietileno no es mucho más complicada. Los estudios de laboratorio revelan que por cada 100 unidades de etileno en la cadena molecular existen, aproximadamente de 1 a 10 ramificaciones, algunas de ellas diferentes al etileno, crecen en la cadena. Esto significa que la cadena molecular no es lineal, sino que tiene un gran número de ramas laterales cortas y grandes.

La figura 4 muestra un esquema de tales ramificaciones laterales en la cadena. Las ramas cubren tres dimensiones tal como las ramas de un árbol apuntan en todas direcciones a lo largo del tronco.

La presencia de estas ramas laterales es la razón por la cual varían en número las propiedades físicas importantes, las cuales distinguen a las resinas de polietileno, tales como densidad, dureza, flexibilidad, viscosidad a la fusión y transparencia, para solo mencionar unas pocas.

Las ramas de las cadenas también se convierten en puntos para el trabajo molecular donde se lleva a cabo la oxidación.

En todas las técnicas de procesamiento de polietileno, la oxidación no controlada es dañina. Sin embargo, una oxidación controlada en la superficie puede ser útil, por ejemplo en

recubrimientos por extrusión.

La unión cruzada y su relación con la oxidación

La ramificación de la cadena no es la única complicación en la estructura molecular. La unión cruzada o atravesada es otra.

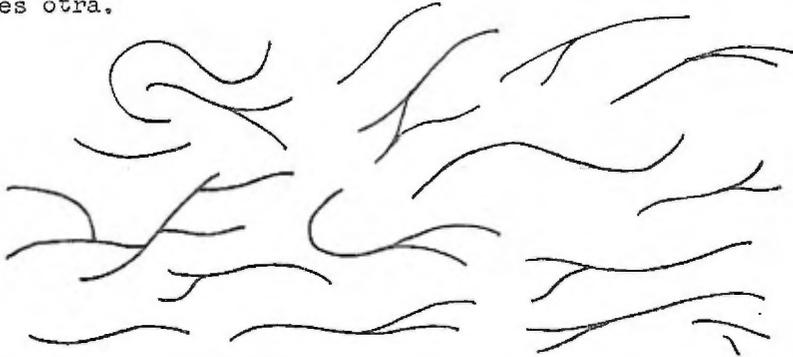


Fig 5. Representación simplificada de la unión cruzada de las moléculas de polietileno

Las uniones cruzadas, son causadas por la oxidación parcial de la resina a alta temperatura, digamos 650°F a 700°F (345°C a 370°C). Lo que nos puede producir manchas indeseables en el producto.

El procesar polietileno a tan alta temperatura requiere una resina con alta resistencia a la oxidación para que las uniones cruzadas no puedan formarse.

Las resinas de polietileno llamadas "petrotino" han tenido siempre reputación por su buena resistencia a los efectos degradantes de altas temperaturas y oxidaciones.

Las resinas de polietileno con uniones cruzadas se han encontrado útiles para ciertos propósitos, tal como recubrimiento de alambre y cable. Las resinas de "petrotino" de este tipo pueden mezclarse con un alto contenido de negro de humo.

Una serie deliberada de uniones cruzadas artificiales nos originan una resina con propiedades eléctricas y climatológicas sobresalientes, sin cambio en otras propiedades esenciales.

Sin embargo mediante uniones cruzadas artificiales en las moléculas de polietileno, el polímero cambia de termoplástico a termofijo, semejante al hule vulcanizado (y así llamado elastomérico) y no puede reblandecerse para volverse a usar.

El polietileno puede hacerse con uniones por métodos químicos añadiendo compuestos químicos y sometiendo la mezcla al calor y presión, o puede hacerse con irradiación de electrones rayos gamma o rayos X. Este último método es más caro y puede usarse en muy pocos casos.

#### Orden y desorden en la masa del polietileno

Las moléculas de polietileno no están arregladas paralelamente unas a otras. En algunas zonas de la masa plástica, las cadenas moleculares, aunque con ramas, están empacadas muy juntas y alineadas paralelamente como un paquete de cigarrillos en un arreglo cristalino ordenado.

En otras zonas, están rara vez arregladas, como el espagueti hervido. Esta estructura es la que los químicos

llaman amorfa. Arriba de su punto de fusión, el polietileno es siempre una masa amorfa.

El polietileno de baja y mediana densidad tienen puntos de fusión aproximadamente de 230 a 240°F (110 a 115°C); los puntos de fusión de polietileno (lineales) de alta densidad son aproximadamente 25°F (15°C) superiores .

Para buenos productos finales, no debe haber extremos en el arreglo molecular

Un polietileno que permaneciera totalmente amorfo a temperatura ambiente sería suave, de apariencia grasosa, e inútil para extrusión o aplicaciones de moldeo.

Uno totalmente cristalino, por otro lado, sería probablemente muy duro y quebradizo para usarse.

La mezcla correcta de regiones cristalinas y amorfas es lo que necesita el procesador para hacer buenos productos finales. La figura 6 muestra esquemáticamente la distribución de áreas a) cristalinas b) amorfas.

Los polietilenos de alta y baja densidad se fabrican por métodos de alta presión, generalmente tienen un rango de cristalinidad desde 50 a 65%. Las resinas de polietileno de alta densidad (frecuentemente llamadas lineales) consisten de cadenas moleculares con unas pocas ramas ocasionales. Por lo tanto las cadenas pueden acomodarse más cercanas entre sí. El resultado es una alta cristalinidad de hasta un 80%.

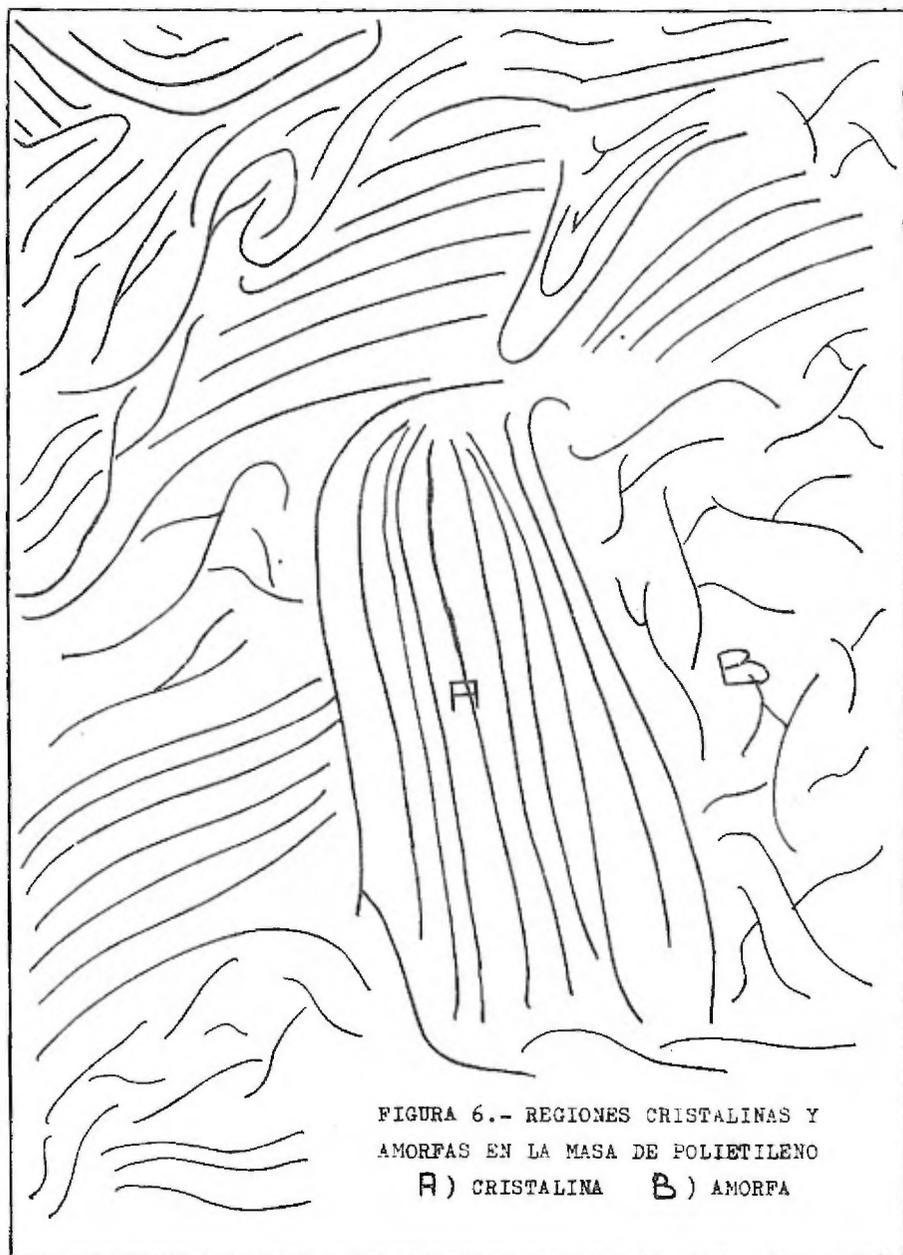


FIGURA 6.- REGIONES CRISTALINAS Y  
AMORFAS EN LA MASA DE POLIETILENO  
A) CRISTALINA B) AMORFA

Alta cristalinidad significa alta densidad y mejoramiento en algunas propiedades

Un aumento en la cristalinidad tiene una influencia decisiva en algunas propiedades esenciales. Mientras más alto es el grado de cristalinidad, es más densa la resina. Dicha resina influye favorablemente el patrón de propiedades finales del producto.

Uno de estos efectos es fácil de entender: debido a que hay menos espacio entre las cadenas moleculares empacadas, los artículos hechos con polietileno de mayor cristalinidad o densidad son menos permeables a gases y humedad. Los gases y la humedad penetran más rápidamente a través de las áreas amorfas.

Quizá tan importante como el aumento de cristalinidad son el tamaño y distribución de las regiones cristalinas. Aunque la información en esta área de química de polímeros es aún limitada, sabemos que variaciones en el tamaño y distribución de las regiones cristalinas en el polietileno, afectará la resistencia al esfuerzo de ruptura, la fragilidad y propiedades ópticas de la película.

Generalmente encontramos que para un cierto aumento de cristalinidad en el polietileno, una distribución uniforme de pequeñas áreas cristalinas dará por resultado mejores propiedades para la mayoría de las aplicaciones.

El grado correcto de cristalinidad más cadenas de cierta longitud nos dan un buen polietileno

Existen muchas propiedades que los procesadores quieren que su resina tenga -o no tenga- para que les permita fabricar productos finales de mejor calidad.

Estas propiedades serán discutidas en detalle posteriormente.

Es el problema del abastecedor de producto crudo, producir resinas de polietileno con propiedades bien definidas para usos específicos tal como manufactura de película, moldeo por soplado, recubrimiento de papel, o recubrimiento de cable y alambre. Esto debe de hacerlo manipulando las condiciones de la síntesis (fabricación de resina) -temperaturas, presiones, tiempos de reacción, los catalizadores añadidos y así- para crear moléculas de una cierta longitud promedio con el más apropiado número de ramas laterales y el porcentaje deseado de cristalinidad.

Las combinaciones de varios grados de cristalinidad entre 0 y 100% y largos de cadenas moleculares de unos pocos a miles de átomos de carbono pueden resultar en todas las clases imaginables de materiales, desde líquido, grasas y ceras a materiales sólidos muy blandos o muy duros para tener uso práctico en el campo de los plásticos.

En algún lugar entre ellos yace la correcta combinación de 60 a 95% de cristalinidad y un promedio de mil a unos pocos miles de átomos de carbono en cada cadena -la zona de

precisión límite de los polietilenos comerciales que se usan en las técnicas de proceso y algunas otras aplicaciones.

#### Como se hace el polietileno

Para hacer polietileno, se requiere del gas etileno de alta pureza. El etileno puede ser un producto de una refinería de petróleo o puede obtenerse a partir del gas natural que viene a través de líneas de un campo de gases.

En este caso una mezcla de hidrocarburos se remueve primeramente del gas natural en la unidad extractora. Entonces en la planta fraccionadora, la mezcla se divide en sus componentes fig. 7.

Algunos de estos componentes, tales como los hidrocarburos propano, butano y gasolina, se bombean a tanques almacenadores, mientras que el etano, otro hidrocarburo, se conduce a la planta de etileno. Allí, el etano se calienta hasta cerca de  $1,500^{\circ}\text{F}$  ( $800^{\circ}\text{C}$ ) y se "craquea", o se rompe, en etileno e hidrógeno. El hidrógeno se usa para fabricar otros productos.

#### Alta eficiencia de el proceso de producción

En la planta de la U. S. Industrial Chemicals Co. de Tuscola, Illinois, cerca de 500 toneladas (450 toneladas métricas) de etileno se producen cada día.

Un tercio de ella se polimeriza para obtener polietileno, los dos tercios restantes se usan para obtener otros productos en plantas cercanas.

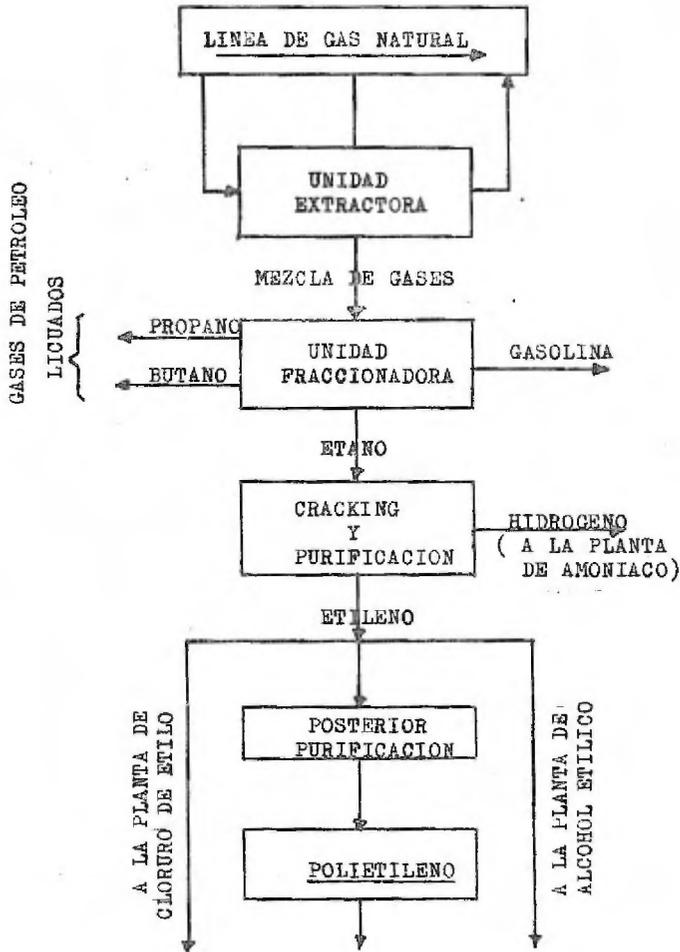


FIGURA 7.- DIAGRAMA DE BLOQUES DE EL PROCESO DE POLIETILENO DE GAS NATURAL A CUBOS DE RESINA.

En la manufactura de etileno prácticamente no hay impurezas, el gas es purificado a más de 99.9% de etileno.

Más aún, se analiza continuamente para buscar impurezas que diferenciarían las propiedades esenciales del polietileno.

Tal proceso de pureza tan rígida es una de las muchas razones para que en la producción de etileno sea el "petrotino", la resina excelente sobre las demás resinas comerciales.

#### Como se convierte el etileno en polietileno

Alinear las moléculas de etileno en largas cadenas de polietileno requiere dos pasos. Para fabricar el polietileno de baja o mediana densidad, el gas etileno se comprime bajo una presión extremadamente alta y se bombea al reactor polimerizador, donde se mantiene a alta presión y a temperatura moderadamente alta. Se añade un catalizador. Este es químicamente esencial para comenzar la reacción de polimerización. El polietileno formado bajo estas condiciones fluye a un separador donde se remueve el gas que no reaccionó.

El polietileno lineal o de alta densidad se produce por medios parecidos, aunque usualmente bajo menor presión y con diferentes tipos de catalizadores, enfriado y solidificado, el polietileno finalmente se corta en pequeños cubos o partículas cilíndricas (pellets) llamadas comercialmente "petrotino" o es hecho polvo (microteno) y entonces se empaca en bolsas, cajas, recipientes de hule y se envía al procesador.

Un proceso rígido de control asegura un producto uniforme

En Tuscola y Houston todas las condiciones de la síntesis (presión temperatura, mezclas de catalizadores, tiempo de reacción) se controlan rígidamente. Únicamente un control muy rígido en las condiciones de la síntesis puede rendir resinas con propiedades moleculares básicas predeterminadas y completa uniformidad de producto.

Copolímeros

Si modificamos la estructura molecular del polietileno (o cualquier polímero plástico) mediante adición de uno o más monómeros distintos en el polímero resulta el llamado copolímero. Las resinas copolímeras del polietileno tienen un número de propiedades que las resinas del polietileno no modificado no tienen, especialmente flexibilidad y elasticidad sobre un amplio rango de temperatura y una mejor claridad.

Esto nos permite reemplazar materiales crudos como el hule y plásticos con propiedades parecidas a las del hule.

Los copolímeros se llaman copolímeros de ultrateno. El primero de este tipo accesible es el del tipo etileno -acetato de vinilo. La figura 9 muestra la estructura de una parte de la cadena del copolímero etileno -acetato de vinilo. Los copolímeros de ultrateno pueden usarse en moldeo por soplado y por inyección y en láminas, tubos y películas de extrusión.

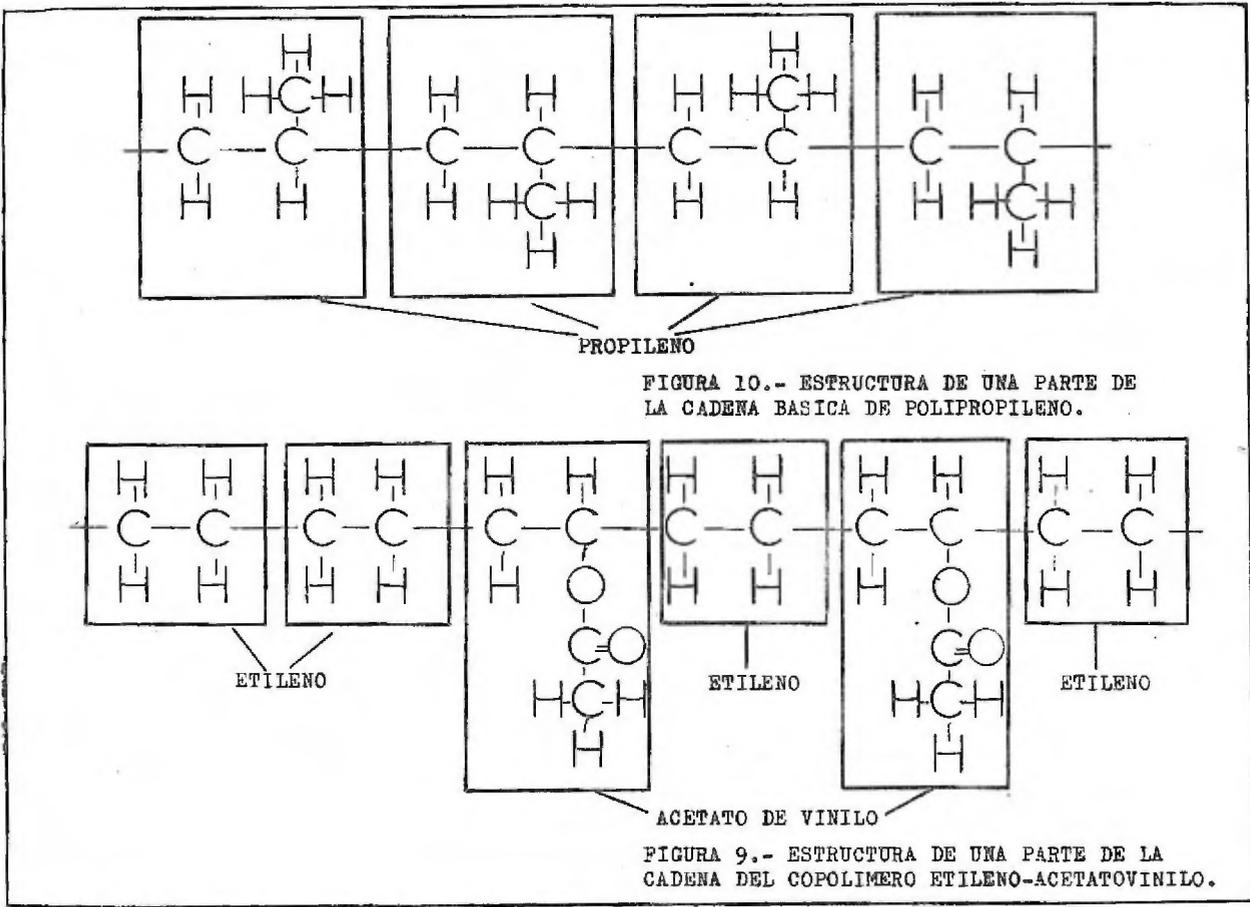
Polipropileno, otra importante poliolefina

El polipropileno es un polímero químicamente relacionado con el polietileno. Sin embargo, la cadena de polipropileno es más compleja que la del polietileno, fig. 10.

Esta fórmula estructural de el polipropileno demuestra que el propileno, el monómero, se compone de tres átomos de carbono y seis de hidrógeno,  $C_3H_6$  - fig. 10, comparándolo con los dos átomos de carbono y cuatro de hidrógeno del etileno  $C_2H_4$ , el monómero del polietileno. Por consiguiente, el polipropileno es el siguiente, después del polietileno en la familia de hidrocarburos termoplásticos llamados poliolefinas. El peso molecular del propileno es cuarenta y dos.

Igual que el polietileno de alta densidad, el polipropileno se produce por un proceso de polimerización a baja presión a partir de productos del craking del aceite y refinerías.

La mayor ventaja del polipropileno es su peso ligero. Tiene una densidad de 0.895 a 0.902 comparada con la del polietileno de 0.910 a 0.965. Esto hace que el polipropileno sea un plástico más ligero que todos los materiales plásticos accesibles. Un Kg. de polipropileno rinde un mayor número de piezas dimensionales comparables que un Kg. de polietileno, y cada pieza es correspondientemente más ligera. El polipropileno es aún más rígido, lo que es una ventaja para ciertas aplicaciones. Tiene puntos más altos de ablandamiento y de



PROPILENO

FIGURA 10.- ESTRUCTURA DE UNA PARTE DE LA CADENA BASICA DE POLIPROPILENO.

ETILENO

ETILENO

ETILENO

ACETATO DE VINILO

FIGURA 9.- ESTRUCTURA DE UNA PARTE DE LA CADENA DEL COPOLIMERO ETILENO-ACETATOVINILO.

ESTA PAG. NO VERO 24.

Ver 0: desde aquí

fusión que aún los de los polietilenos lineales. Esto los clasifica para ciertas aplicaciones a temperaturas superiores a las de ebullición del agua. Su mayor deficiencia comparándolo con el polietileno es su dificultad para sellar en la película.

En los demás aspectos ambas poliolefinas son más o menos comparables.

Las resinas de polipropileno tales como las de polietileno se venden bajo el nombre de "petroteno".

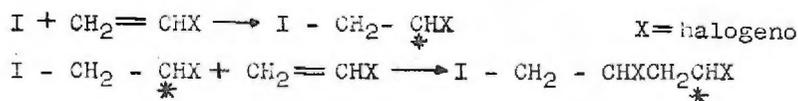
### Trayectoria de la polimerización

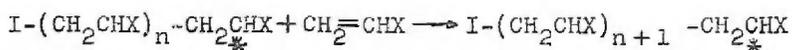
A pesar de la pérdida de potencial en energía libre, las olefinas no polimerizan espontáneamente.

Puesto que un paso sencillo de una reacción simultánea de un gran número de moléculas monómeras es difícil de concebir, la reacción de alguna manera debe iniciarse y así el polímero se irá construyendo por la adición sucesiva de unidades monómeras para formar una cadena polimérica.

Sólo pequeñas cantidades de iniciador se requieren para inducir a una polimerización; "las polimerizaciones por adición son en general cadenas de reacciones" y cuando el "centro activo" se forma está listo para adherirse a unidades monoméricas y regenerarse por sí solas muchas veces.

El proceso puede describirse por la siguiente serie de ecuaciones:

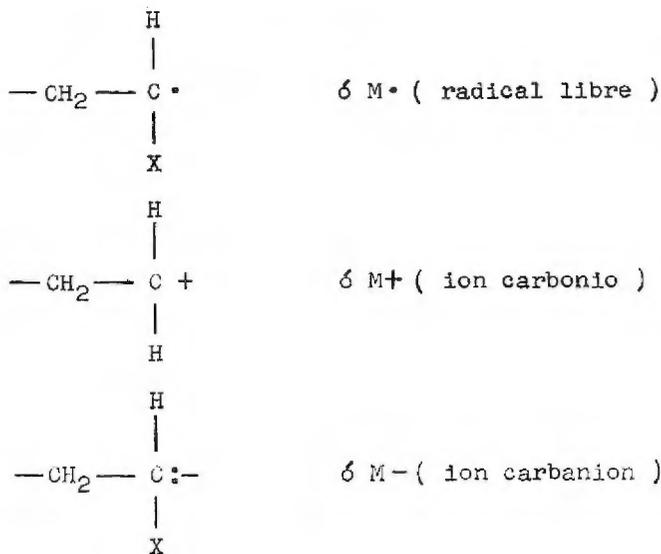




Donde I es un iniciador (puede ser un peróxido si el mecanismo es por radicales libres).

El carbón con asterisco es un centro activo y la naturaleza del paso de la terminación de la cadena aún no se especifica.

La naturaleza de los centros activos implicados en la polimerización se provocan por agentes que actúan como inciadores de la polimerización. Estos agentes son sustancias capaces de generar tanto radicales libres como especies iónicas de compuestos orgánicos, los centros activos que resultan deben ser radicales libres, iones carbonios, o carbaniones que pueden representarse como sigue:



El éxito con el cual diferentes olefinas pueden polimerizar, depende de la facilidad con la que ellas puedan adherirse a uno o más de estos tipos de centros activos. Esto varía marcadamente con el tipo de centro, y puede decirse que la gran confusión en la literatura técnica sobre la polimerización, particularmente en su desarrollo inicial, proviene del descuido para diferenciar entre estos diferentes mecanismos de polimerización. Debido a las cantidades requeridas por minuto, los iniciadores de la polimerización son frecuentemente referidos como catalizadores. Sin embargo el término no es estrictamente correcto puesto que éstos generalmente se consumen en el curso de la reacción

La mayor parte de las olefinas que se pueden convertir a polímeros lo hacen a través de una reacción del tipo radical libre. Por consiguiente este tipo de polimerización se ha estudiado más y entendido mejor.

#### Cinética de la polimerización del etileno

Prácticamente no se han publicado datos cinéticos de la polimerización del etileno. Existen dos razones básicas para esto. La primera es la dificultad experimental encontrada en la tentativa para obtener tales datos en reacciones que se llevan a cabo a una temperatura y presión altas. La segunda es el deseo de los productores de polietileno para mantener fuera de la circulación general cualquier dato que haría más fácil para otros entrar al campo y duplicar sus productos.

A pesar de estas faltas de publicaciones, es razona-

ble asumir que la polimerización del etileno cinéticamente se parece a otra polimerización iniciada por radicales libres. Existen, sin embargo, algunos factores que no la hacen usual. Una es su baja eficiencia cuando se compara a otra reacción de polimerización de importancia comercial. Esto es, aunque se usen mayores concentraciones de iniciador que las usadas normalmente con otros monómeros, la conversión final de etileno a polímero es baja. Esto indudablemente refleja una baja constante de la reacción de propagación. Esto es, la relación de la terminación de las reacciones de propagación a unas condiciones dadas es más baja que en otros monómeros. Esto se confirma por el hecho de que los polietilenos comerciales tienen pesos moleculares promedios más bajos que otros termoplásticos. La baja eficiencia relativa de la polimerización del etileno probablemente resulta de una baja eficiencia del iniciador. Esto no sería sorprendente puesto que la combinación de un radical iniciador con una molécula de monómero es formalmente la misma que en la propagación de la reacción.

La baja reactividad de la molécula del etileno y la baja eficiencia del iniciador se reflejan en la sensibilidad de la polimerización del etileno para el tipo de iniciador. Al respecto, el etileno parece ser el único. Muchos iniciadores radicales libres dan sólo pequeños rendimientos de polietileno bajo las más favorables condiciones. Como resultado, muchas patentes han encubierto los catalizadores específicos para las polimerizaciones del etileno. Varias demandas se

han hecho para estos catalizadores, incluyendo la gran conversión, la operación a baja presión y/o la temperatura, de los deseos de más propiedades del polímero y otros. El mérito de muchas de estas demandas ha abierto serios debates.

Otra peculiaridad de la polimerización del etileno es el extraño gran efecto de los diluyentes adheridos sobre las propiedades del polímero. Estos efectos similares se observan en otras polimerizaciones, y son de cierta importancia en la polimerización del etileno. Esto es un resultado, directo e indirecto de la baja reactividad del etileno monomérico. Directo, porque las principales reacciones de modificación del polímero son de una relativa gran importancia debido a la baja velocidad de propagación del etileno. Indirecto, porque el etileno se polimeriza usualmente a altas temperaturas, una condición que hace las reacciones de modificación igual o más importantes. Además muchos diluyentes, en igual cantidad, causan un marcado decrecimiento en el peso molecular del polietileno. Este efecto es muy pronunciado a tal grado que una serie de patentes cubren tales productos.

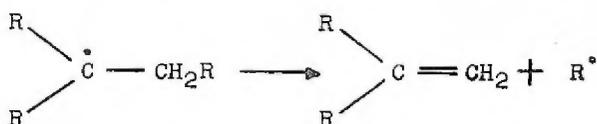
Una de las preguntas cinéticas más importantes acerca de la síntesis del polietileno es el mecanismo de la formación de ramificaciones. Se ha generalizado que involucra reacciones de transferencia de cadenas para formar de inmediato moléculas poliméricas. O sea:  $R\cdot + RCH_2R \longrightarrow RH + R\dot{C}HR$

Una debilidad de esta descripción es la estructura extremadamente en forma de cepillo de ramificaciones sobre



Estas reacciones se favorecen por la relativamente baja concentración de las moléculas del polímero y por la fácil formación de intermediarios cíclicos. Los productos principales de estas reacciones intramoleculares son las ramificaciones que contienen cuatro átomos de carbono, mientras ramificaciones de cinco y tres átomos de carbono son menos frecuentes. Se presume que ocurre el alargamiento al azar y en general tendrán largas y cortas ramificaciones sobre ellas.

Una pregunta cinética adicional sobre la estructura del polietileno es acerca del origen de las pequeñas pero significativas cantidades de polímeros insaturados. Rugg, propuso que esta insaturación es el resultado de una reacción primaria de despolimerización de radicales complejos formados por reacciones de transferencia de cadena. Por ejemplo:



Este mecanismo es extremadamente flexible y por eso se puede explicar rápidamente el modelo de las estructuras insaturadas que se encuentran en el polietileno. Está también de acuerdo con el hecho observado que la insaturación por molécula en el polietileno es esencialmente constante. Por ejemplo, Cross encontró de .3 a .4 dobles ligaduras por moléculas en polímeros en forma de anillo de un sólido de peso molecular de aproximadamente 15,000 hasta 480, y produc

tos pirólisis líquida de peso molecular tan bajo como 220. Rugg, también encontró una relación parecida entre el peso molecular y la insaturación total. Y supuso que existe una doble ligadura por molécula. Esto coincide con los mecanismos que propuso los cuales suponen que la mayoría de los poli radicales dejan de crecer por reacciones de despolimerización.

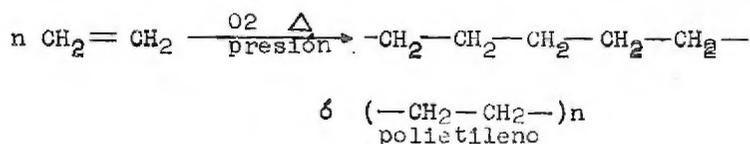
Los resultados de Cross sugieren que la gran mayoría de poliradicales dejan de crecer por reacciones bimoleculares, con un desproporcionamiento que predomina sobre la combinación.

### C) OBTENCIONES

Laboratorio. - (polimerización de Alquenos por Radical Libre)

Una de las más importantes reacciones de los alquenos simples y dienos conjugados es la polimerización.

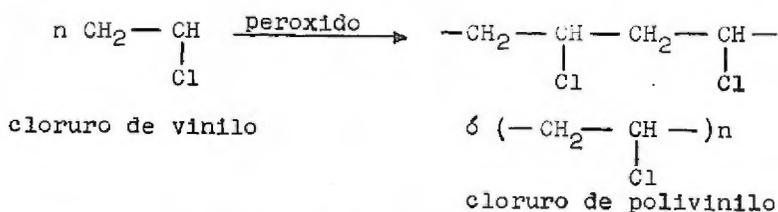
Cuando el etileno se calienta a presión con oxígeno, se obtiene un compuesto (peso molecular aprox. 20,000), el cual es esencialmente un alcano de una larga cadena. Este compuesto se forma artificialmente por muchas unidades de etileno y por eso se llama polietileno. Es muy usado en artículos de plástico.



La formación de polietileno es un simple ejemplo del proceso llamado polimerización: "El unirse muchas pequeñas moléculas para formar moléculas largas". El compuesto formado por estas moléculas se llama polímero. El compuesto del cual se obtienen los polímeros se llama monómero.

Esta polimerización con etileno en donde muchas moléculas de etileno se unen en una forma simple, se llama polimerización por adición.

Con los etilenos sustituidos puede obtenerse también compuestos cuyas estructuras sean tan largas como el del polietileno. Por ejemplo, el cloruro de vinilo.



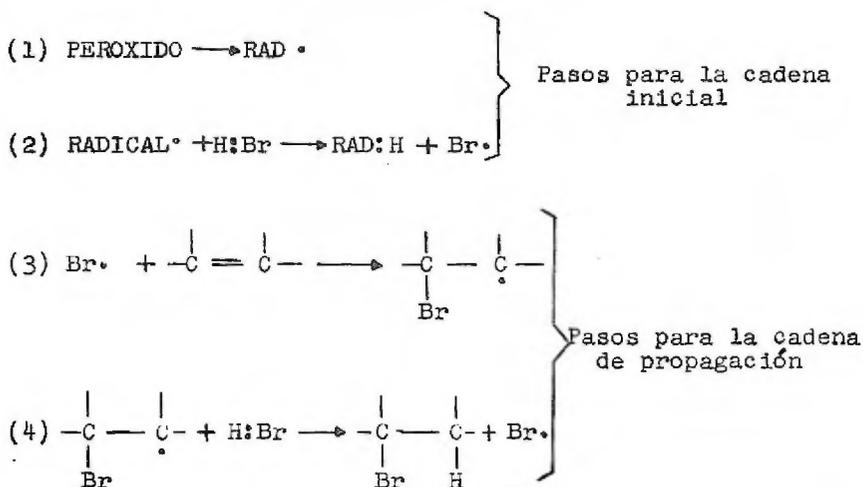
La polimerización requiere la presencia de una pequeña cantidad de iniciador (como un peróxido). Los iniciadores más comunes son los peróxidos, los mismos compuestos que traen una adición por radical libre parecida a los alquenos.

Adición por radical libre. Mecanismo de la adición del peróxido iniciado con HBr.

En ausencia de peróxidos, el HBr se adiciona a los alquenos de acuerdo a la regla de Markovnikov: en presencia de peróxidos, la dirección de la adición es exactamente al revés.

Para explicar este efecto del peróxido, Kharash y Mayo propusieron que la adición puede ser por dos diferentes mecanismos. La adición de Markovnikov por un mecanismo iónico que acabamos de discutir, y la adición anti-Markovnikov por adición de radicales libres. Los peróxidos inician la reacción de radical libre; en su ausencia (o si un inhibidor es adicionado), la adición sigue la trayectoria usual iónica.

La esencia del mecanismo es que el hidrógeno y el bromo se adicionan a la doble ligadura más como átomos que como iones; el intermedio es más bien un radical libre que un ión carbonio.



Después se repiten los pasos (3), (4), (3), (4), etc.

Ahora bien, continuando con la polimerización, también se cree que el funcionamiento del peróxido es separarse para formar un radical libre. Este radical libre se adiciona a una molécula de alqueno, y al hacerlo se genera otro radical libre, el cual se adiciona a otra de alqueno para generar un radical aún más largo, el cual se adiciona a otra molécula de alqueno y así sucesivamente. Eventualmente la cadena se termina por pasos, por la unión de dos radicales, que consume pero no genera radicales.

También las huellas de ciertas impurezas, actúan como finalizadores de la cadena o agentes de transferencia de la cadena (interrumpiéndola o iniciando otra cadena) puede interferir drásticamente con el proceso de polimerización, los monómeros usados están entre los productos químicos más puros.

#### Industrial.- Métodos usados en la producción comercial del polietileno

Muy poca información se ha divulgado comparativamente en la literatura de ingeniería en cuanto concierne a los métodos para la preparación a gran escala de este polímero. El proceso de la Carbide and Carbon descrito por J.P. Hamilton y C.O. Srather, emplea un proceso continuo de polimerización usando como catalizador 0.01% de oxígeno a presión entre el rango de 20,000 a 35,000 psi y a temperaturas desde 200°C hasta 300°C. La reacción se lleva a cabo en una corriente donde de 4 a 20% de etileno se convierte al polímero en este paso simple. El exceso de etileno se recircula o recupera y

el producto se reúne cuando se forma. El etileno que no reaccionó y el polímero obtenido se descargan continuamente en un recipiente que se mantiene a una presión de 7 a 70 atmósferas y a una temperatura de 125°C hasta 300°C. El polietileno formado se extruye y enfría.

Los procedimientos de la Dupont son descritos por N.W. Krase y A. E. Lawrence y A. Larsen, se refieren a un proceso en forma de vapor y a un método que emplea un medio acuoso de reacción para la reacción de polimerización sencilla. El etileno, junto con el catalizador se introduce continuamente a una velocidad de 0.81 pies/seg. en un tubo de acero inoxidable, de 3/16 de pulgada de diámetro interno y 40 pies de largo que se mantiene a una temperatura de 210° a 215°C y a una presión de entrada de cerca de 1,000 atmósferas. En general, agua que contiene benceno, se emplea y la conversión puede ser tan alta como de 18%.

El procedimiento de la ICI fue tratado por M.W. Ferrin. La polimerización se lleva a cabo en un tubo de 88 pies de largo, 9/16 pulgadas de diámetro interno y 1 1/2 pulgadas de diámetro externo provisto de entradas para introducir el material en la zona de reacción en los puntos 12 pies, 29 1/2 pies, y 42 pies desde la entrada del tubo. A la entrada del convertidor, se introduce etileno que contiene 20 ppm de oxígeno bajo una presión de 1,000 atmósferas a una velocidad de 17 libras/hora junto con benceno a 18.1 libras/hora y agua precalentada hasta 179°C, que contiene

100 ppm de oxígeno (25.4 libras/hora). En el punto de la primera adición del convertidor hay agua introducida a una temperatura de 172°C conteniendo 100 ppm de oxígeno a una velocidad de 26.4 libras/hora. En el siguiente punto, se inyecta agua a una temperatura de unos 172°C conteniendo 85 ppm de oxígeno a una velocidad de 22.2 libras/hora. En el tercer punto de inyección se introduce agua a 176°C conteniendo 100 ppm de oxígeno a una velocidad de 25.4 libras/hora. El tubo se calienta inicialmente hasta 120°C por calentamiento externo.

Los productos de reacción se derraman continuamente a presiones atmosféricas y el etileno que no reaccionó se recircula. La conversión puede ser 17.1% por paso.

El proceso IG fue descrito por H. Hopff y S. Goebel. Polímeros parafinosos de bajo peso molecular se preparan a 200 atmósferas de presión y 115-120°C, usando una depresión a 1% de peróxido de benzoino en metanol como catalizador. Se usan tubos de 10 milímetros como reactores iniciales en la preparación de polietileno de alto peso molecular. El etileno contiene de 0.05 a 0.10 % de oxígeno como catalizador se introduce al reactor a 1,000 atmósferas de presión y 200°C.

La reacción se termina en tubos de 10 milímetros enfriados por agua a 100°C. El polietileno se separa como un líquido en una conversión de 8 a 15% por paso. Se añade oxígeno a los gases residuales, los cuales se limpian después en una bañó caústico y se recirculan junto con gas fresco.

D) VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO TERMINADO  
SEGUN LAS PROPIEDADES BASICAS

Tres propiedades básicas moleculares -densidad, peso molecular promedio y distribución de peso molecular- afectan a la mayoría de las propiedades mecánicas y térmicas esenciales para procesar el polietileno y obtener buenos productos finales. Pequeñas variaciones en la estructura molecular pueden mejorar o diferenciar algunas de estas propiedades considerablemente. Las propiedades eléctricas de las resinas de polietileno, por otro lado, se afectan en muy poca proporción por estos tres factores moleculares básicos.

Pequeñas variaciones en la densidad pueden ocasionar marcados efectos

Como se explicó anteriormente, un polietileno de alta densidad es aquel en que un mayor porcentaje de moléculas están empacadas de una manera ordenada y el volumen de las áreas amorfas desordenadas es relativamente pequeño. Mientras que las primeras resinas de petroteno tienen densidades desde 0.915 a 0.917 gramos/c.c., las resinas que las sucedieron tienen densidades hasta de 0.938, y actualmente se producen resinas de petroteno de densidades considerablemente altas, arriba de 0.96.

Las variaciones en la densidad no son muy grandes -5% a lo máximo- pero el efecto de un cambio tan pequeño en la densidad puede ser muy marcado en ciertas propiedades esenciales. Para algunas aplicaciones, un aumento en la densidad

demostró ser útil en la mayoría de los casos, porque la acompaña un aumento en la rigidez. Pero mientras algunas propiedades mejoran con tal aumento en la densidad, otras se afectan desfavorablemente.

Una clasificación general que divide a las resinas de polietileno en tres rangos de densidad, es generalmente aceptada en la industria. Los tres rangos siguientes se muestran en la tabla 1.

Baja densidad .....	0.900 a 0.925 g/cc.
Mediana densidad .....	0.926 a 0.940 g/cc.
Alta densidad (lineal) ...	0.941 a 0.965 g/cc.

Tabla 1. Los tres rangos de densidad en el polietileno

Los polietilenos más densos, por supuesto, son los más pesados, pero aún un artículo hecho con polietileno de la más alta densidad flotará en el agua. Esto le da al procesador la ventaja de obtener más volumen a partir de cada Kg. de polietileno que con otros plásticos comerciales.

Hay muchas aplicaciones para las cuales, las resinas de alta densidad y otras para las de baja densidad son preferibles. La tabla 2, da un bosquejo de algunas propiedades importantes para las que se prefieran los rangos de densidades.

### Efectos del cambio en el peso molecular promedio

Cada polietileno consiste de una mezcla de cadenas largas y pequeñas, esto es, de moléculas de alto y bajo peso molecular. El promedio de estos pesos moleculares es la segunda propiedad molecular básica.

El químico de polímeros distingue entre varios promedios de pesos moleculares a los que se llegan por varios métodos que se mencionarán aquí. Con limitaciones, estos pesos moleculares se relacionan inversamente al índice de fusión. Por lo tanto, el término peso molecular promedio, como tal usado en este trabajo, puede definirse como un valor relacionado recíprocamente al índice de fusión. (Esto es, cuando el peso molecular promedio aumenta, el índice de fusión decrece y viceversa).

Generalmente, los polietilenos más apropiados para la extrusión de película, o moldeo por soplado, deberán tener pesos moleculares promedios en un rango un tanto más alto que aquellas resinas más apropiadas para otras aplicaciones como moldeo por inyección.

### Implicaciones de la distribución de peso molecular ancha o angosta para el procesador

La distribución de peso molecular da una imagen general del rango de cadenas largas, medianas y pequeñas en la resina. Cuando el porcentaje de cada peso molecular se grafica contra ese peso molecular se obtiene una curva con un máximo distinguible.

PROPIEDADES	D E N S I D A D		
	0.910 a 0.925 BAJA	0.926 a 0.940 MEDIANA	0.941 a 0.965 ALTA
Punto de ablandamiento al calor		Alta	Más alta
Esfuerzo permisible		Alta	Más alta
Esfuerzo de tensión a la ruptura	Más alta	Alta	
Elongación a la ruptura	Más alta	Alta	
Rigidez		Alta	Más alta
Resistencia al encogimiento	Más alta	Alta	
Resistencia a enconvarse	Más alta	Alta	
Fuerza de impacto en película (rudeza)	Más alta	Alta	
Resistencia a la fragilidad a bajas temperaturas	Más alta	Alta	
Resistencia a esfuerzo de ruptura en medio ambiente	Más alta	Alta	
Impermeabilidad a gases y líquidos		Alta	Más alta
Resistencia a la absorción de grasas y aceites		Alta	Más alta
Transparencia	Alta	Más alta	<u>1/</u>
Libertad al baco o bruma	Alta	Más alta	<u>1/</u>
Brillo	Alta	Más alta	<u>1/</u>

Tabla 2. Diferencias de propiedades entre las distintas densidades del polietileno

PROPIEDADES	D E N S I D A D		
	0.910 a 0.925 BAJA	0.926 a 0.940 MEDIANA	0.941 a 0.965 ALTA
Extracción de película		Alta	Más alta
Resistencia de película caliente a rasgaduras		Alta	Más alta
Tiempo de ciclo de moldeo		Poca	Poca

1/ No es aplicable a polietileno de alta densidad.

Tabla 2. Diferencias de propiedades entre las distintas densidades del polietileno

La distribución de peso molecular se llama angosta si la resina se compone en su mayoría de cadenas cercanas a la longitud promedio; y se llama ancha si la resina está formada de mayor variedad de longitud. Figura 11.

Las resinas de polietileno con una distribución de peso molecular angosta son superiores en unas pocas propiedades esenciales, mientras que aquellas con una distribución más ancha son mejores con respecto a otras propiedades. Dependiendo del tipo de procesamiento para que se requieran, las resinas de petroteno se producen con distribución molecular angosta, mediana o ancha.

Como afectan las tres propiedades básicas moleculares a las propiedades esenciales de la resina

La tabla 3 muestra cómo afectan las tres propiedades básicas moleculares a las propiedades esenciales de la resina. Existen algunas propiedades, sin embargo, que definitivamente no se afectan por alguno de los factores moleculares básicos pero dependen de otros aspectos peculiares de la estructura molecular y existen otros para los cuales tal influencia puede probarse posteriormente.

Tal como la tabla 3 muestra, dos propiedades moleculares básicas pueden tener efectos contrarios en ciertas resinas o productos acabados, en tales casos el uso final de terminará cuales propiedades y consecuentemente, cuales factores moleculares básicos son más importantes y cual resina de polietileno deberá usar el procesador así como el material

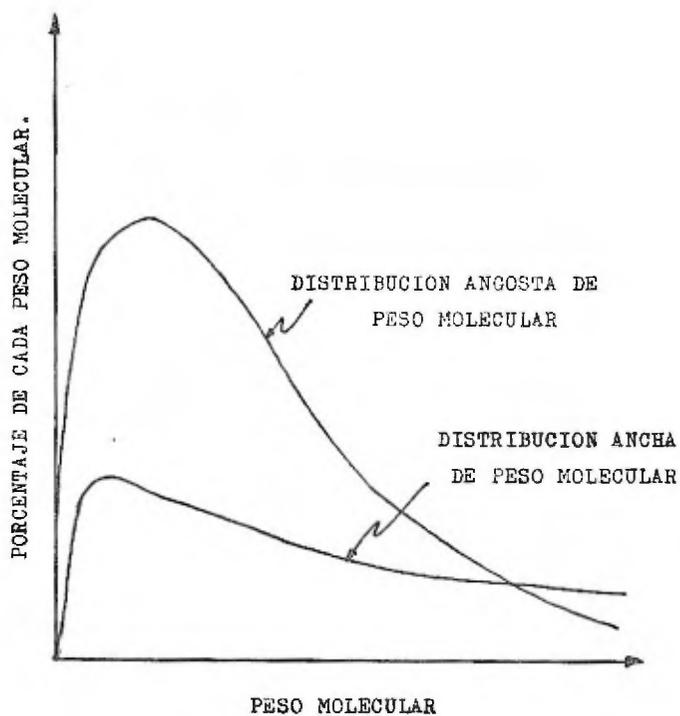


FIGURA 11.- DISTRIBUCION ANCHA Y ANGOSTA DE PESOS MOLECULARES.

más apropiado para dicho uso final.

Mientras aumenta la densidad, propiedades tan importantes como el punto de ablandamiento al calor, resistencia a la penetración de gas y humedad, claridad de película, (ambas, la transparencia y el evitar el bao o bruma) y el pulido, mejoran aunque se sacrifiquen algunas otras propiedades como flexibilidad y resistencia de película al aplicarle fuerza. Tal combinación de propiedades puede ser favorable para hacer alguna clase de bolsas o para moldeo por soplado. Y pueden ser menos útiles para artículos de uso pesado como bolsas de fruta y vegetales.

Un aumento en el peso molecular promedio puede hacer la resina más apropiada para empaques específicos que requieran dureza. Un artículo fabricado con polietileno de alto peso molecular tendrá mayor resistencia al esfuerzo de ruptura en el medio ambiente, esto es, a romperse cuando se someta a esfuerzos en la presencia de líquidos como detergentes case-ros, aceites o solventes.

Por consiguiente, las resinas de polietileno de mayor peso molecular se usan para fabricar garrafones, que se usan como recipientes de ácidos o para botellas.

Debido a que la viscosidad, la resistencia de la resina, el flujo cuando está fundida, aumenta con el peso molecular, las resinas de polietileno se vuelven más difíciles para extraerlas por extrusión y por lo tanto requieren temperaturas de extrusión más altas. Por otro lado, las

resinas de polietileno de peso molecular bajo se usan para tales aplicaciones como moldeo por inyección a bajas temperaturas y tiempos rápidos de ciclo. Ellas sirven a su propósito de buena manera cuando se desea alta producción y no se requieren otras propiedades esenciales.

Las resinas de polietileno con una distribución angosta de peso molecular son superiores la mayoría de las veces en resistencia al esfuerzo de ruptura en el medio ambiente y a ser quebradizas a bajas temperaturas.

Por otro lado, las velocidades de obtención de producto, esencialmente en las técnicas de proceso como manufactura de película y recubrimiento por extrusión, se mejoran por lo ancho de la distribución de peso molecular.

#### Índice de fusión y viscosidad de fusión

Una característica importante de la resina de polietileno es el índice de fusión, que depende en gran parte aunque no exclusivamente del peso molecular promedio. En general una resina de polietileno de alto peso molecular tiene índice de fusión bajo y viceversa.

El índice de fusión describe el comportamiento de una resina de polietileno a una temperatura específica,  $374^{\circ}\text{F}$  ( $190^{\circ}\text{C}$ ) y bajo cierta presión. Si el índice de fusión de una resina es bajo, su viscosidad de fusión o resistencia al flujo de material fundido es alta, y viceversa, la resistencia al flujo de material fundido es la resistencia de la resina fundida a fluir cuando se hacen películas, tubos o recipientes.

TABLA 5.- TRES PROPIEDADES BASICAS CONTRA LAS PROPIEDADES FINALES DE LOS PRODUCTOS DE POLIETILENO.

PROPIEDADES FISICAS. ↓ PROPIEDADES BASICAS MOLECULARES →	SI LA DENSIDAD (CRISTALINIDAD) SE AUMENTA DE 0.915 a 0.965	SI EL INDICE DE FUSION SE AUMENTA O EL PESO MOLECULAR PROMEDIO SE DISMINUYE.	SI LA DISTRIBUCION DE PESO MOLECULAR SE HACE MAS ANGOSTA.
VISCOSIDAD DE FUSION TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO DUREZA DE SUPERFICIE (RESISTENCIA ABRASIVA)	ALTA MUY ALTA ALTA	BAJA BAJA BAJA LIGERAMENTE	ALTA LIGERAMENTE ALTA LIGERAMENTE
RESISTENCIA AL BLOQUEO Y PEGAJOSIDAD EN MOLDES RESBALAMIENTO O DESLIZAMIENTO	ALTA ALTA	LIGERAMENTE BAJA NO AFECTA	
MINIMA DE TEMPERATURA DE SELLADO RANGO DE TEMPERATURA DE SELLADO	ALTA ANGOSTA	LIGERAMENTE BAJA ANGOSTA	LIGERAMENTE BAJA ANGOSTA
FUERZA DE TENSION PERMISIBLE AL FRENO A LA ELONGACION	MUY ALTA LIGERAMENTE BAJA BAJA	LIGERAMENTE BAJA BAJA BAJA	LIGERAMENTE ALTA
RESISTENCIA A DESLIZARSE	ALTA	LIGERAMENTE BAJA	ALTA
RIGIDEZ AL COMBEO FLEXIBILIDAD	MUY ALTA BAJA	LIGERAMENTE BAJA	
FUERZA DE IMPACTO EN PELICULA (RUDEZA) FUERZA DE RAZGADURA EN PELICULA	BAJA	BAJA DEPENDE DE LA TECNICA PARA HACER LA PELICULA Y DE LA DIRECCION DE RASGADURA	
RESISTENCIA A LA FRAGILIDAD A BAJAS TEMPERATURAS	BAJA	LIGERAMENTE BAJA	LIGERAMENTE ALTA
RESISTENCIA AL ESFUERZO DE RUPTURA EN EL MEDIO AMBIENTE	BAJA	BAJA	ALTA LIGERAMENTE
PROPIEDADES OPTICAS: TRANSPARENCIA (TRANSMITANCIA) PARA DEHACERSE DEL BAO O BRUMA BRILLO	ALTA * ALTA * ALTA *	ALTA ALTA ALTA	ALTA BAJA BAJA
VELOCIDAD DE SACADO U OBTENCION	LIGERAMENTE ALTA	MUY ALTA	BAJA
PROPIEDADES DE BARRERA: VELOCIDAD MVT TRANSMISION DE GASES Y LIQUIDOS IMPERMEABILIDAD A LAS GRASAS	BAJA MUY BAJA MUY BAJA	LIGERAMENTE BAJA	
BORDES Y MOLDURAS	ALTA	MUY ALTA	ALTA
ADHESION A LOS SUBSTRATOS (ADHESION FISICA A SUBSTRATOS POROSOS)	LIGERAMENTE BAJA	LIGERAMENTE ALTA	
ENCOGIMIENTO COMBARSE	ALTA LIGERAMENTE ALTA	BAJA BAJA	ALTA
PROPIEDADES ELECTRICAS	LIGERAMENTE ALTA	NO AFECTAN	NO AFECTAN
<p>* NO CIERTO EN EL RANGO DE ALTA DENSIDAD.                      LAS RELACIONES ENTRE ESTAS TRES PROPIEDADES MOLECULARES BASICAS Y LAS PROPIEDADES FISICAS Y OTRAS PROPIEDADES DEL POLIETILENO NO SON SIEMPRE SIMPLES Y CLARAS. A MENUDO LAS APARENCIAS MOLECULARES DISTINTAS A LAS 5 PROPIEDADES BASICAS DE ARRIBA EJERCEN ALGUNA INFLUENCIA EN ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS. LAS RESINAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD NO SIEMPRE PRESENTAN EL MISMO GRADO DE CAMBIO EN LA PROPIEDAD CON UN CAMBIO EN LA DENSIDAD COMO LO PRESENTAN LAS RESINAS DE BAJA DENSIDAD. POR ESTAS RAZONES ESTA TABLA NO DEBE CONSIDERARSE DEFINITIVA.</p>			

Por lo tanto las resinas con el más alto índice de fusión en general fluyen más fácil cuando están calientes o en estado fundido que aquellas con menor índice de fusión.

Para el procesador, la viscosidad de fusión es una propiedad en extremo importante porque todas las operaciones de proceso involucran la fusión del material plástico y luego mover el material fundido para llenar una capacidad dada, tal como un molde, o transformarse en alguna forma especial, como una película.

El comportamiento al flujo del polietileno fundido es diferente al del agua

En la mayoría de los fluidos, el flujo, o sea el volumen empujado a través de una abertura, es directamente proporcional a la presión aplicada. En una gráfica de flujo contra presión, el comportamiento del flujo de los fluidos así llamados Newtonianos, por ejemplo agua, sería descrito por una línea recta tal como la línea punteada en la figura 12. Los polietilenos fundidos, sin embargo actúan diferente-mente a los fluidos Newtonianos. Su velocidad de flujo aumenta más rápidamente que la presión ejercida, como se indica con la línea continua de la figura 12.

Esto significa que el comportamiento de flujo del polietileno fundido altamente viscoso se afecta grandemente por las condiciones de operación de las máquinas en la fábrica tales como presión y temperatura y estas condiciones están sujetas a grandes cambios. Más aún dos resinas podrán tener

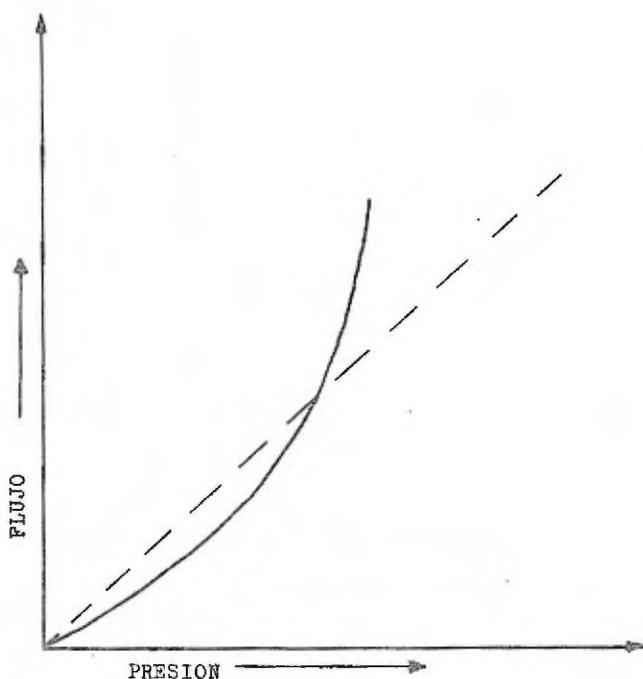


FIGURA 12.- MIENTRAS EL VOLUMEN DE LOS FLUIDOS LLAMADOS NEWTONIANOS TALES COMO EL AGUA, EMPUJADOS A TRAVES DE UNA ABERTURA, ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA PRESION APLICADA (LINEA RECTA); EL FLUJO EN UN FLUIDO NO NEWTONIANO TAL COMO EL POLIETILENO, AUMENTA MAS RAPIDAMENTE QUE LA PRESION EJERCIDA (CURVA).

el mismo índice de fusión pero diferentes propiedades en el flujo a alta presión. Aquellas con la distribución de peso molecular más angosta son más sensibles a cambios de temperatura en el proceso y menos sensibles a cambios de presión.

El índice de fusión no es siempre una buena medida para clasificar polietilenos

Por lo tanto, el índice de fusión, aunque comunmente se usa para clasificar resinas de polietileno, no es siempre una guía segura con respecto a la procesabilidad y a las propiedades finales de resinas específicas.

Algunas veces, existe una pequeña relación entre el índice de fusión y la facilidad del polietileno para una aplicación particular. El índice de fusión, por lo tanto, debe usarse juntamente con otros patrones para describir el flujo y las propiedades mecánicas de una resina. En vez del índice de fusión, para la inyección de moldes se habla mejor de medianos, altos o muy altos rangos de flujo, para discutir los varios tipos de resinas de polietileno.

Los extrusores podrán clasificar el flujo en extrusión por temperatura o los requerimientos de obtención de producto y distinguir entre medianas, bajas o altas velocidades de extrusión de polímeros. Pero mientras exista el polietileno el índice de fusión seguirá siendo útil. Se trabaja actualmente en encontrar una manera más práctica para clasificar a las resinas de polietileno.

### Mejoramiento de la resina de petroteno mediante modificación de las propiedades básicas moleculares

Hoy en día la flexibilidad del equipo de manufactura nos permite modificar las tres propiedades básicas moleculares y mejorar las resinas de petroteno hasta casi cualquier uso final y condiciones de proceso.

Para consumidores de grandes volúmenes se pueden crear resinas con propiedades particulares superiores a las de resinas de polietileno de uso general que existen en el mercado.

Muchas resinas normales del tipo petroteno, son resinas, con las propiedades bien balanceadas creadas durante el proceso de manufactura que encontrarán exitosamente una variedad de aplicaciones comunes a los procesadores.

#### Cooperación con el fabricante

Debido a que un gran número de resinas de polietileno con propiedades físicas marcadamente diferentes son producidas mediante el control de las tres propiedades básicas moleculares, el procesador puede ordenar la resina y propiedades finales del producto que desee. El procesador y el fabricante deben trabajar siempre juntos para determinar la mejor resina para una aplicación particular.

#### E) PROPIEDADES DE LAS RESINAS, PRODUCTOS DE POLIETILENO Y METODOS DE PRUEBA

Existe una gran variedad de resinas de petroteno para los diferentes usos finales. Es imperativo que cualquier

resina de petroteno sea uniforme, entre límites muy angostos con respecto a cada una de sus propiedades esenciales.

En las siguientes páginas se definirán las propiedades esenciales de las resinas de polietileno y de los productos finales y se explicará brevemente su importancia hacia los diferentes tipos de procesadores. La tabla 4 muestra estas propiedades y pruebas.

#### Las pruebas nos aproximan a la realidad

Debemos tener en mente que la mayoría de las pruebas de laboratorio normalizadas son en parte una simplificación o aproximación de lo que le sucede a un artículo plástico acabado durante su uso. Las configuraciones y dimensiones de los ejemplares de prueba y el método por el que se hacen, nunca se duplican en los productos finales extruidos o moldeados. Más aún para determinar las propiedades intrínsecas de la resina, se requieren muestras previamente preparadas, las cuales están libres de esfuerzos, otra condición que se encuentra rara vez en un artículo plástico. Así, aunque una prueba pueda en su mayor parte semejar la realidad los valores que reporta a menudo no dan una semejanza apropiada a una propiedad particular de una resina después de que la resina ha sido moldeada hasta su forma final.

#### Apariencia de la resina (color, tamaño, libre de materia extraña, finos, etc.)

La apariencia de los cubos de petroteno o partículas cilíndricas indica cuando el corte se ha hecho bien, y cuando

la resina está libre de contaminación, tales como partículas descoloridas o con materia extraña. Buena gradación que significa apropiado tamaño de partícula, y virtual libertad de polvos, largos y banderolas (hebras de resina) es particularmente importante para el procesador.

El promedio de "blancura" en un lote virgen no pigmentado de resina de petroteno se determina virtualmente. Las partículas de resina a probarse se comparan con colores de resina estándar. El grado de "blancura" se determina para asegurar lote a lote la uniformidad del producto.

La presencia de manchas, esto es, materia extraña tales como hilaza, polvo, u otras pequeñas partículas ya sea encajadas o colgantes a la superficie de la partícula, se determina también visualmente. Aquí también, los estándares de laboratorio requieren que la resina petroteno esté virtualmente libre de manchas.

Pedazos de 1/2 pulgada, o más, partículas unidas entre sí, o hebras, son rebabas de resina de menos de 2 pul. de largo. Estos tipos de contaminación están prohibidos por los estándares de petroteno porque causan problemas al procesador.

Los finos son resinas pulverizadas tales como las esquinas de las partículas desmoronadas durante el proceso del polímero. Los finos, si existe, son detectados agitando las muestras de cada lote de resinas de petroteno durante 6 minutos en un tamiz agitado. Se colectan en el fondo de las

charolas después de pasarse a través de mallas finísimas en el tamiz agitado.

Este sirve para determinar el contenido de polvos cada lote de resina. Las muestras que representan una sección de lote se ponen en pantallas sobre charolas de aluminio. Las mallas se sacuden fuertemente por 6 minutos y se golpean por un arreglo de martillos en la parte superior. Luego cada charola se revisa buscando polvos que hayan pasado a través de la malla.

#### Contenido de humedad

Un bajo contenido de humedad es frecuentemente una propiedad importante en las resinas de polietileno, particularmente en aquellas que contienen negro de humo y otros estabilizadores higroscópicos, o pigmentos. El porcentaje de humedad se obtiene mediante una prueba que emplea una estufa con radio frecuencia para llevar la humedad de una muestra de resina a una corriente de nitrógeno. La humedad se lleva luego a una celda que genera una señal eléctrica proporcional al nivel de humedad en la corriente del gas. Esta señal puede convertirse en porcentaje de humedad mediante un simple cálculo.

#### Densidad

La importancia de la densidad como una propiedad básica molecular que afecta casi a todas las propiedades físicas esenciales fue ya tratada extensamente. La densidad generalmente se determina en gramos/cc. se pesa una muestra moldeada a presión de petroteno a 23°C primero en aire y luego sumer

gida en un líquido inerte (químicamente inactivo) de densidad conocida. Este es el llamado método hidrostático (ASTM D 792-60T).

Este método se usa para determinaciones de densidad de resinas estándares. Para encontrar la densidad de un artículo acabado o de partículas (pellets) si la muestra es muy pequeña, se usa más el método de gradiente de densidad (ASTM D 1505-60T). Las columnas de gradiente de densidad son altos tubos de vidrio que contienen un líquido de densidad creciente de arriba hacia abajo. Pequeños pedazos de películas, artículos moldeados, cubos, etc, pueden arrojarse en una de estas columnas y se les permite hundirse hasta el nivel donde el líquido tenga la misma densidad que la muestra. Debido a que la densidad del fluido en un punto dado se conoce, uno deduce la densidad de la muestra. Las columnas de gradiente de densidad se convierten en una herramienta necesaria para los clientes cuando desean saber la densidad exacta de un producto.

#### Índice de fusión

Debido a que el índice de fusión se usa ampliamente para clasificar el polietileno por su velocidad de flujo, es necesario para el fabricante conservar el índice de fusión uniforme para cualquier tipo específico de polietileno. La uniformidad en el índice de fusión también indica uniformidad en las propiedades de la resina.

Generalmente altas velocidades de producción se obtendrán en moldeo por inyección si se emplea un polietileno menos viscoso, esto es, uno con mayor índice de fusión. Sin embargo, los procesadores a menudo escogen resinas con menor índice de fusión para mejorar ciertas propiedades tales como la resistencia a la ruptura en el medio ambiente o flexibilidad a baja temperatura.

El petroteno está disponible en un amplio margen de índice de fusión desde 0.2 a 250. Los aditivos pueden cambiar ligeramente la viscosidad de fusión, así como afectar otras propiedades.

Con la ayuda de un aparato llamado indicador de índice de fusión se mide el peso de una resina fundida, la cual se extruye mediante un pistón pesado a través de un orificio en un periodo específico de tiempo. El indicador de índice de fusión consiste esencialmente en un cilindro de acero aislado térmicamente con un orificio de 0.0825 de pulgada (2.1 mm) en la parte inferior y operando adentro el pistón pesado. Durante la medición la temperatura se mantiene a 190°C (374°F). El índice de fusión de la muestra de resina es el peso en gramos, extruídos en 10 minutos.

Debe tenerse en mente que el índice de fusión describe la velocidad de flujo del polietileno a una cierta temperatura y sólo a esa temperatura. Mientras dos resinas de polietileno de diferente fabricante pueden tener exactamente el mismo índice de fusión, cuando se determina en el indicador, es

posible que ellas no tengan la misma viscosidad medidas bajo un esfuerzo que se presente en condiciones diferentes en una máquina de inyección o de extrusión.

La resina que tenga mayor velocidad de flujo bajo estos grandes esfuerzos permitirá mayor rapidez en la producción. La misma resina menos viscosa bajo altos esfuerzos, permitirá procesarla a menor temperatura. Por supuesto, el procesador puede obtener estos beneficios al recurrir a resinas de polietileno de mayor índice de fusión, previendo que no haya pérdidas en otras propiedades críticas de la resina.

#### Punto de fusión

Cuando el polietileno se calienta arriba de  $160^{\circ}\text{F}$  ( $70^{\circ}\text{C}$ ), su cristalinidad decrece gradualmente, dando paso a un aumento en el porcentaje de volumen amorfo. Cuando la elevación de la temperatura causa que la resina pierda toda su estructura cristalina y se convierta completamente amorfa, alcanza el punto de fusión y cambia de un sólido a un líquido altamente viscoso.

Los puntos de fusión de resinas de polietileno de baja y mediana densidad son más bien bajos, no muy arriba de la temperatura de ebullición del agua, y lejos por debajo de la temperatura de  $374^{\circ}\text{F}$  ( $190^{\circ}\text{C}$ ) a la cual se determina el índice de fusión. Las resinas de polietileno de alta densidad tienen puntos de fusión más altos. Los puntos de fusión más altos ayudan a la disminución del tiempo en ciclo de moldeo por inyección y el aumento de la velocidad de producción para

PROPIEDADES	PRUEBAS
Aspecto de la resina:	
Blancura	Visual
Manchas	Visual
Largos	Visual
Banderolas o hebras	Visual
Finos	Agitador Sieve
Densidad	ASTM D 792-60T ASTM D 1505-60T
Indice de fusión	
Propiedades a la tensión:	
Esfuerzo permisible	ASTM D 638-61T
Esfuerzo de tensión a la ruptura, elongación	(Con muestra D412)
Formas moldeadas comprimidas	
Película	ASTM D 882-56T
Rigidez a la torsión	ASTM D 1043-61T
Rigidez al combeo	ASTM D 741-61T
2% Módulo de elasticidad	ASTM D 638-61T
Dureza	ASTM D 675-55T
Fuerza de Impacto en la película (Rudeza)	ASTM D 1709-62T
Fuerza de raagadura en película (Elmendorf)	ASTM D 746-57T
Fragilidad a baja temperatura	ASTM D 746-57T

Tabla 4. Pruebas para control de calidad de resinas de petroteno y para servicio tecnico

PROPIEDADES	PRUEBAS
Resistencia a esfuerzo de ruptura en el medio ambiente	ASTM D 1693-60T
Apariencia de película	Visual
Bruma en película	ASTM D 1003-61T
Brillo (60°)	ASTM D 523-53T
Velocidad de sacado u obtención de película	Velocidad de despegue
Resbalamiento o deslizamiento (coeficiente de fricción)	Plano horizontal
Resistencia de película al bloqueo	Fuerza cortante Paralela. Manejo Práctico
Constante dieléctrica. Factor de potencia	ASTM D 1531-58T

Tabla 4. Pruebas para control de calidad de resinas de petroteno y para servicio tecnico

película soplada.

Punto de ablandamiento al calor

El punto de ablandamiento al calor (o temperatura de ablandamiento VICAT) -no debe confundirse con el punto de fusión- es la temperatura a la cual el artículo acabado de polietileno se vuelve muy blando para soportar esfuerzos y conservar su forma. Es la temperatura a la cual una aguja plana de 1 mm<sup>2</sup> de sección bajo una carga de 1 Kg. penetra 1 mm. en el artículo de polietileno. En la prueba VICAT la temperatura de la muestra se aumenta a velocidad constante.

Una alta temperatura de ablandamiento al calor puede resultar para productos que deban soportar mayores temperaturas sin distorsión. Esto significa vida más larga para aquellos artículos limpiados en lavadoras de platos automáticos y mejor esterilizabilidad para equipo de laboratorio y botellas de bebés. Ninguna de las resinas existentes de petroteno, deben, sin embargo, calentarse arriba de 180°F (82°C). La temperatura de ablandamiento aumenta considerablemente mientras aumenta la densidad y ligeramente cuando disminuye el índice de fusión.

Con sus más altos puntos de ablandamiento al calor (y mayor rigidez) algunas de las resinas de petroteno de alta densidad para moldeo por inyección se pueden moldear más rápidamente que las resinas correspondientes de baja densidad. Esto significa reducción en el tiempo de ciclo y aumento en

producción. Sin embargo, debe tenerse mucho cuidado para minimizar los esfuerzos en el moldeo.

Fuerza permisible, fuerza de tensión a la ruptura y elongación

La fuerza permisible es la fuerza de tensión o esfuerzo más elevado, en libras por pulgada cuadrada de área de sección de la muestra de prueba, a que un material plástico moldeado o película puede someterse y regresar después a su forma original cuando la fuerza se ha eliminado ( $1 \text{ lb/pulg}^2 = 0.0703 \text{ Kg/cm}^2$ ). La fuerza de tensión, también expresada en libras por pulgada cuadrada de área seccional, que romperá la muestra moldeada o película a temperatura de medio ambiente es la fuerza de tensión a la ruptura (o al freno o última fuerza de tensión). La extensión de la muestra en el momento de ruptura se llama elongación, y se expresa como un porcentaje de la longitud original.

La fuerza permisible, y la fuerza de tensión a la ruptura son propiedades importantes para los procesadores y convertidores. Una alta fuerza permisible y elongación, pueden o no ser propiedades benéficas, dependiendo del uso final del material plástico. Las tres propiedades, son, en varios grados, funciones de las propiedades básicas moleculares. Una resina de petroteno de alta densidad tiene muy alta fuerza permisible, ligeramente baja fuerza de tensión a la ruptura, y menor elongación que de una resina de baja densidad. Un promedio de peso molecular elevado, esencialmente

equivale a un índice de fusión menor, esto origina una alta fuerza de tensión a la ruptura y ligeramente alta fuerza permisible. Una distribución angosta de peso molecular origina un ligero mejoramiento en la fuerza de tensión a la ruptura.

#### Pruebas para fuerza y elongación

En los laboratorios estas tres propiedades, -fuerza permisible, fuerza de tensión a la ruptura y elongación-, que están más o menos, basicamente relacionadas unas a otras se verifican por los dos mismos métodos de prueba. El método ASTM D 638-61T se usa para muestras preparadas por moldeo por compresión y el método de prueba ASTM D 882-56T para muestras de películas.

(Las pruebas para determinar esfuerzo permisible, fuerza de tensión a la ruptura, elongación y módulo de elasticidad para artículos moldeados o películas de polietileno se hacen con una máquina de prueba de cruceta con velocidad constante. Durante la prueba la tenaza inferior se mueve verticalmente a velocidad constante activada por presión. Se dispone también de un equipo de gráficas; la curva del esfuerzo se imprime en una gráfica y así se determina el módulo de elasticidad).

#### Resistencia al arrastre

El "arrastre" (creep) bajo ciertas condiciones de servicio se convierte en un problema para artículos fabricados de polietileno. El "arrastre" es el cambio gradual de dimensiones de un material bajo carga por un largo periodo -

de tiempo, el arrastre a temperatura ambiente se llama a menudo flujo frío.

La alta densidad aumenta la resistencia del polietileno al arrastre en base a un término corto, por lo tanto, las resinas de alta densidad de petroteno tienen menor tendencia a fluir bajo un esfuerzo.

Rigidez (a la torsión, a la flexión, módulo de elasticidad)

La mayoría de los moldeadores de polietileno desean un alto grado de rigidez. La alta rigidez puede ser una ventaja económica porque puede significar paredes más delgadas o ciclos de inyección más rápidos, o ambos, o tal vez más artículos por Kg. de resina o por hora o ambos, o puede significar artículos más rígidos con el mismo espesor de pared. A menudo también se desea alta rigidez en películas por ejemplo, en algunas aplicaciones de empaque. Las películas débiles, requieren equipo especial de maquinaria para hacer bolsas y empaques, mientras que películas más rígidas se acomodan a todo y tienen buena ondulación y rizado.

Existen por otro lado, circunstancias donde una resina rígida no encajaría. La gran ventaja de la tubería de polietileno por ejemplo, es su flexibilidad que le permite embobinarse e instalarse con un mínimo esfuerzo. Esto reduce el costo total de instalación tal que en muchas aplicaciones se prefiere tubería de polietileno en vez de tubería de acero.

La rigidez aumenta con la densidad (procurando que el índice de fusión permanezca inalterado) y a un grado mucho menor, con el peso molecular promedio. Esto significa que para una cierta densidad de bajo índice de fusión es solo ligeramente más rígida que una de alto índice de fusión.

#### Tres métodos de prueba determinan rigidez

La rigidez a la torsión es una medida de la resistencia de una resina de polietileno a una acción de retorcer, enroscar. La rigidez a la flexión es una medida de la flexibilidad de un material a una acción de doblez. Finalmente el módulo de elasticidad (llamado módulo de elasticidad, 2% secante) es una medida directa del cambio que un esfuerzo aplicado a extensión o deformación causa en el material a tensión.

La rigidez a la torsión se determina en lb/pulg<sup>2</sup>, de acuerdo al método de prueba ASTM D 1043-61T. El ángulo de deflexión o desviación de una muestra de polietileno bien sujeta se determina cuando la fuerza tendiente a retorcer, medida en libra pulgada (1 libra-pulgada  $\approx$  1.15 Kg.cm.) se aplica a temperatura de 73°F (22.8°C). El aparato para hacer estas determinaciones se llama probador de tensiones CLASH-BERG, ejerce un par determinado en el material de prueba montado con una separación de 2 pulgadas (51 mm.) y sumergido en un líquido que se conserva a una cierta temperatura.

La rigidez a la flexión se determina también en lb/pulg<sup>2</sup> de acuerdo con el método de prueba ASTM D 747-61T. El probador de rigidez Tenius Olsen usado en esta prueba,

consiste esencialmente en: 1) una prensa para sostener la muestra a la cual se le fija un señalador y se gira por un motor a velocidad de  $60^{\circ}$ /minuto; 2) un sistema de péndulo balanceado con una escala de deflexión angular, un segundo señalador, una plataforma giratoria para hacer contacto con el lado libre de la muestra, y una serie de pesas, 3) una escala fija de pesas que mide la deflexión del sistema de péndulo. Una vez que se arrancó el motor la palanca del mismo se acciona por intervalos medidos en arcos en la escala de deflexión angular y se toman lecturas en la escala fija de pesas. A partir de las lecturas del ángulo de deflexión y las de la escala fija, se calcula la rigidez a la flexión.

El módulo de elasticidad se determinó también en libras/pulgada de acuerdo al método de prueba de ASTM D 638-61T. La máquina de fuerza usada para determinaciones de prueba y elongación se usa para obtener la curva de esfuerzo a tensión. La muestra se fija y el brazo de la máquina accionado por potencia camina uniformemente cuando el motor se enciende como se explicó anteriormente. En esta prueba la cruceta se mueve primero hacia abajo una pequeña distancia y regresa automáticamente. La curva que describe el cambio de la carga aplicada o la deformación de la muestra se obtiene en un graficador automatico.

#### Dureza

La dureza es necesaria para muchos productos finales. Por ejemplo, para el fabricante de cable y alambre, una

superficie dura significa mejor resistencia a la abrasión.

Una resina de alta densidad es considerablemente más dura que una de baja densidad, mientras que un bajo índice de fusión significa ligeramente mayor dureza.

La dureza debe medirse de acuerdo con el método de prueba ASTM D 676-55T. Las hendiduras de una muestra se determinan con ayuda de una herramienta simple estandarizada llamada durómetro SHORE, el cual está sujeto en posición vertical y se aplica sobre la muestra que reposa sobre una plataforma horizontal rígida. La penetración en la muestra por la muesca se lee en una escala dentro de la herramienta.

#### Encogimiento

Mientras que para muchos materiales plásticos tales como juguetes, el encogimiento no es un factor determinante existen muchos otros productos que requieren tolerancias muy precisas: donde se fabrique una tapa de polietileno las dimensiones finales son de gran cuidado, y muchos objetos deben tener el encogimiento exacto necesario.

El encogimiento, desde luego, no puede evitarse, si una pieza plástica -o una pieza de cualquier material para esa prueba que se produzca a alta temperatura y subsecuente<sup>mente</sup> se enfríe a temperatura ambiente, se contrae normalmente. El aumento en el encogimiento depende grandemente entre la diferencia de temperatura de procesamiento y del medio ambiente y del así llamado coeficiente lineal de expansión.

sión térmica de la resina. Para el petroteno es como 0.000,28 pulgadas por pulgada (2.8 micrones por cm.) por °C.

Además de las condiciones de moldeo, el encogimiento en las partes inyectadas se afecta también por las propiedades moleculares básicas. Las resinas de polietileno de baja densidad son menos susceptibles al encogimiento. Una parte moldeada de resina de alto índice de fusión tiene ligeramente menor tendencia a encogerse que una parte hecha de una resina de bajo índice de fusión.

Cuando el fabricante tiene que trabajar con pocas tolerancias, debe tomar en cuenta el inevitable encogimiento de su pieza. Un promedio de 0.03 pulgada por pulgada (0.3 mm por cm.) es un buen valor que puede usarse para contrarrestar el encogimiento que ocurra a partir del tamaño del molde hasta el tamaño final del artículo frío.

#### Encombamiento

El encombamiento es materia de gran importancia para el procesador por inyección que fabrica artículos planos tales como escurrideras, tapas muy largas y otros artículos en el campo del hogar. El encombamiento se origina por esfuerzos cautivos en el artículo moldeado que pueden resultar de la distorsión en la forma debida a presiones excesivas o a enfriamiento desigual del artículo formado.

Si estos esfuerzos están distribuidos desigualmente, la pieza moldeada se encogerá no uniformemente cuando se

enfrie y consecuentemente se torcerá y combará.

El encombamiento se afecta primeramente por las condiciones del moldeo, pero polietilenos de baja densidad y menor peso molecular promedio tienen ligeramente menor tendencia a encombarse.

#### Fuerza de impacto (dureza)

La fuerza de impacto de una película, esto es, su resistencia al impacto de un golpe, no debe confundirse con la fuerza de rasgadura de película que será tratada después. La fuerza de impacto debe ser alta en un gran número de aplicaciones de película, tales como bolsas de empaque químico, sacos recubiertos con lienzos que se usan en el campo de la construcción, o generalmente, para películas de uso pesado.

La alta densidad del polímero disminuye esta propiedad. Por lo tanto a menos que la fuerza de impacto sea un requisito importante, se recomienda normalmente una resina de -- menor densidad.

La fuerza de impacto en película se determina por varios métodos. En la prueba de la bolsa tirada, una bolsa de polietileno se llena con una cantidad específica de arena, frijoles, pelotas de golf, u otros materiales y se tira desde una cierta altura a una superficie suave o dura. La altura máxima a la cual la bolsa resista tres caídas sucesivas sin romperse sirve como una medida de la fuerza de impacto de película. La prueba no es muy precisa pero es útil porque simula las condiciones de uso finales: los empaques deben ser ca-

paces de soportar fuerzas grandes o golpes tales como aquellos que sufre una bolsa de frijoles o papas cuando cae de una repisa de una tienda.

Las variaciones a esta prueba se usan para probar impactos en bolsas de polietileno en condiciones simuladas del uso final. Por ejemplo, las películas para empaque para alimentos congelados se prueban dejando caer bolsas que contienen 2 libras (900 g.) de cubos de resina en un congelador para determinar la altura a la cual las bolsas no resisten 3 caídas a una cierta temperatura muy baja.

La prueba más exacta y reproducible es aquella en la que se deja caer un dardo, método ASTM D 1709-62T, en vez de dejar caer la bolsa llena, el dardo se deja caer sobre una hoja de polietileno fuertemente ostendida. El dardo se deja caer de menos sobre 4 juegos de 10 muestras c/u. Cada juego se somete cada vez a mayores pesos. El punto de falla de 50% para la muestra se determina graficando el porcentaje de falla de cada juego contra el peso en gramos. Esta es una expresión justa en la fuerza de impacto de la película de muestra.

Debido a que la alta fuerza de impacto es una medida de la rudeza del polietileno, una resina que dé película de alta fuerza de impacto también dará partes moldeadas de considerable dureza.

#### Fragilidad de la película

La fragilidad de la película es la tendencia de la película de polietileno hecha bolsas para partirse a lo largo

de un doblez, pliegue, ángulo o a lo largo de la cara de la bolsa cuando se le aplica un esfuerzo súbito.

Esta propiedad depende mayormente de la densidad de la resina y de la orientación molecular. Películas hechas con resinas de baja densidad son menos frágiles que las películas de resinas de alta densidad. Las películas hechas con resinas de bajo índice de fusión son también ligeramente menos frágiles que películas hechas con resinas de alto índice de fusión.

Una distribución de peso molecular angosta, que distingue a las resinas de petroteno, también tiene influencia favorable. Debido a que la fragilidad de la película también depende en la orientación estructural de la película, puede ser muy diferente en la dirección de la máquina y en la dirección transversal. Las películas planas, cuando se extruyen a altas velocidades se orientan más en la dirección de la máquina que en la dirección transversal. (Esto significa que las moléculas del polímero tienen tendencia a alinearse en la dirección de la máquina). La mayoría de las películas sopladadas, también, se orientan más en la dirección de la máquina que en la dirección transversal, aunque en menor grado que las películas planas.

Una película balanceada será igualmente frágil en ambas direcciones, mientras más desbalanceada sea la película, plana o soplada, se vuelve más frágil en la dirección de la máquina. Películas desbalanceadas, especialmente hechas

con resinas de alta densidad, se romperán más fácilmente en un doblez que corra en la dirección de la máquina (cuando se force perpendicularmente en esta dirección) que en una que corra en dirección transversal (cuando se force perpendicularmente en esta dirección).

La fragilidad de película puede a menudo detectarse en la prueba de dejar caer la bolsa a baja temperatura descrita anteriormente.

#### Fuerza de rasgamiento en la película (Elmendorf)

La resistencia de una película de polietileno a rasgarse tiene significado para algunos consumidores, especialmente para ciertos procesos de empaque. La resistencia a las rasgaduras a una fuerza cortante se mide con el probador de rasgaduras Elmendorf de acuerdo al método de prueba ASTM D 689-44 (está en revisión actualmente). La parte móvil de esta máquina es un péndulo oscilatorio libre, inicialmente se sostiene en posición levantada, que puede soltarse instantáneamente. El probador Elmendorf determina la fuerza que se requiere para propagar una rasgadura a lo largo de una película de muestra, cortar en forma de canal, de acuerdo a las especificaciones, a una velocidad rápida cortante, expresada en gramos por milésima de pulgada de espesor de película. (1 milésima de pulgada 25.4 micras).

Existen a menudo grandes variaciones en la fuerza Elmendorf -la cual es básicamente la propagación de una rasgadura- en la dirección de la máquina y en la dirección trans

versal, especialmente para películas planas debido a la orientación predominante de las moléculas en la dirección de la máquina durante la extrusión.

La fuerza de rasgadura Elmendorf mejora cierto grado a mayor densidad de la resina. Las películas de resinas de petroteno de densidad 0.924 tienen más alta fuerza de rasgadura que las resinas de petroteno de densidad 0.916. Deberá, sin embargo, tenerse en mente que la fuerza de rasgadura Elmendorf no es siempre comparable con la fuerza manual de rasgadura.

#### Fragilidad a baja temperatura

La temperatura de fragilidad a la cual una pieza estandard de polietileno se convierte suficientemente frágil que pueda romperse cuando se someta a un soplido repentino.

Debido a que algunos artículos de polietileno pueden usarse en algunos lugares con clima muy frío, es imperativo que sean hechos de resinas que tengan buena resistencia en bajas temperaturas. Las resinas de polietileno con bajo índice de fusión, baja densidad y distribución de peso molecular angosta tienen comparativamente bajas temperaturas de fragilidad.

Para medir la temperatura de fragilidad de una muestra de polietileno se usa el método ASTM D 746-57T. Este método, Tinus Olsen, establece la temperatura a la cual la mitad de las muestras fallan cuando se someten a un soplido estandard dentro del probador de temperatura de fragilidad.

versal, especialmente para películas planas debido a la orientación predominante de las moléculas en la dirección de la máquina durante la extrusión.

La fuerza de rasgadura Elmendorf mejora cierto grado a mayor densidad de la resina. Las películas de resinas de petroteno de densidad 0.924 tienen más alta fuerza de rasgadura que las resinas de petroteno de densidad 0.916. Deberá, sin embargo, tenerse en mente que la fuerza de rasgadura Elmendorf no es siempre comparable con la fuerza manual de rasgadura.

#### Fragilidad a baja temperatura

La temperatura de fragilidad a la cual una pieza estandard de polietileno se convierte suficientemente frágil que pueda romperse cuando se someta a un soplido repentino.

Debido a que algunos artículos de polietileno pueden usarse en algunos lugares con clima muy frío, es imperativo que sean hechos de resinas que tengan buena resistencia en bajas temperaturas. Las resinas de polietileno con bajo índice de fusión, baja densidad y distribución de peso molecular angosta tienen comparativamente bajas temperaturas de fragilidad.

Para medir la temperatura de fragilidad de una muestra de polietileno se usa el método ASTM D 746-57T. Este método, Tinus Olsen, establece la temperatura a la cual la mitad de las muestras fallan cuando se someten a un soplido estandard dentro del probador de temperatura de fragilidad.

En este instrumento, las temperaturas de prueba se controlan rígidamente por medio de refrigerantes tales como  $\text{CO}_2$  sólido, freón, y  $\text{N}_2$  líquido. Las muestras a probarse están sujetas fuertemente en prensas, montadas las muestras como cubiertas voladas se les distribuyen soplidos de impacto mediante un alerón que se mueve a velocidad de 6 a 7 pies/seg. (1.8 a 2.1 m/seg.). Después de cada impacto, cada muestra se inspecciona buscando cuarteadas o roturas.

#### Limitaciones prácticas de la prueba de fragilidad a baja temperatura

Las muestras rectangulares de prueba se aplanan para asegurar su largo y ancho mediante platos compresores y se templan antes de la prueba. Consecuentemente, están prácticamente libres de esfuerzos.

Pero debido a esta idealización la prueba no es completamente representativa en tanto concierne a un material plástico procesado. Cualquier artículo de polietileno que sale de una máquina de inyección, especialmente una pieza de forma complicada y de sección distinta, tiene escondidos, esfuerzos no relajados, y éstos hacen la diferencia de la muestra preparada.

Todas las resinas de petroteno tienen temperaturas muy bajas de fragilidad. Pero esto no significa que cada artículo hecho con estas resinas, necesariamente resistirá los esfuerzos aún de uso común a temperaturas más altas que la temperatura de fragilidad establecida en la prueba. Los

esfuerzos internos pueden elevar en muchos grados la temperatura de fragilidad.

#### Resistencia química

El polietileno sin esfuerzos a temperatura ambiente y temperaturas normales de servicio hasta de  $140^{\circ}\text{F}$  ( $60^{\circ}\text{C}$ ), es altamente resistente a una gran variedad de sustancias químicas más bien agresivas, tales como ácidos inorgánicos, alcoholes, aceites grasos, alimentos químicos y detergentes. Los líquidos corrosivos como el ácido sulfúrico concentrado y ácido fluorhídrico pueden empacarse en botellas de polietileno. A altas temperaturas, el polietileno, en el rango de densidad tratado en este trabajo se disuelve en diversos solventes comunes.

Mientras más bajo sea el índice de fusión en este rango, es mejor la resistencia a los solventes y productos químicos. La tabla 5, muestra el grado de resistencia química del polietileno a varios reactivos. Los valores se obtienen a partir de pruebas hechas bajo condiciones estáticas y empleando muestras sin esfuerzos. Los reactivos marcados con un asterisco (\*) pueden, bajo ciertas condiciones, causar esfuerzo de ruptura en el medio ambiente, (ver la siguiente sección) si los productos de polietileno son impropriadamente diseñados o no hechos con las resinas más apropiadas.

#### Resistencia al esfuerzo de ruptura del medio ambiente

Como se enfatizó en la sección precedente, las resinas de polietileno son altamente resistentes a la mayoría de

RESISTENCIA QUIMICA DEL POLIETILENO A VARIOS REACTIVOS:

REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA		REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA		REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA	
		70°F	140°F			70°F	140°F			70°F	140°F
ACETALDEHIDO	100%	O	U	CLORURO DE BARIO	SATURADO	S	S	BIOXIDO DE CARBONO	SATURADO FRIO	S	S
ACIDO ACETICO	1-10%	S	S	HIDROXIDO DE BARIO		S	S	DISULFURO DE CARBONO		U	U
ACIDO ACETICO	10-60%	S	O	SULFATO DE BARIO	SATURADO	S	S	MONOXIDO DE CARBONO		S	S
ACIDO ACETICO	80-100%	O	U	SULFITO DE BARIO	SATURADO	S	S	TETRAFLUORO DE CARBONO		U	U
ANHIDRIDO ACETICO		U	U	CERVEZA		S	S	ACIDO CARBONICO		S	S
ACETONA		U	U	BENCENO		U	U	ACEITE DE CASTOR*	CONCENTRADO	S	S
EMULSIONES ACRILICAS*		S	S	ACIDO BENZEN SULFONICO		S	S	ACIDO CLOROACETICO	100%	U	U
ALCOHOL ALILICO		U	U	ACIDO BENZOICO	TODAS CONC.	S	S	GAS DE CLORO SECO	100%	O	U
CLORURO ALILICO		U	U	CARBONATO DE BISMUTO	SATURADO	S	S	GAS DE CLORO HUMEDO		O	U
CLORURO DE ALUMINIO	DILUIDO	S	S	LICOR NEGRO		S	S	CLORO LIQUIDO		U	U
CLORURO DE ALUMINIO	CONCENTRADO	S	S	LEJIA BLANQUEADORA	10%	S	S	AGUA DE CLORO	SOL. SAT. 2%	S	S
SULFATO DE ALUMINIO	CONCENTRADO	S	S	BORAX	SATURADA FRIA	S	S	CLOROBENCENO		U	U
ALUMBRE (TODOS TIPOS)	CONCENTRADO	S	S	ACIDO BORICO	DILUIDO	S	S	CLOROFORMO		U	U
AMONIACO, 100%	GAS SECO	S	S	ACIDO BORICO	CONCENTRADO	S	S	ACIDO CLOROSULFONICO	100%	U	U
CARBONATO DE AMONIO		S	S	ACIDO BROMICO	10%	S	S	ALUMBRE CROMICO	SATURADO	S	S
CLORURO DE AMONIO	SATURADO	S	S	BROMO LIQUIDO	100%	U	U	ACIDO CROMICO	20%	S	S
FLUORURO DE AMONIO	20%	S	S	AGUA DE BROMO		U	U	ACIDO CROMICO	ARRIBA DE 50%	S	S
HIDROXIDO DE AMONIO	0,980 s.g.	S	S	BUTANODIOL*	10%	S	S	ACIDO CROMICO Y SULFURICO*		S	O
METAFOSFATO DE AMONIO	SATURADO	S	S	BUTANODIOL*	60%	S	S	SIDRA*		S	S
NITRATO DE AMONIO	SATURADO	S	S	BUTANODIOL*	100%	S	S	ACIDO CITRICO*	SATURADO	S	S
PERSULFATO DE AMONIO	SATURADO	S	S	ALCOHOL BUTILICO*	100%	S	S	ALCOHOLES DE ACEITE COCO*		S	S
SULFATO DE AMONIO	SATURADO	S	S	ACIDO BUTIRICO	CONCENTRADO	U	U	CONC. DE COLA*		S	S
SULFITO DE AMONIO	SATURADO	S	S	BISULFITO DE CALCIO		S	S	CLORURO DE COBRE	SATURADO	S	S
TIOCIANATO DE AMONIO	SATURADO	S	S	CARBONATO DE CALCIO	SATURADO	S	S	CIANURO DE COBRE	SATURADO	S	S
ACETATO DE AMILO	100%	U	U	CLORATO DE CALCIO	SATURADO	S	S	FLUORURO DE COBRE	2%	S	S
ALCOHOL AMILICO*	100%	S	S	CLORURO DE CALCIO	SATURADO	S	S	NITRATO DE COBRE, SAT.	SATURADO	S	S
CLORURO DE AMILO	100%	U	U	HIDROXIDO DE CALCIO		S	S	SOLUCION DE COBRE	DILUIDO	S	S
ANILINA*	100%	S	U	HIPOCLORITO DE CALCIO	SOL. BLANQUEA	S	S	SULFATO DE COBRE	CONCENTRADO	O	S
ANILINA HIDROCLORADA	SATURADA	S		NITRATO DE CALCIO	50%	S	S	ACEITE DE SEMILLA DE LINO*		S	S
CLORURO DE ANTIMONIO		S	S	SULFITO DE CALCIO		S	S	CRESOL	100%	U	U
AGUA REGIA		U	U	ACEITE DE ALCANFOR		U	U	ACIDO CRESILICO	50%	S	S
ACIDO ARSENICO	100%	S	S	BIOXIDO DE CARBONO	100% SECO	S	S	CLORURO COPROSO	SATURADO	S	S
CARBONATO DE BARIO	SATURADO	S	S	BIOXIDO DE CARBONO	100% HIGADO	S	S	CICLOHEXANOL*		S	S

70°F = 21°C

140°F = 60°C

CLAVE: S- SATISFACTORIO

O- POCO ATAQUE

U- INSATISFACTORIO.

## RESISTENCIA QUIMICA DEL POLIETILENO A VARIOS REACTIVOS

76.

REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA		REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA		REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA	
		70°F	140°F			70°F	140°F			70°F	140°F
CICLOHEXANONA		U	U	ACIDO FORMICO*	10-50%	S	S	ACIDO HIPOCLOROSO	CONCENTRADO	S	S
DETERGENTES SINTETICOS*		S	S	ACIDO FORMICO*	100%	S	S	TINTAS*		S	S
REVELADORES FOTOGRAFICOS		S	S	FRUCTUOSA	SATURADA	S	S	YODO ( EN SOL. KI)	CONCENTRADO	O	U
DEXTRINA	SATURADA	S	S	PULPA DE FRUTA		S	S	ACIDO LACTICO*	10%	S	S
DEXTROSA	SATURADA	S	S	ACEITE COMBUSTIBLE		O	U	ACIDO LACTICO*	90%	S	S
DIBUTILFTALATO		O	O	FURFURAL	100%	U	U	LATEX*		S	S
FOSFATO DI SODICO		S	S	ALCOHOL FURFURILICO		U	U	ACETATO DE PLOMO	SATURADO	S	S
SALES DIAZO		S	S	ACIDO GALICO*	SATURADO	S	S	TETRA ETILO DE PLOMO	100%	S	S
DIETILEN GLICOL*		S	S	GASOLINA		U	U	ACEITE DE SEMILLA LINO		O	U
ACIDO DIGLICOLICO*		S	S	GINEBRA		U	U	ACEITE LUBRICANTE		U	U
DIMETILAMINA		U	U	GLUCOSA		S	S	CARBONATO DE MAGNESIO	SATURADO	S	S
FTALATO DIOCTILICO		O	U	GLICERINA*		S	S	CLORURO DE MAGNESIO	SATURADO	S	S
EMULSIONES FOTOGRAFICAS*		S	S	GLICOL*		S	S	HIDROXIDO DE MAGNESIO	SATURADO	S	S
ACETATO DE ETILO	100%	O	U	ACIDO GLICOLICO*	30%	S	S	NITRATO DE MAGNESIO	SATURADO	S	S
ALCOHOL ETILICO*	100%	S	S	AZUCAR DE UVA		S	S	SULFATO DE MAGNESIO	SATURADO	S	S
ALCOHOL ETILICO*	50%	S	S	HEPTANO		U	U	ACIDO MALEICO	SATURADO	S	S
BUTIRATO DE ETILO		O	U	HEXANOL*		S	S	CLORURO DE MERCURIO	SATURADO	S	S
CLORURO DE ETILO		U	U	ACIDO HIDROBROMICO	50%	S	S	CYANURO DE MERCURIO	SATURADO	S	S
ETER ETILICO		U	U	ACIDO HIDROCLORICO	SATURADO	S	S	NITRATO MERCUROSO	SATURADO	S	S
CLORURO ETILENICO		U	U	ACIDO CLORHIDRICO	10%	S	S	MERCURIO		S	S
CLORHIDRINA ETILENICA		U	U	ACIDO CLORHIDRICO	30%	S	S	ALCOHOL METILICO*	100%	S	S
DICLORURO DE ETILENO		U	U	ACIDO CLORHIDRICO	33%	S	S	BROMURO DE METILO		O	U
ETILEN GLICOL*		S	S	ACIDO CLORHIDRICO	CONCENTRADO	S	S	CLORURO DE METILO		O	U
CLORURO FERRICO	SATURADO	S	S	ACIDO FLUORHIDRICO	40%	S	S	METIL ETIL CETILINA*	100%	U	U
NITRATO FERRICO	SATURADO	S	S	ACIDO FLUORHIDRICO	60%	S	S	CLORURO DE METILENO	100%	U	U
CLORURO FERROSO	SATURADO	S	S	ACIDO FLUORHIDRICO	75%	S	O	ACIDO METILSULFURICO*		S	S
SULFATO FERROSO		S	S	HIDROGENO	100%	S	S	LECHE		S	S
SOLUBLES DE PESCADO*		S	S	BROMURO DE HIDROGENO	10%	S	S	ACEITES MINERALES		O	U
ACIDO FLUORBORICO		S	S	CLORURO DE HIDROG. GAS	SECO	S	S	MELASAS	COMUNES	S	S
FLUORURO		S	U	PEROXIDO DE HIDROGENO	50%	S	O	NAFTA		S	U
ACIDO FLUORSILICICO	52%	S	S	PEROXIDO DE HIDROGENO	90%	S	U	NAFTELENO		U	U
ACIDO FLUORSILICICO	CONCENTRADO	S	O	FOSFORO DE HIDROGENO	100%	S	S	CLORURO DE NIQUEL	SATURADO	S	S
FORMALDEHIDO	40%	S	S	SULFURO DE HIDROGENO		S	S	NITRATO DE NIQUEL	CONCENTRADO	S	S
ACIDO FORMICO*	3-20%	S	S	HIDROQUINONA		S	S	SULFATO DE NIQUEL	SATURADO	S	S
								NICOTINA*	DILUIDA	S	S

70°F = 21°C

140°F = 60°C

CLAVE:

S: SATISFACTORIO

O: FOCO ATAQUE

U: INSATISFACTORIO

## RESISTENCIA QUIMICA DEL POLIETILENO A VARIOS REACTIVOS:

77.

ACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA		REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA		REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA	
		70°F	140°F			70°F	140°F			70°F	140°F
AC. NICOTINICO*		S	S	CROMO*		U	U	ALCOHOL PROPILICO*		S	S
AC. NITRICO	0-30%	S	S	COBRE*		S	S	DICLORO PROPILEN	100%	U	U
AC. NITRICO	30-50%	S	O	ORO*		S	S	PROPILEN GLICOL*			
AC. NITRICO	70%	S	O	INDIO*		S	S	BAÑO RAYON COAGULANTE		S	S
AC. NITRICO	95-98%	U	U	PLOMO*		S	S	AGUA DE MAR		S	S
NIDBENCENO	100%	U	U	NIQUEL*		S	S	ACIDO SELENICO		S	S
GRIL OCTILICO		O	U	RODIO*		S	S	ENGOCEDORES*		S	S
AC. Y GRASAS		O	U	PLATA*		S	S	ACIDO SILICICO		S	S
AC. OLEICO	CONCENTRADO	O	U	ESTAÑO*		S	S	SOL. NITRATO DE PLATA		S	S
OLIO	CONCENTRADO	U	U	ZINC*		S	S	SOLUCION DE JABON*	CUALQUIER CONC.	S	S
EXTRACTO DE NARANJA		S	S	BICARBONATO DE POTASIO	SATURADO	S	S	ACETATO DE SODIO	SATURADO	S	S
AC. OXALICO*	DILUIDO	S	S	BORATO DE POTASIO	1%	S	S	BENZOATO DE SODIO	35%	S	S
AC. OXALICO*	SATURADO	S	S	BROMATO DE POTASIO	10%	S	S	BICARBONATO DE SODIO	SATURADO	S	S
OXINO	100%	S		BROMURO DE POTASIO	SATURADO	S	S	BISULFATO DE SODIO	SATURADO	S	S
OZONO	100%	O	U	CARBONATO DE POTASIO		S	S	BISULFITO DE SODIO	SATURADO	S	S
AC. PERCLORICO	10%	S	S	CLORATO DE POTASIO	SATURADO	S	S	BORATO DE SODIO		S	S
ETIL DE PETROLEO		U	U	CLORURO DE POTASIO	SATURADO	S	S	BROMURO DE SODIO	SOL. DILUIDA	S	S
FENOL	90%	U	U	CROMATO DE POTASIO	40%	S	S	CARBONATO DE SODIO	CONCENTRADO	S	S
AC. FOSFORICO	HASTA 30%	S	S	CIANURO DE POTASIO	SATURADO	S	S	CLORATO DE SODIO	SATURADO	S	S
AC. FOSFORICO	30-90%	S	S	DICROMATO DE POTASIO	40%	S	S	CLORURO DE SODIO	SATURADO	S	S
AC. FOSFORICO	90%	S	U	FERRO/FERRI CIANURO DE POT.	SATURADO	S	S	CIANURO DE SODIO		S	S
PODRO AMARILLO	100%	S		FLUORURO DE POTASIO		S	S	DICROMATO DE SODIO	SATURADO	S	S
PEROXIDO DE FOSFORO	100%	S	S	HIDROXIDO DE POTASIO	20%	S	S	FERRICIANURO DE SODIO	SATURADO	S	S
TETRAFLORURO DE FOSFORO	100%	S		HIDROXIDO DE POTASIO	CONCENTRADO	S	S	FERROCIANURO DE SODIO	SATURADO	S	S
SOLUCIONES FOTOGRAFICAS		S	S	NITRATO DE POTASIO	SATURADO	S	S	FLUORURO DE SODIO	SATURADO	S	S
SURGIR EN BAÑOS DE:				PERBORATO DE POTASIO	SATURADO	S	S	HIDROXIDO DE SODIO	CONCENTRADO	S	S
ACIDO CLORHIDRICO*		S	S	PERCLORATO DE POTASIO	10%	S	S	HIPOCLORITO DE SODIO		S	S
ACIDO SULFURICO*		S	S	PERMANGANATO DE POTASIO	20%	S	S	NITRATO DE SODIO		S	S
AC. MERCAPTANICO*		S		PERSULFATO DE POTASIO	SATURADO	S	S	SULFATO DE SODIO		S	S
AC. PICRICO	1%	S		SULFATO DE POTASIO	CONCENTRADO	S	S	SULFURO DE SODIO	2%	S	S
SOLUCIONES PLATEADORAS				SULFITO DE POTASIO	CONCENTRADO	S	S	SULFURO DE SODIO	SOL. SATURADA	S	S
AC. BLENCE*		S	S	SULFURO DE POTASIO	CONCENTRADO	S	S	SULFITO DE SODIO	SATURADO	S	S
AC. CROMICO*		S	S	ALCOHOL PROPARGILICO*		S	S	CLORURO ESTANICO	SATURADO	S	S

70°F = 21°C

140°F = 60°C

CLAVE: S: SATISFACTORIO O: POCO ATAQUE U: INSATISFACTORIO

RESISTENCIA QUIMICA DEL POLIETILENO A VARIOS REACTIVOS:

REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA		REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA		REACTIVO	CONCENTRACION	TEMPERATURA	
		70°F	140°F			70°F	140°F			70°F	140°F
CLORURO ESTAÑOSO	SOL. SATURADA	S	S	ACIDO SULFUROSO		S	S	TREMENTINA		S	U
SOLUCION DE ALMIDON*	SATURADA	S	S	SEBO		S	O	UREA*	HASTA 30%	S	S
ACIDO ESTEARICO*	100%	S	S	ACIDO TANICO*	10%	S	S	ORINA		S	S
AZUFRE	COLOIDAL	S		EXTRACTOS TANICOS	COMUNES	S	S	VINAGRE	COMUN	S	S
DIOXIDO DE AZUFRE	SECO, 100%	S	S	ACIDO TARTARICO	10%	S	S	EXTRACTO DE VAINILLA*		S	S
DIOXIDO DE AZUFRE	MOJADO, 100%	S		ACIDO TARTARICO	CONCENTRADO	U	U	AGENTES MOJANTES*		S	S
TRIOXIDO DE AZUFRE		S	S	TETRAHIDROPURANO		U	U	WHISKEY*		S	
ACIDO SULFURICO	0-50%	S	S	TETRACLORURO DE TITANIO	SATURADO	U	U	VINOS		S	S
ACIDO SULFURICO	70%	S	O	TOLUENO		U	U	XILENO		U	U
ACIDO SULFURICO	80%	S	U	ACEITE TRANSFORMADOR		O	U	FERMENTOS		S	S
ACIDO SULFURICO	96%	O	U	TRICLOROETILENO		U	U	CLORURO DE ZINC	SATURADO	S	S
ACIDO SULFURICO	98% (CONC).	O	U	TRITANOLAMINA	100%	S	U	SULFATO DE ZINC	SATURADO	S	S
ACIDO SULFURICO FUMANTE		U	U	FOSFATO TRISODICO	SATURADO	S	S				
70°F = 21°C	140°F = 60°C	CLAVE: S: SATISFACTORIO O: POCO ATAQUE U: INSATISFACTORIO									

las sustancias químicas y solventes en ausencia de esfuerzos. Sin embargo, muchos polietilenos pueden romperse cuando son expuestos a la misma sustancia química en el medio ambiente, bajo esfuerzos en direcciones poliaxiales, esto es, mientras se estiran o doblan en varias direcciones a la vez. De tal manera, bajo condiciones favorables, varios aceites o aún agentes de limpieza del hogar pueden originar grietas --- en bolsas o tubería de polietileno o rajarse después de un corto periodo de tiempo.

Las botellas o bolsas diseñadas para contener detergentes, solventes o ácidos, son inútiles si tienen baja resistencia al esfuerzo de ruptura en el medio ambiente. Las fallas debidas a esfuerzo de ruptura en el medio ambiente pueden atribuirse a esfuerzos almacenados que adquieren durante las operaciones de moldeo y extrusión. Estos esfuerzos latentes pueden liberarse rompiendo el artículo bajo la influencia combinada del medio ambiente adverso y del estiramiento poliaxial que se presente durante su uso.

El polietileno de angosta distribución de peso molecular, característica de ciertos tipos de petroteno, tienen ligerante menor tendencia a romperse bajo esfuerzos del medio ambiente. Los polietilenos de índices de fusión más bajos a 1.5 tienen alta resistencia al esfuerzo de ruptura del medio ambiente y tipos de petroteno de índice de fusión menor de 1.0 tienen excelente resistencia a la ruptura. Tales resinas son particularmente aconsejables para aplicaciones



tricas tales como recubrimientos de cables y para aplicaciones de empaque -botellas o películas- donde puedan ocurrir contactos con esfuerzos de agresividad química.

Como se determina la resistencia a la ruptura del medio ambiente

En el método de láminas dobladas de prueba ASTM D 1693-59T el "ingepal" se usa como reactivo estándar. La prueba se hace con artículos moldeados de 1/8 de pulg. (.3 cm) de espesor, 1.1/2 pulg. (3.6 cm) de largo y 1/2 pulg. (1.2 cm) de ancho. Las muestras se calientan en agua hirviendo para liberar los esfuerzos congelados. Sobre la superficie se hace una cortada de longitud y profundidad específicas paralelamente al eje longitudinal con una navaja de rasurar. Las muestras se someten después a esfuerzo, se doblan 180° y se alinean fijamente colocándolas en un tubo de ensaye que contiene el reactivo. Para acelerar el efecto del agente ruptor el tubo se coloca en un baño que se conserva a 50°C (122°F). A cortos intervalos, las muestras se inspeccionan buscando rupturas visuales perpendiculares a las cortadas. En cada inspección se lleva control del número de fallas. Una muestra bajo prueba se considera como falla cuando la mitad de las muestras presentan fallas perpendiculares a las cortadas.

Impermeabilidad a líquidos, gases, grasas y aceites

El polietileno es altamente resistente a la penetración de la mayoría de las sustancias ya sean líquidas o gaseosas, químicamente neutras o agresivas. Esta es una pro

piedad de primera importancia especialmente para toda clase de aplicaciones de empaque. Debido a tan importante propiedad de alto nivel de impermeabilidad, muchos productos químicos pueden almacenarse y enviarse en recipientes de polietileno sin riesgo a gotear. Alimentos que se descomponen fácilmente, tales como carnes y vegetales pueden protegerse y venderse en bolsas de polietileno sin peligro de que se introduzca agua del exterior o que se pierda humedad irremplazable. El intercambio de gases a través de la película puede conservarse en un mínimo.

El polietileno es un material ideal para hacer tubería para conducir agua potable, y es también un aislante ideal para cables submarinos.

Debido a razones explicadas anteriormente el polietileno cristalino es menos permeable a líquidos y gases. Por lo tanto, una resina de alta densidad, y de índice de fusión más bajo, es más impenetrable a líquidos y gases.

La resistencia a la absorción de grasas y aceites que es muy importante en productos finales, es efectivamente la misma propiedad que la impermeabilidad a líquidos.

#### Apariencia de película

Sobre todos los defectos que puede presentar la película de polietileno, <sup>4</sup> son los más comunes.

Ellos son:

A) -Cabezas de flecha- líneas que se encuentran en un ángulo redondeado. Ellas apuntan en la dirección

ción de la extrusión.

B) -Geles de punta de alfiler- pequeñas imperfecciones redondas, que parecen como si la película fuera picada con un alfiler. Están generalmente dispersas uniformemente, y en la cantidad necesaria que originan una apariencia granulosa en la película. Estos defectos son casi exclusivos -- para resinas de densidad desde 0.931 a mayores, y para aquellas que contienen aditivos especiales.

C) -Geles u ojos de pescado- imperfecciones redondas o elípticas que son de apariencia clara. Varían grandemente en el tamaño, desde escasamente visibles hasta un tamaño de 1/6 de pulgada (.4 -- cm.) o mayores y están casi siempre desigualmente dispersas.

D) -Geles oxidados y manchas coloreadas- imperfecciones que son desde amarillo-café hasta negras -- en color. Aparecen como escamas o trozos de material, o se presentan como geles, donde sus centros están manchados.

El procedimiento para clasificar las resinas en -- grado de película consiste en extruir películas sopladas a condiciones standard, y comparar su apariencia visual con un juego de muestras preparadas estándares. Estos estándares cubren un amplio margen y cuantifican todos los tipos -- de imperfecciones y defectos presentes tal que se le pueda

dar una clasificación de calidad a la película. Tal clasificación de la apariencia de la resina extruida de una resina particular ayuda a indicar su cualidad y aceptabilidad para un uso específico.

Por cada prueba, dos piezas de 10 pulgadas (24 cm.) de ancho, permanecen planas (doble espesor), de película so-  
plada de 16 pulgadas (38.4 cm.) de largo y  $1.5 \pm 0.2$  milési-  
mas de pulgada de espesor. Estas muestras tienen --  
área total de 640 pulgadas<sup>2</sup> (3686.4 cm<sup>2</sup>.) esta es la mínima --  
área de película evaluada, debido a que algunos defectos en --  
la película ocurren erráticamente, y una área muy pequeña ---  
puede no contener defectos que estén presentes en el material.

Las muestras de película a ser evaluadas se exami --  
nan y el tipo o tipos de defectos presentes se determinan ---  
sosteniendo la película hacia una lámpara fluorescente y mo --  
viéndola lentamente hacia la zona iluminada. Por cada mues--  
tra evaluada se determina su standard más cercano. Si se --  
presenta más de un defecto, cada defecto se compara con su --  
standard respectivo.

#### Claridad de película y libertad de bao y bruma

La mayoría de los productores de película desean --  
un producto de alta claridad y un mínimo de bao o bruma o es-  
carcha. La claridad es imperativa en el campo de los empa --  
qués donde la transparencia del empaque realza el atractivo --

de la venta del artículo empacado.

Una ligera bruma es una característica de todas -- las resinas del polietileno. La rugosidad de la superficie difunde la luz que pasa a través de la película y así, contribuye a la bruma. La rugosidad de la superficie es una -- consecuencia de las condiciones de extrusión y de la estructura fundamental del polímero. La parte de la estructura -- cristalina y la parte amorfa de la resina, contribuye también a la bruma. Las áreas cristalinas tienen también mayor índice de refracción de la luz que el material amorfo de los alrededores, y esto contribuye en parte a la apariencia lechosa.

La bruma o bao de las películas se determina con -- la ayuda de un probador de bruma esférico de un eje, de ---- acuerdo con el método de prueba ASTM D 1003-61. Este método determina las propiedades de la transmisión de la luz, y de éstas, las propiedades de disipación de la luz en un ángulo amplio de la película. El porcentaje de luz que se difunde por la muestra, medida mediante una fotocelda adentro del fotómetro esférico, se anota.

En base a esta prueba, la bruma de película se clasifica como sigue en la tabla 6.

	% de bruma
Excelente	0 a 5
Muy buena	mayor de 5 a 10

Buena	mayor de 10 a 20
Pobre	mayor de 20

TABLA 6. Rangos de la bruma en películas de petroteno.

La claridad de la película y la bruma pueden variar considerablemente con las condiciones de extrusión.

### Brillo

Un gran brillo referido como resplandor, o también-relampagueo o lustre, es un criterio importante para el buen aspecto de la película o del artículo moldeado.

Generalmente los artículos de polietileno con alto brillo en la superficie, se venden mejor que aquellos productos de apariencia tosca. Por otro lado los artículos más -- brillantes muestran las huellas digitales más claramente que los productos no tan brillosos. Por lo tanto, la decisión de que si se desea mucho o poco brillo depende del moldeador individual.

Un buen terminado del molde, generalmente creará una buena superficie brillante en las partes moldeadas de polietileno. Para cada resina moldeable existe una temperatura óptima para obtener brillo en la superficie. Generalmente, un molde tibio, creará una mejor superficie que uno frío pues tiende a mantener la temperatura mientras el polímero caliente se fuerza hacia el interior del molde.

Si las condiciones del proceso son perfectas, el -

procesador obtendrá aún más brillo al usar resinas de alto-índice de fusión y especialmente usando resinas de alta densidad.

Para medir el brillo especular a  $60^\circ$  se usa el método de prueba ASTM D 523-53T, o sea medir la reflexión luminosa en el plano superficial de la película de polietileno o el artículo moldeado a un ángulo de la perpendicular. Se usa un medidor de brillo estándar con una fuente de luz y un instrumento fotosensitivo o receptor, para recibir y medir la intensidad de la pirámide de rayos reflejada por la muestra.

#### Velocidad de sacado u obtención de la película

La velocidad de sacado u obtención de la película, a menudo se llama índice de extensibilidad, se define como la velocidad de despegue máxima de una película que se extruye a través de una abertura dada a temperatura y régimen constante.

Es una medida de la resistencia de la película -- viscosa a rasgarse, una medida práctica de la viscosidad -- caliente de fusión de la resina. A mayor índice de fusión es mayor la velocidad de obtención de la película, cuando todo lo demás es igual. Al aumentar la distribución de peso molecular también aumenta la velocidad de flujo del polietileno.

Para suavizar la extrusión, se desea alta veloci-

dad de obtención de producto. Las resinas de polietileno - para películas planas extruídas deben tener una fuerza de - fusión que permita sacarlas de la abertura a velocidades -- hasta de 300 pies/minuto (90m/min). Las resinas usadas para recubrimientos por extrusión deben tener una fuerza de - fusión tal que permita más altas velocidades. Cuando se ob- tienen películas sopladas, las velocidades son disminuídas, y también la temperatura de la resina, y así también la fuer- za de obtención se reduce. Así, la fuerza de obtención inna- ta es tan importante en trabajos de soplado como en trabajos de películas planas. Finalmente en trabajos de recubrimien- tos de papel la fuerza de obtención debe ser excepcionalmen- te buena porque se requieren altas velocidades de despegue.

La velocidad de obtención se determina al extruir una película a temperatura constante y determinar en pies/- min, (m/min), la máxima velocidad de despegue sin que se rom- pa la película.

#### Resistencia al bloqueo y buen deslizamiento

El bloqueo es un problema que se encuentra algunas veces en las películas de polietileno: pueden pegarse a sí mismas cuando se enrollan, hacen bolsas, o amontonan bajo -- presión moderada durante su uso o almacenamiento.

La dificultad del deslizamiento de una capa de pe- lícula sobre otra es el resultado de un deslizamiento pobre,

o un alto coeficiente de fricción de la película de polietileno. Pueden también causarse por la atracción de dos superficies brillantes muy suaves una a otra. Debido a la -- siempre creciente importancia de las películas como materiales de empaque, son esenciales buenas propiedades de deslizamiento en las películas de polietileno ( así como también para otros productos moldeados).

#### El latoso problema del bloqueo

El bloqueo es un problema muy latoso que se encuentra en muchas resinas de polietileno. Aparentemente existen muchos factores involucrados en el bloqueo, algunos de los cuales no se entienden bien . La experiencia acumulada nos indica que el bloqueo es función de algunas propiedades innatas de las resinas, además de las condiciones de proceso. Existe una relación entre las propiedades de deslizamiento y de antibloqueo, aunque un buen deslizamiento no necesariamente se relaciona con la resistencia de la película al bloquearse. Los aditivos empleados para mejorar el pobre deslizamiento y el bloqueo se tratan posteriormente.

#### Que causa el bloqueo

El uso de una alta tensión en el enrollamiento de películas extruidas aumenta gradualmente las tendencias al bloqueo. Esto puede agravarse posteriormente por --

un enfriamiento insuficiente de la película de tal manera que al enrollarse está tibio, particularmente a altas velocidades. De tal modo, el bloqueo puede reducirse substancialmente si se enrolla a baja tensión, mediante velocidades de enrollamiento menores, o si se aumenta la distancia entre la abertura y los rollos y se usa una presión mínima en los rollos en la extrusión de película soplada y extruyendo la película plana en un baño de agua comparativamente más frío en extrusión de películas planas. También puede causar bloqueo en la película la electricidad estática.

El bloqueo de la superficie es un mayor problema -- en extrusiones de películas sopladas que en extrusiones de películas planas. La burbuja al inflarse viaja a gran velocidad y al enfriarse solamente con aire, se apachurra y se enrolla sólo unos segundos después de salir de la zona caliente de aberturas. El bloqueo puede ocurrir por dentro del tubo o por fuera y en casos extremos, en ambas partes.

Las películas más gruesas son más fáciles de separar que las más delgadas debido a una transmisión de los esfuerzos cortantes aplicados, por ejemplo, durante la abertura de una bolsa. Generalmente, los polietilenos de bajo índice de fusión requieren ligeramente menor cantidad de aditivos -- que las resinas de mayor índice de fusión. La influencia de una mayor densidad es aún más benéfica.

Un exceso de tratamiento en la superficie de la pe-

lícula para la buena adhesión de tintas frecuentemente causa bloqueos. Tales tratamientos alteran químicamente la superficie (lo que es esencial para la adhesión de la tinta) y ca - lienta la película. Más aún, el tratamiento parece que saca a los agentes de antibloqueo y de deslizamiento de la super - ficie tratadas y aumenta el bloqueo. Para reducir estas in - fluencias adversas , se debe evitar el sobretratamiento.

Cuando decidimos sobre el grado permisible de blo - queo, debemos también considerar las condiciones bajo las -- cuales se va a almacenar la película, y la manera en que se - usan para empacar cajas de dulces se embarcan en la forma de hojas desprendibles al corte y se empacan en recipientes de 5 pulgadas (12 cm.) aproximadamente, que están en cuartos ce - rrados a temperaturas moderadas. En la operación de empaque, las hojas se toman una a una del empaque y por lo tanto de - ben resbalar libremente.

#### Pruebas para medir las propiedades de deslizamiento de pe - lícula

Para medir las propiedades de deslizamiento en las - películas se usa la prueba de deslizamiento en un plano hori - zontal. En esta prueba una pieza de metal y esponja, envuel - ta con película se mueve en el plano horizontal. La pieza - se pone en movimiento mediante una fuerza de tensión usada -- para pruebas de tensión descritas anteriormente. Esta fuer - za se divide entre el peso de la pieza, ambas medidas -----

en gramos representan el coeficiente de fricción.

En la prueba de fuerza cortante paralela, la fuerza que se requiere para deslizar una película sobre otra en dirección paralela se mide en gramos, mediante el aparato de deslizamiento en plano inclinado, que también se usa para medir el coeficiente de fricción, descrito anteriormente.

#### Pruebas para medir el bloqueo de película

Los métodos de prueba para medir el bloqueo de película deben tratar de imitar o duplicar varias situaciones latosas descritas. Estas pruebas miden la resistencia al -- bloqueo al evaluar de diferentes maneras, la facilidad con que dos capas de películas pueden separarse o deshojarse.

En una prueba manual práctica, un rollo de película se extruye y se estima la tendencia de bloqueo separando a mano las capas de película. En esta prueba, el bloqueo no se mide en gramos pero se gradua cualitativamente como sigue:

1.- No hay bloqueo- no hay adhesión entre las hojas, deslizan libremente.

2.- Muy ligero bloqueo- las hojas no deslizan libremente pero pueden hacerse deslizar mediante la aplicación de una fuerza ligera.

3.- Ligero bloqueo- las hojas deben despegarse -- pero las superficies permanecen intactas.

4.- Bloqueo- las hojas deben despegarse y las superficies algunas veces se dañan.

### Propiedades eléctricas

Las propiedades eléctricas sobresalientes que hace 20 años llevaron rápidamente al polietileno a la fama, hacen esta resina muy apropiada para:

- A)- Cubiertas y aislante para cables y alambres, para energía eléctrica, para alta transmisión y bajos voltajes domésticos.
- B)- Para aplicaciones electrónicas de alta frecuencia, muy alta frecuencia y ultra elevada frecuencia.

Como dieléctrico o como material aislante, el polietileno es un excelente material. Para todos los propósitos prácticos este polímero no transmite la corriente eléctrica. Muy poca energía se absorbe en el aislamiento con polietileno para alambres que llevan impulsos de radio de muy alta frecuencia, por ello este polímero se convirtió en el aislante universal para cable de televisión de plomo.

Debido a la resistencia del polietileno a la humedad, sus cualidades aislantes no se afectan por la humedad en la exposición directa al agua. Una larga exposición a la luz, rayos ultravioleta y altas temperaturas, pueden, sin embargo, causar oxidación en el polietileno, que dañará las propiedades aislantes, para aplicaciones eléctricas y otras más, por lo tanto, hay resinas accesibles de petroteno a prueba de intemperie, que contienen varios aditivos que favorecen la protección, contra el calor, luz y rayos ultravioleta

ta.

El polietileno es relativamente resistente al ozono, una forma del oxígeno del aire, una propiedad que le da gran ventaja sobre su más inmediato precursor en el campo de los aislantes, el hule.

Dos propiedades eléctricas del polietileno como -- aislantes son predominantemente importantes, --alta fuerza -- eléctrica y baja pérdida dieléctrica-. La fuerza eléctrica, previamente llamada fuerza dieléctrica, es el voltaje al cual el aislante se rompe eléctricamente. El factor de disipación reporta una medida de la potencia perdida en el conductor aislado. El factor de disipación para aspectos eléctricos de las resinas de petroteno es bajo y varía a veces con la frecuencia y la temperatura.

Las pruebas deben hacerse sobre el factor de disipación y la constante dieléctrica, generalmente a frecuencias de un megaciclo y cien kilociclo por segundo con aparatos -- eléctricos según métodos de prueba ASTM D 1531-58T.

Uniformidad, confeccionado, combinado y procesabilidad

Uniformidad de resina

3 grados de uniformidad de resina

Un tipo específico de resina de petroteno es uniforme en varios aspectos. Existen 3 grados de uniformidad de resina:

1.- Uniformidad partícula a partícula, que se obliga para pocas tolerancia de pequeños objetos moldeados-

y extrusiones críticas, la cual se verifica continuamente.

2.- Uniformidad bolsa a bolsa, que es esencial para producciones en masa de todos los tipos de artículos de polietileno.

3.- Uniformidad embarque a embarque que hace ajustes a las máquinas procesadoras cada nuevo embarque de resina defectuosa y garantiza las mismas propiedades finales en los productos en un período largo de tiempo.

Como señalamos cuando se discutieron las técnicas de la fabricación de polietileno, un rígido control de todas las condiciones de producción asegura una uniformidad muy grande en cada tipo de petroteno. Esto permanece para los tres grados de uniformidad de resina.

La uniformidad de resina es esencial en:

... la extrusión de película soplada

Para los fabricantes de película soplada, la uniformidad de película es extremadamente importante. Fragmentos blandos o rígidos en la resina pueden originar una película de calibre diferente o romper la burbuja.

... la extrusión de película plana

En la extrusión de película plana, especialmente en la película fundida, las velocidades de despegue siempre crecientes, significan que no pueden tolerarse resinas no uniformes. La uniformidad de flujo debe de ser excelente para evitar que la película se suelte. La presencia de fragmentos de alto índice de fusión crean pérdida del control

del espesor de la película aunque se tengan condiciones de proceso constantes. Todas las resinas de petroteno tienen un angosto rango de índice de fusión a menos que se requiera un rango más alto y amplio.

... en recubrimiento por extrusión

En trabajo de recubrimiento a altas velocidades la no uniformidad de las resinas pueden causar huecos en los recubrimientos. Los fragmentos de alto o bajo peso molecular en el polietileno pueden crear ondulaciones.

... en recubrimientos de cables y alambres

En el recubrimiento de cables y alambres, la uniformidad de la resina permite realizar la operación a mayores velocidades con variaciones mínimas en el diámetro externo.

... en el moldeo por soplado

La importancia de la uniformidad de la resina para moldeo por soplado; una técnica de proceso que frecuentemente reporta hasta 10,000 artículos huecos de poco espesor, es obvia.

... en moldeo por inyección

Para el moldeador por inyección la uniformidad de la resina es particularmente importante. Las desviaciones comparativamente pequeñas en el índice de fusión y la densidad pueden requerir un cambio considerable en la temperatura de moldeo o crear en el producto terminado propiedades indeseables.

### Los aditivos mejoran las resinas de petroteno

Por encima de los aditivos que se usan para dar ciertas propiedades básicas a las resinas de petroteno, los más importantes son:

estabilizadores, comprenden antioxidantes y negro de humo;

agentes deslizantes o antibloqueadores;

agentes antiestáticos; y

pigmentos.

Algunas veces, la resina se mezcla con un modificador tales como el poli-isobutileno o hule butílico, para hacerlos más flexibles a bajas temperaturas y aumentar su resistencia a la ruptura en el medio ambiente. Un agente antimolde especial puede también añadirse.

Todos los aditivos usados en las resinas de petroteno se seleccionan de aquellos que no acusan un poco de olor o sabor al producto.

#### Aditivos estabilizadores

Los estabilizadores son ingredientes que a menudo se adicionan al mezclar la resina para preservar las propiedades físicas y químicas en sus valores originales, o cercanos a ellos, durante el almacenaje y todas las etapas del proceso de la resina y durante la vida de servicio del artículo acabado.

El oxígeno, el calor y los rayos ultravioleta amenazan las propiedades del polietileno

El polietileno, como otros materiales plásticos se somete a la degradación del oxígeno y a la radiación. Durante su proceso, la resina se expone a una cantidad de oxígeno a una alta temperatura, que puede degradarla. El artículo acabado puede sufrir el ataque del calor y rayos ultravioleta del sol u otras fuentes luminosas.

Con el tiempo tales implementos comienzan a degradar el artículo químicamente y originan que declinen sus propiedades físicas y eléctricas. Los estabilizadores protegen de estas lentas influencias deteriorables a las cuales los recubrimientos de alambre, cubiertas de cable, películas para cubrir y otros artículos pueden someterse por un largo período de tiempo en uso normal.

#### La oxidación puede degradar el polietileno

Prácticamente todos los artículos de polietileno se exponen al aire o al agua, ambos contienen oxígeno que puede oxidar al polietileno. La velocidad de oxidación y los cambios en las propiedades físicas y eléctricas que lo acompañan dependen grandemente de la temperatura. A temperatura ambiente, especialmente en la obscuridad, una resina de polietileno no sufre degradación crítica en años. Pero artículos eventualmente expuestos como los cables de plomo cubiertos de polietileno para antenas de televisión pierden su fuerza y flexibilidad.

Los rastros de algunas sustancias en las mezclas de resinas, por ejemplo: metales como cobalto, cobre y manga

neso, usados en pigmentación u otros propositos, pueden estimular la oxidación. La velocidad de difusión del oxígeno es desde la parte externa, con ella la velocidad de oxidación depende del espesor de la sección de polietileno.

#### Investigaciones sobre la oxidación y los antioxidantes

La introducción del oxígeno hacia el interior de la resina por su inevitable exposición a el aire puede ocasionar debiles propiedades en el proceso de extrusión y la abundancia de ojos de pescado en la película. Más aún la oxidación se acompaña generalmente de un aumento en la viscosidad de fusión y fragilidad a baja temperatura, pérdida de flexibilidad, una elevación en el factor de potencia ( eléctrico ) y eventualmente decoloraciones y descomposición química.

El trabajo de investigación realizado determina que aún el menor grado de oxidación puede ocasionar deterioraciones en las propiedades físicas y eléctricas. Este trabajo -- prueba la importancia de estabilizar la resina original con -- pequeños aumentos de un antioxidante especial.

#### Requisitos para un antioxidante excelente

Los requisitos básicos de los buenos antioxidantes para polietileno son similares, aunque más enérgicos, que los de hule, su precursor en aislantes eléctricos. El aumento en las aplicaciones y en las resinas de petroteno disponibles y los siempre más exactos acabados ocasionan una extensa búsqueda para mejores antioxidantes.

Se encontraron los que se consideran unos antioxi--

dantes excelentes de acuerdo a los requisitos siguientes:

1.- Los antioxidantes deben de ser capaces de inhibir la oxidación bajo todas las condiciones de almacenamiento y servicio del artículo terminado.

2.- Deben ser permanentes, esto es, no volátiles o que no se extraigan por el agua.

3.- Deben de ser no-brotables, esto es, no deben -- emigrar lentamente hacia la superficie, y deben de ser no-sangrables esto es, no deben exudar.

4.- No deben manchar ni durante el proceso ni cuando el producto final se exponga a la luz.

5.- No deben afectar adversamente ninguna de las -- propiedades del polietileno requerido para una cierta aplicación.

6.- Deben de ser no-tóxicos en la concentración usa da.

7.- Deben de ser inodoros en la concentración usada.

Los requisitos 6 y 7 no son esenciales para aplicaciones en cables.

#### El negro de humo protege contra los rayos ultravioleta

La radiación ultravioleta acelera la oxidación del polietileno. Para prevenir este riesgo de oxidación de la -- luz el cual es el componente más importante del uso a la in-- temperie, el negro de humo demostró ser lo más efectivo. Las partículas negras submicroscópicamente pequeñas, actuan como una pantalla contra toda clase de rayos dañinos que golpean--

una parte y penetran, se debe procurar que las partículas --- estén bien dispersas en la resina para que podamos hacer uso-completo de su muy pequeño tamaño y efecto de pantalla.

Los productos de polietileno a prueba de sol, se -- preparan mezclando, a temperaturas controladas, uno de los ne-gros de humo industriales de tamaño muy pequeño de partícula, con la resina. Si la dispersión de negro de humo es buena, - la parte interior del plástico esta tan bien protegida como - las áreas externas, y la vida de servicio de esa parte será - prolongada.

Los científicos determinaron que mezclando la resi-na con 2 ó 3% de negro de humo de tipo acanalado de muy peque-ño tamaño de partícula, de 10 a 20 milimicras (<sup>4</sup> a 8 milloné-simas de pulgada) protegemos de la foto-oxidación por aproxi-madamente 30 años. El carbón de tipo de horno de 3 a 4 veces este tamaño de partícula dará solamente un séptimo de esa pro-tección. Debido a que la habilidad para soportar la intempe--rie de un artículo de polietileno depende de la intensidad de la radiación ultravioleta a la cual se expone, ella varía con la localización geográfica. El efecto de la intemperie natu-ral se estima con un aparato llamado " Weather-O- meter ". - Esta es una máquina en la cual 300 horas de exposición es --- equivalente aproximadamente a un año de exposición al clima - en la zona norte de E.U.A.

Debido a que el negro de humo es también un pigmen-to se usa también, aparte de sus cualidades estabilizadoras,-

para colorear de negro la resina. Como pigmento tiene más poder escondido que cualquier otro colorante. Esta es otra razón, además de su prueba contra la radiación, porque las resinas de petroteno reforzadas con negro de humo se usan como lonas para propósitos de jardín y de agricultura. Las delgadas películas negras tapan la luz, y las raíces mueren abajo de ellas después de la germinación.

Las resinas de petroteno para usos eléctricos, de tubería, lonas, etc. se componen de mezclas de negro de humo desde 0.5% hasta concentraciones de 25%.

Existen otros absorbedores de luz ultravioleta además del negro de humo. Ellos prolongan grandemente la vida a la intemperie del polietileno como artículo moldeado o como película, pero no tanto como el negro de humo bien disperso. Tienen sin embargo una ventaja: que pueden usarse para proteger la confección del color en películas transparentes sin cambiar la sombra del color.

Generalmente, un antioxidante se añade con el negro de humo, aunque en concentraciones mucho más bajas, para proteger al polietileno de la oxidación térmica.

#### Deslizamiento y agentes antibloqueo

Los aditivos para el deslizamiento y el antibloqueo sirven para una más fácil extrusión y mejorar la película

Los complejos problemas del bloqueo de película de deslizamiento ya se trataron. Las características del bloqueo y poco deslizamiento de películas de polietileno son ---

siempre latosas para los procesadores y consumidores de bolsas. Ellas pueden dificultar el manejo en líneas de empaque-manuales o automáticas. Las películas sopladadas, especialmente, tienden al bloqueo lo que algunas veces las hacen inútiles para la fabricación de empaques.

Un empacador no puede tolerar pérdidas en tiempo -- por bolsas con pocas propiedades para abrirse. Los agentes de deslizamiento lo mejoran y en algún grado previenen el bloqueo.

Una adición de gran cantidad de agente de deslizamiento, sin embargo, puede también causar dificultades, tales como montones de bolsas deslizándose y cayendo de las repisas del almacén. Puede tener también influencia adversa en la -- formación del calor por fricción necesario durante el proceso de homogeneización en el extrusor. Esto puede cortar la salida o puede aumentar los requisitos de calentamiento para el rodillo extrusor. Mucho deslizamiento puede crear también problemas cuando se sellan los paquetes y cuando se imprime -- sobre ellos.

Los aditivos para deslizamiento y antibloqueo si se usan diestramente por el fabricante de resina, pueden solucionar los problemas de deslizamiento y bloqueo. Su objetivo es confeccionar la resina con el necesario, y no más, aditivo -- para que el fabricante de películas y bolsas no tenga problema de deslizamiento y las bolsas se abran fácilmente cuando -- eventualmente se manejen por el empacador.

Las resinas, rígidas, duras y altamente cristalinas, tales como del tipo de resinas de petroteno de alta densidad- (superior a la densidad de 0.923) a menudo requiere menos agentes de deslizamiento que los de baja densidad para obtener los mismos resultados.

#### Propiedades de un buen aditivo para deslizamiento y anti - bloqueo

Los buenos agentes de deslizamiento y antibloqueo - no deben interferir con otras propiedades deseadas en la pelí- cula tales como transparencia, buen secado (velocidad de des- pegue) y resistencia a las rasgaduras. No deben afectar tam- poco la capacidad de sellado térmico o de impresión de la pe- lícula, no deben tener un olor ofensivo ni deben de ser tóxi- cos.

Un buen aditivo de deslizamiento y antibloqueo debe mostrarse tan pronto como sea posible en la película extruida, esto es, debe aflorar o exudar hacia la superficie, en un tiem- po corto después de procesado y formar una capa extremadamen- te pequeña que ayuda al deslizamiento y evite el bloqueo. Am- bas concentraciones de aditivo y técnicas de proceso afectan- la velocidad de afloración. El procesador puede elegir la -- cantidad de aditivo más apropiada a su técnica de proceso, -- esta cantidad puede depender de lo largo del tiempo de almace- namiento.

Se pueden adquirir muchas resinas de petroteno con- una variedad de niveles de aditivos de deslizamiento y anti--

bloqueo.

En la debida concentración, para una resina de una cierta dureza, estos aditivos florecen rapida y regularmente. Producen buenas características de deslizamiento y antibloqueo y cuando se usan con un antioxidante, ayudan a aumentar algunas propiedades esenciales de la resina sin cambiar las otras propiedades físicas o la resistencia química de la resina en la cual se incorpora.

#### Agentes antiestáticos

Algunas aplicaciones requieren el uso de agentes antiestáticos en la resina, generalmente para evitar que recojan polvo los artículos moldeados o extruidos.

#### El confeccionado del color...

#### ...para las aplicaciones eléctricas y otras

El polietileno natural es un producto incoloro desde lechoso hasta casi clara transparencia. además de las resinas vírgenes sin color una serie de resinas confeccionadas con pigmentos son accesibles, las cuales dan productos finales en color distintivo o decorativo.

Aparte de la resina negra, hecha por la adición de negro de humo, existen muchos tipos de polietileno pigmentados disponibles; como azul, amarillo, oro, naranja, café, rojo, verde, púrpura y blanco. Para cada uno de estos colores, se confeccionan resinas con una variedad de pigmentos algunos en forma concentrada. De tal manera que el efecto del color en el producto final puede ir desde translucido hasta opaco.

Todos los pigmentos que se usan para fabricar pe --  
troteno son de tamaño de partícula muy fino y estan bien mez-  
clados con la resina básica que se obtiene máxima dispersión.  
Esto es esencial para igualar coloraciones y para la buena --  
apariciencia del producto. Los pigmentos no deberán "sangrar"-  
o "aflorar" o reaccionar con el polietileno y no se decolora-  
rán a temperaturas del proceso.

Algunos pigmentos además mejoran la resistencia de-  
la resina básica ante la intemperie y la luz del sol.

#### Cuando si y cuando no hacer el combinado

Los procesadores pueden ocasionalmente hacer un com  
binado, ya sea por razones económicas o para obtener un cier-  
to tipo de propiedades. Esta puede ser una práctica peligrosa.

Es difícil obtener una combinación homogénea. Ade-  
más al combinar dos polietilenos con diferentes grupos de pro  
piedades no siempre obtendremos una resina con propiedades in  
termedias si no que puede originar una inferior en muchos as-  
pectos especialmente si las resinas son de diferentes fabri--  
cantes. No hacer una distinción en el combinado puede causar  
al procesador problemas de operación y rechazos.

#### Cuando el despojo puede usarse y cuando no debe usarse

Las resinas de petroteno nunca deben de combinarse-  
con material de despojo de origen desconocido o con despojo -  
de otro polietileno sin uso, excepto para aplicaciones no crí  
ticas como juguetes.

Los despojos de ajuste de material extruído o de --

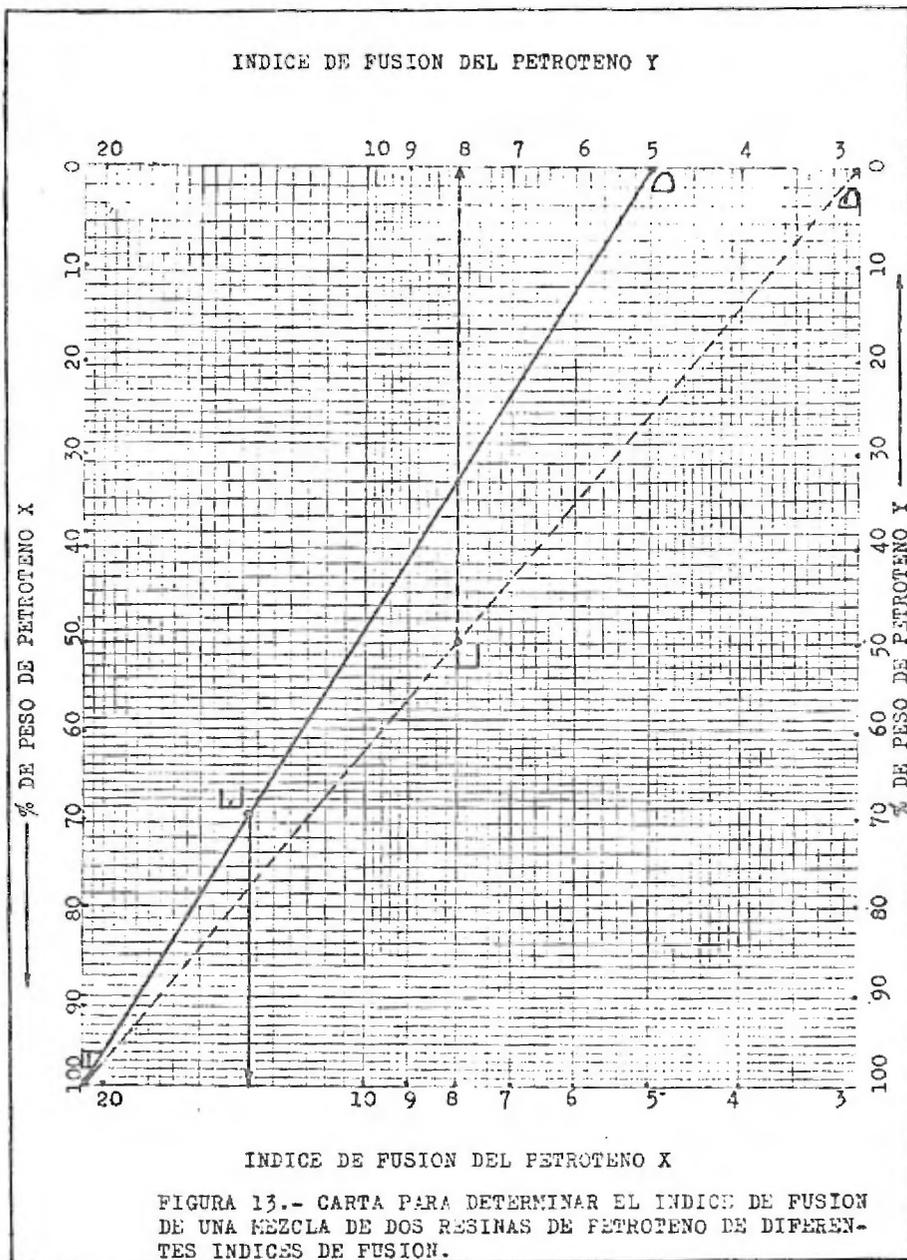
las podas de formas moldeadas pueden juntarse o volverse a --  
usar, procurando que ambos, los despojos y el material, a gra  
nel sean del mismo fabricante y del mismo índice de fusión.

Pero aun entonces, para mantener un alto grado de -  
homogeneidad de la resina, solo debe añadirse un pequeño por-  
centaje del material reusado. El reuso de los despojos, si -  
el procesador insiste en el, es más seguro para moldeo que --  
para extrusión de películas debido a que las paredes de los -  
artículos moldeados son generalmente más gruesas que la pelí-  
cula, y el material de despojo es difícil que se degrade por-  
abrasamiento.

Para el moldeador por inyección, la respuesta a la-  
pregunta de cuando debe reutilizar el material de despojo de-  
pende en cierto grado de la manera en que se diseñe el molde.  
Para reducir el rechazo, un molde complicado requiere un rango  
mínimo de índice de fusión. Este requisito impide la adición  
de mucho despojo aunque sea de alto grado. Un molde bien di-  
señado o uno con una parte simple comparativamente puede ali-  
mentarse con una mezcla que contenga un cierto alto porcenta-  
je de despojo, procurando que sea de la misma resina.

#### Como determinar la densidad de un combinado

El procesador puede combinar dos resinas de petrote  
no de diferente densidad e índice de fusión, aunque con pre--  
caución. El índice de fusión y densidad de tal combinado son  
predecibles y así lo son las propiedades que son funciones de  
cualquiera de estas.



La densidad de una combinación de dos resinas de petroteno con diferentes densidades es igual a la media aritmética de las dos densidades. El procedimiento para determinar la es simple:

Multiplicamos el peso y la densidad de cada resina de petroteno, dividimos la suma de ambos productos por el peso total del combinado.

Por ejemplo, la densidad de un combinado de 127 Kg. de resina de petroteno de densidad 0.924 y 52 Kg. de resina de petroteno de densidad de 0.916 es:

$$\frac{127 \times 0.924 + 52 \times 0.916}{127 + 52} = \frac{164.98}{179} = 0.922$$

Una gráfica útil para determinar el índice de fusión de una mezcla de 2 resinas de petroteno

El índice de fusión de una combinación a partes iguales de 2 resinas, no será, sin embargo, la media aritmética de los dos índices. Por ejemplo una mezcla de partes iguales de resinas de petroteno X y Y con índice de fusión de 22 y 3 no dará una resina de índice de fusión  $\frac{22+3}{2}$  12.5 pero si uno de índice aproximado de 8.2.

El resultado anterior se obtendrá al usar la gráfica de la figura 13 en la cual tenemos el logaritmo del índice de fusión contra el peso por ciento de resina de petroteno y se procede como sigue:

Localizamos el índice de fusión 22 de la resina X en la escala del lado izquierdo (punto A).

Localizamos el índice de fusión 3 de la resina Y en la escala del lado derecho (punto B).

Unimos los puntos A y B mediante una línea recta -- (línea punteada) localizamos el punto donde la línea punteada cruza la línea vertical que indica una mezcla de peso 50:50 - de resinas de petroteno X y Y (punto C).

Encontramos el índice de fusión de la mezcla por medio de una línea horizontal desde el punto C (la flecha apunta a 8.2).

La figura 13 es una carta útil para determinar también los índices de fusión de combinaciones de cualquier rango de pesos distintos a 50:50 de dos resinas de diferentes índices de fusión. Por ejemplo, si 100 Kg. de una resina de índice de fusión 22 y 50 Kg. de otra resina de índice de fusión 5 van a mezclarse, se procede como sigue:

Calculamos el rango de pesos en por ciento - en este caso 100:50 corresponde 67% : 33%.

Localizamos el índice de fusión de una resina de petroteno de 22 en la escala izquierda (punto A).

Localizamos el índice de fusión de otra resina de petroteno de 5, en la escala derecha (punto D) conectamos puntos A y D con una línea recta (línea continua).

Localizamos el punto donde esta línea continua cruza la línea vertical que indica 67:33 (mezcla de pesos), de las dos resinas de petroteno (punto E).

Encontramos el índice de fusión de la mezcla mediante una línea horizontal desde el punto E (la flecha señala --

13.5).

Por lo tanto una mezcla de 100 Kg. de resinas de petroteno de índice de fusión de 22 y 50 Kg. de otra resina de índice de fusión 5, dará 150 Kg. de una combinación de resina de petroteno de índice de fusión 13.5.

Esta técnica puede usarse para calcular el índice de fusión de cualesquiera dos resinas de petroteno de el mismo fabricante. Si el procesador hace este tipo de combinaciones frecuentemente, puede localizar las escalas requeridas en cualquier papel semilog-aritmico.

Similarmente, la carta puede usarse para determinar en que relación de pesos de dos resinas de petroteno de diferente índice de fusión deben combinarse para obtener una mezcla con el índice de fusión deseado entre los índices de las dos resinas originales.

#### Combinado perfecto e imperfecto

Obteniendo el índice de fusión que determinamos en la gráfica de la figura 13, presuponemos que la combinación que llevamos a cabo es perfecta. Una combinación adecuada se obtendrá si un total de 150 Kg. se mezcla en un tambor rotatorio por lo menos 20 minutos.

#### Precauciones recomendables

Las resinas de petroteno de diferentes índices de fusión no deben nunca combinarse para extrusión crítica o moldeo por soplado, por que tal mezclado puede crear geles (partículas de material de alto peso molecular). Se recomienda -

el uso de la resinas combinadas para moldeo por inyección.

Las inyecciones deberán ser relativamente grandes - generalmente no menos de 225 gr. en moldes de cavidad simple y 340 gr. en moldes de múltiples cavidades.

### Procesabilidad

El término de procesabilidad se usa comunmente en la industria del polietileno. Sin embargo, no tiene el mismo significado para todos los procesadores.

La procesabilidad describe generalmente, la facilidad o dificultad con la cual una resina puede manejarse durante su fabricación en película, artículo moldeado, tubos, etc.

Una resina con buena procesabilidad es una que posee las propiedades necesarias que la hacen facil para procesar - las partículas en los productos deseados.

Las más importantes características o propiedades - que determinan la procesabilidad de una resina son: estructura molecular, uniformidad, contenido de aditivos y velocidad de alimentación de resina.

Sin embargo, la procesabilidad se piensa generalmente en términos de propiedades menos tangibles las cuales son - actualmente un resultado de las propiedades básicas que enumeramos arriba. Estas características incluyen: sacado, (extensibilidad o fusión caliente), presión y sensibilidad a la temperatura, humos y olores, estabilidad del producto durante el arrastre y velocidad de flujo (la cual es una condición de operación). Estas son otras características las cuales, son -

fallas particulares, que algunos procesadores querrán añadir a la lista de las que culpan de mala procesabilidad. Sin embargo, en muchos casos, no es la resina la que debe de culparse por mejoramiento inadecuado si no por condiciones de operación desfavorables.

F) TIPO DE POLIETILENO SEGUN FABRICANTE Y SELECCION DE RESINA  
Polvos de polietileno para moldeo rotacional

Hoy en día existen sobre 150 tipos de máquinas de roto moldeo en los EUA. El uso del polvo de polietileno en moldeo rotacional crece rápidamente.

Aproximadamente 5 millones de Kg. de polietileno se consumieron por este tipo de mercado en los EUA en 1964 (un incremento del 20% de 1963). En 1965 se usaron cerca de 16 millones de Kg. de polvo de polietileno.

Gran parte de este incremento lo podemos atribuir al desarrollo de artículos en la industria de rotomoldeo; tales como recipientes, asientos y respaldos, recipientes para carga, artículos del hogar, maletas, juguetes de montar, maniqués, etc.

En 1961, la introducción de resinas en polvo de polietileno que podían rotomoldearse abrieron gran cantidad de mercados. Casi cualquier resina termoplástica es un candidato potencial para el moldeo rotacional, lo cual produce una actividad acelerada en esta área por suplementos de materiales crudos, manufactureras de equipo y moldes tradicionales.

Actualmente hay dos técnicas para fabricar polvo de

polietileno. Uno es por precipitación de solución. Este no es un método nuevo, se utiliza desde hace varios años. Sin embargo es un método costoso, el polvo tiene un costo 3 ó 4 veces mayor que el de molienda, que es la 2a. técnica.

La molienda tampoco es una técnica nueva. El polietileno que se producía por molienda era más costoso que el producido por el método de precipitación, pero desde 1959 cuando se introdujo el equipo necesario para realizar la molienda de polietileno a altas velocidades, sin costos de sistemas de refrigeración, se logró una baja en el costo de éste.

Los polvos obtenidos por estos dos métodos tienen diferentes configuraciones y también el tamaño de la partícula. En el producto precipitado encontramos un polvo más fino el cual tiene un tamaño de partícula promedio alrededor de 20 micrones y muy pocas partículas mayores de 53 micrones.

En el producto mecánico muchas partículas son mayores de 100 micrones. Los polvos mecánicos vienen en diferentes tamaños de partículas. USI vende de acuerdo con el tamaño de malla. Por ejemplo el producto 50 mallas (fifty mash), todos los polvos han pasado a través de una pantalla o serie de 50 tamices o mallas, y tienen productos de 50, 70, 35 y 25 mallas.

Se puede decir que el 95% o más de los polvos de polietileno que se venden se obtienen por el método mecánico de pulverización, se usa muy poco el producto que se obtiene por precipitación; sin embargo, hay algunas áreas donde sus pro-

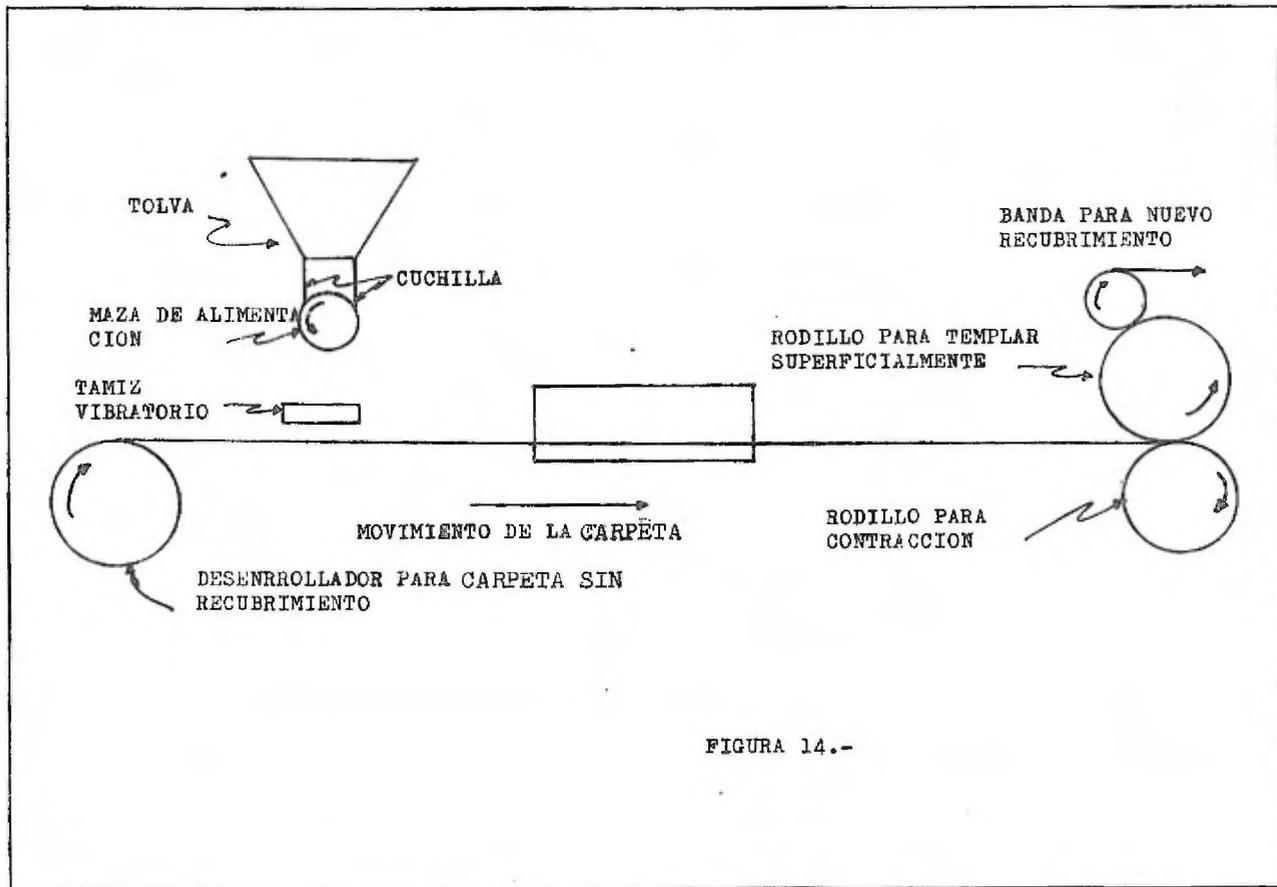


FIGURA 14.-

piedades son necesarias.

La siguiente tabla (7) es un ejemplo de los polvos-  
accesibles de USI, todas son de 50 mallas en rangos, de índi-  
ce de fusión y densidades. Tienen además otros tamaños de ma-  
lla disponibles.

Y es posible casi cualquier mezcla de punto de fu-  
sión y densidad.

Código	Índice de fusión	Densidad
702	2	.917
710	22	.915
714	70	.915
722	5	.924
734	3	.933
750	1.5	.933

Tabla 7.

Usamos los mismos parámetros que se usan cuando se  
discute el material en pelotas o forma cúbica.

Pero generalmente la única cosa que se tiene es po-  
lietileno disponible en el más pequeño tamaño de partícula.

En la figura 14 se ve el polvo de polietileno en --  
una de sus aplicaciones a gran escala, la fabricación de al-  
fombras para coche. Aproximadamente el 75% de los carros al-  
fombrados tienen el respaldo de polvo de polietileno. Y nos-  
presenta el esquema de una máquina para este proceso.

Así en el futuro se puede esperar que se use este -  
mismo equipo para alfombras de casa, y también la posibilidad  
de usarlo en recubrimientos de telas para aplicaciones de  
sellado de calor, para endurecimiento y otros.

Otra aplicación de los polvos de polietileno es recubrimientos de sustratos rígidos. Se revisten varios tipos de metales obteniendo excelentes adhesiones. En la planta de Tuscola de USI se hizo una prueba en las válvulas de sistema-ácido. Su costo aproximado de \$312.50 por pieza, y antes de protegerlas con polietileno en polvo el uso máximo que se obtenía era de una semana. Unas se recubrieron con "Microthene" (polvo de polietileno) por el método de cama fluida y después de un mes de uso no mostraron señales de desgaste. El polietileno es por lo tanto un material muy atractivo para recubrimientos.

Técnicas de recubrimiento de polvos secos

- 1.- Baño de recubrimiento-cama fluidizada.
- 2.- Baño de recubrimiento-cama no fluidizada.
- 3.- Quemado rociando.
- 4.- Vibratorio.
- 5.- Soplado.
- 6.- Recubrimiento giratorio.
- 7.- Floc rociado.
- 8.- Gravedad o inundado.

El polietileno no se saca de los moldes por las estrechas aberturas con la misma facilidad con que se sacan los vinilos.

El moldeo rotacional no es una técnica nueva se usa desde hace años con vinilos. Pero con polvos de polietileno, comenzó se uso el año de 1961.

Ventajas del moldeo con polvos.

- 1.- Uniformidad de espesor de pared.
- 2.- Partes sin esfuerzos.
- 3.- Moldes menos costosos.
- 4.- Pequeña inversión inicial.

Estas ventajas son con respecto al moldeo por inyección y por soplado.

El punto 4 se acentúa cuando la producción es a gran escala.

Las variables más importantes y que se deben tomar en cuenta para producir objetos por el método rotacional son las siguientes:

- 1.- En primer lugar está la geometría del molde.
- 2.- Tamaño de partícula.
- 3.- Ciclos de tiempo - temperatura.
- 4.- Propiedades del polímero.

Para escoger el tipo de equipo adecuado hay que tener en cuenta varias cosas acerca del producto como son:

- 1.- Tamaño del producto.
- 2.- Forma del producto.
- 3.- Largo de carrera.
- 4.- Propiedades del producto.

#### Comparación del rotacional vs. otros métodos de moldeo con polvos

En el rotacional:

- 1.- No hay esencialmente residuos.

- 2.- Mínima exposición al oxígeno.
- 3.- Post-calentamiento innecesario.
- 4.- Más fácil de adaptar a la operación continua.
- 5.- Se puede hacer partes más complicadas como son partes completamente cerradas.

### Diferencias físicas

Las propiedades del polvo de polietileno se determinan por el peso molecular y el grado de cristalización del polímero que se use.

Aunque dos polvos de polietileno pueden tener el mismo índice de fusión y densidad, pueden funcionar diferente durante el proceso debido a su tamaño de partícula, distribución del tamaño de partícula o geometría. La partícula más deseable es aquella que esta más propensa a fluir por ángulos agudos, cordoncillos o socabados dentro del molde y fundirse con el mínimo de calor en un estado sin burbujas.

La partícula ideal es esférica, tiene una superficie suave y una distribución del tamaño de partícula limitada. Si la partícula es muy áspera, requiere un tiempo de moldeo excesivo para fundirse y ocasiona un deterioro de las propiedades físicas por la oxidación del polímero.

Una partícula excesivamente fina, o una cuya geometría es tal que el polvo es fibroso, no fluye adecuadamente en el molde lo que ocasiona un llenado pobre, superficies picadas y ángulos defectuosos.

La distribución del tamaño de partícula debe de es-

tar entre 35 y 100 mallas para ser aceptable.

Diferencias en los polímeros.-

A) -Densidad.

Esta propiedad es una medida del grado de cristalización de un polímero, y se controla por la cantidad de ramificaciones de la cadena lateral.

Las resinas de baja densidad contienen un gran número de cadenas laterales de este tipo las cuales evitan el desarrollo de una estructura de alta cristalinidad.

Las resinas de gran densidad, por el contrario tienen solo algunas cadenas laterales, y en consecuencia áreas cristalinas, resultando un empaque apretado de las moléculas.

Un incremento en la densidad del polímero se acompaña por un incremento de rigidez, resistencia a la tensión, resistencia al calor y resistencia a la permeabilidad. Las propiedades físicas que se sacrifican si la densidad aumenta son: flexibilidad, elongación y vida del doblado.

B) -Índice de fusión.

Esta propiedad es una medida de la viscosidad del polímero; fundido a una temperatura y presión específica, y se controla por el promedio del peso molecular del polímero.- Conforme el promedio del peso molecular de la resina aumenta, es más resistente al flujo (o sea más viscosidad) y en consecuencia, el índice de fusión es menor. Un índice de fusión alto resulta en los ciclos de moldeo rápido lo que ocasiona dificultad en la reproducción del moldeo. Estas ventajas se-

logran, sin embargo a expensas de propiedades tales como resistencia al impacto, tenacidad y resistencia al esfuerzo de resquebrajamiento.

### C) -Distribución del peso molecular.

Durante la polimerización del etileno, se producen moléculas de polietileno de varias longitudes. Este rango de cadenas cortas, medianas y largas se describe conforme a la distribución del peso molecular. En la sección anterior concerniente al índice de fusión, nos referimos al promedio del peso molecular. Si la mayoría de las cadenas son de una longitud cercana a este promedio, se dice que el polímero tiene una distribución de peso molecular estrecha. Una resina de extenso rango de peso molecular, tiene un gran porcentaje de pequeñas cadenas (peso molecular bajo) y cadena larga (peso molecular alto). La distribución del peso molecular influye sobre las propiedades de resistencia al esfuerzo de resquebrajamiento de la resina. Otras propiedades que se afectan por la distribución del peso molecular son temperatura de resquebrajamiento y tenacidad.

### Composición

El deterioro de las propiedades del polietileno puede ocurrir en numerosas maneras. Durante el proceso una enorme superficie de polvo se expone a una alta temperatura en una atmósfera de oxígeno el cual puede causar la degradación del polímero. Una aplicación particular puede requerir la fundición para ser expuesto a la luz del sol o a otros elementos.-

Tal exposición causa un debilitamiento de la parte si la resina no esta compuesta apropiadamente. Otros requisitos que la resina debe reunir son el color, resistencia al esfuerzo de resquebrajamiento, facil separación del molde o características antilestáticas.

Cada uno de estos problemas o especificaciones pueden vencerse con la mezcla de la resina con los aditivos apropiados.

Las aplicaciones de los productos sitúan a las especificaciones del rotomoldeo del polietileno cada día como algo más importante. Si estas resinas en polvo van a competir con resinas procesadas por otros métodos, para algunas aplicaciones éstas deberán protegerse de las características de la oxidación térmica en este proceso. La resistencia al impacto es una de las propiedades que nos dice las ventajas importantes que nos reporta el uso de resinas que contengan las cantidades y tipos de aditivos apropiados. Otros incluirían la tenacidad general del polímero propiedades eléctricas y la posible decoloración.

La siguiente ilustración nos dice las ventajas en el impacto a baja temperatura, estando apropiadamente compuesta la resina, de tal modo que permita el moldeo rotacional de polvo.

Temperatura (C) de mínimo  
uso (impacto de 30ft-lb)

Polietileno de baja densidad  
(para usos generales)

Poliétileno de baja densidad -50  
( del más caro o para fines especiales)

Al exponer el polietileno a los rayos ultravioletas emitidos por el sol, estos causan una rápida deteriorización de las propiedades del polímero, resultando una pérdida de la flexibilidad y resistencia a esfuerzos. Tal degradación puede evitarse al usar los pigmentos apropiados, los más notables son los negros de humo como ya vimos. Este método para resolver el problema tiene una limitación aparente que es el color del producto moldeado para aplicaciones al exterior. Por eso, compuestos conocidos como absorbedores de ultravioleta están dentro formando parte de la resina diseñada, para la exposición al exterior. Un ejemplo, de los beneficios derivados, se muestra aquí.

Intemperización acelerada  
horas para debilitamiento

Poliétileno de alta densidad sin pigmentación, sin absorbedor de ultravioleta. 900

Poliétileno de alta densidad sin pigmentación con absorbedor de ultravioleta. 2,800

### Pigmentos

El moldeador, si desea ciertas partes coloreadas de un artículo, encuentra que el incorporar el colorante en los polvos es el mejor método para obtener lo deseado. Pintar el artículo requiere dos operaciones adicionales: el tratamiento superficial para preparar al polietileno a aceptar la pintura

y después pintar el artículo. Además del efecto decorativo de los pigmentos, ciertos tipos proveen estabilización contra los rayos ultravioleta que se mencionaron anteriormente. La composición y concentración del pigmento afecta el funcionamiento de la pieza en servicio. La temperatura de fragilidad, el esfuerzo al abatimiento y las características de moldeo de la resina base son las propiedades significativas dependientes de ambos tipos y de la cantidad de pigmento. Se encontró que estos pigmentos tienen un efecto deletéreo (perjudicial a la salud), en el moldeo rotacional del polietileno conteniendo los metales: hierro, cobre, cobalto, zinc o manganeso. Pequeñas cantidades de pigmentos que contengan dichos metales pueden usarse si es necesario, con solo una reducción mínima de las propiedades como se muestra enseguida.

Pigmento	∅ concentración	Temp.fragilidad (C)
Cobre	0	-54
Phthalocyanine	0.05	-52
Azul	0.1	-34
	0.5	-30
Cadmio	0	-54
Amarillo	0.5	-53.4
	1.0	-42

Tabla 8

Se puede ver que un informe previo de la concentración segura del pigmento se controla para una gran degrada --

ción por la composición del pigmento.

Generalmente, la máxima cantidad que puede tolerarse sin una deteriorización significativa de las propiedades es 0.5%. Puede haber una excepción a esta regla; sin embargo el moldeador debe investigar previamente.

El efecto de la concentración del pigmento sobre la temperatura de fragilidad se ilustra en la tabla 6.

#### Auxilios para la separación del molde

Los lubricantes pueden formar parte de la composición de la resina para facilitar la separación de la pieza -- del molde, estos materiales se seleccionan cuidadosamente de un grupo de aditivos que abarcan: parafinas, ceras microcristalinas, ácidos grasos, amidas alifáticas y jabones metálicos. El tipo y concentración del lubricante para el polietileno -- que se usa en el moldeo del polvo debe determinarse cuidadosamente, puesto que por su composición, estos materiales tienen una compatibilidad limitada. Si se usa una cantidad en exceso en la resina, éste eventualmente emigra a la superficie -- causando partes pegajosas indeseables.

El uso de los auxiliares internos para la separación del molde no elimina la necesidad del uso de agentes para separación del molde aplicados directamente a las paredes del molde. Estos además extenderán la vida de los agentes externos usados para facilitar la separación entre el molde y la pieza, permitiendo más ciclos del molde sin la re aplicación de tales agentes.

Resinas especiales (caras) vs. resinas para fines generales (comunes)

Amplia latitud de moldeo.

Los polvos de polietileno de la Unión Carbide se -- clasifican en resinas de fines generales y resinas premium -- (especiales o caras). Las resinas de fines generales se diseñan para aplicaciones en donde se presenta un requerimiento de funcionamiento menos crítico. Tales aplicaciones son aquellas en donde: (1) la moldura estará expuesta solamente a una temperatura baja normal de aproximadamente menos 20 F, (2) la moldura no está sujeta a un servicio sin esfuerzos de resquebrajamiento y (3) sea posible un control de terminación de la operación de moldeo. Una serie de resinas diseñadas para admitir más requisitos de demanda de impacto a temperatura baja extrema (-50 F) o tenacidad a la temperatura ambiente es la resina de grado premium. Estas resinas poseen el rasgo adicional de que es "una resina de amplia latitud de moldeo". -- Una amplia latitud de moldeo existe cuando la resina puede desarrollarse y mantener sus propiedades físicas óptimas sobre un amplio rango de ciclos de moldeo. Este atributo facilita enormemente la producción minimizando el tiempo que se requiere para determinar las condiciones máximas de la máquina para un trabajo de moldeo dado, haciendo posible el uso de largos ciclos de moldeo (los cuales en ocasiones son deseables) sin la degradación de las propiedades del producto, reduciendo la supervisión necesaria en la producción y pasar extensas prue-

bas de control de calidad. El funcionamiento de una resina - premium se compara con el de las resinas de fines generales - en cuanto a las propiedades a baja temperatura en la figura - 15.

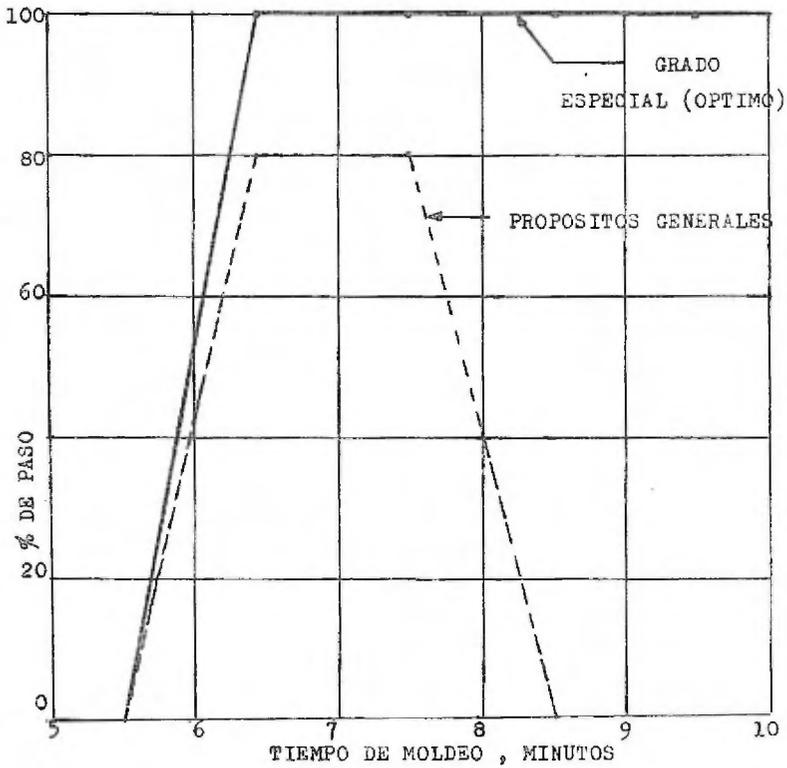


FIGURA 15.- IMPACTO A BAJA TEMPERATURA:  
% DE PASO 30 FT/LB. A  $-40^{\circ}\text{C}$  VS. TIEMPO  
DE MOLDEO.

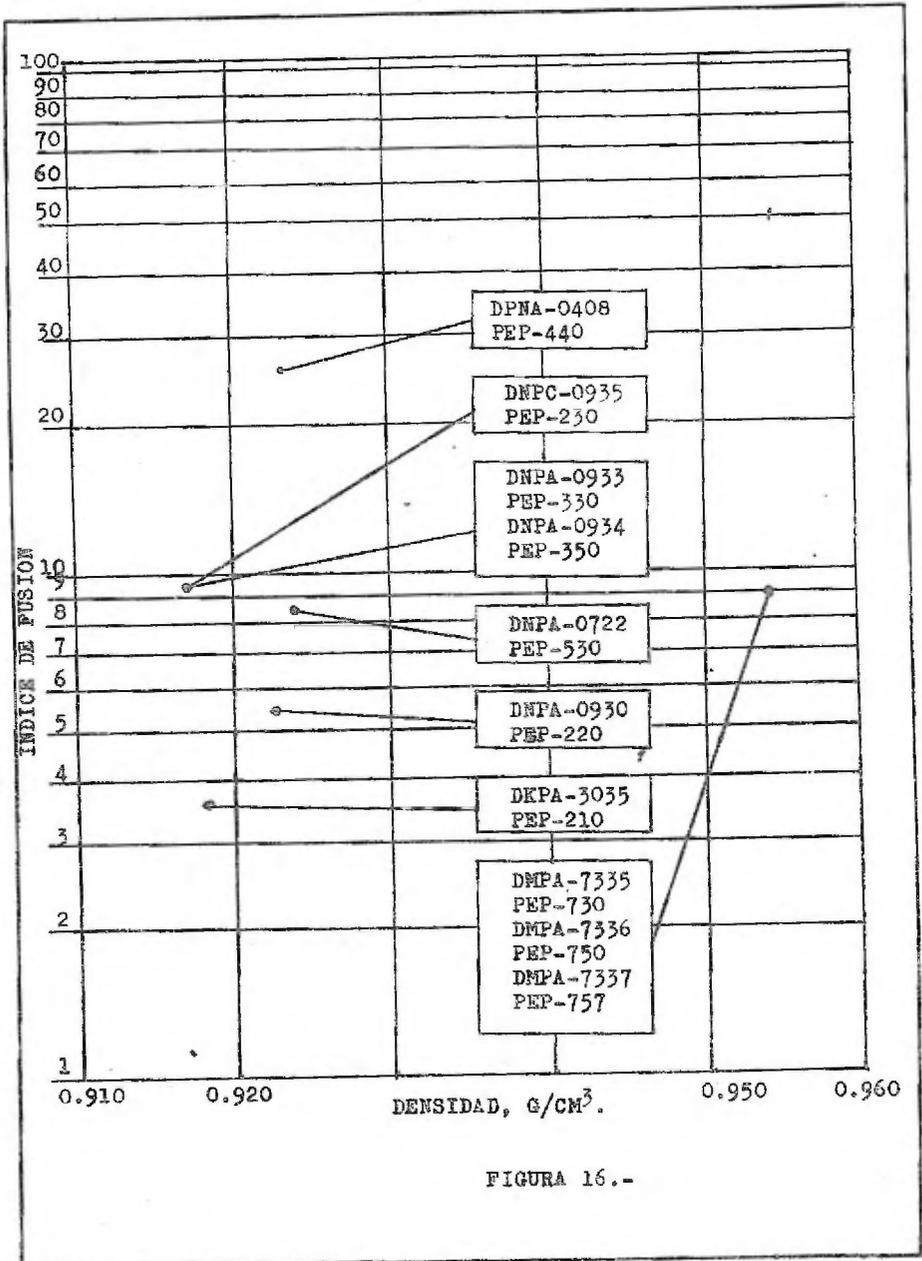
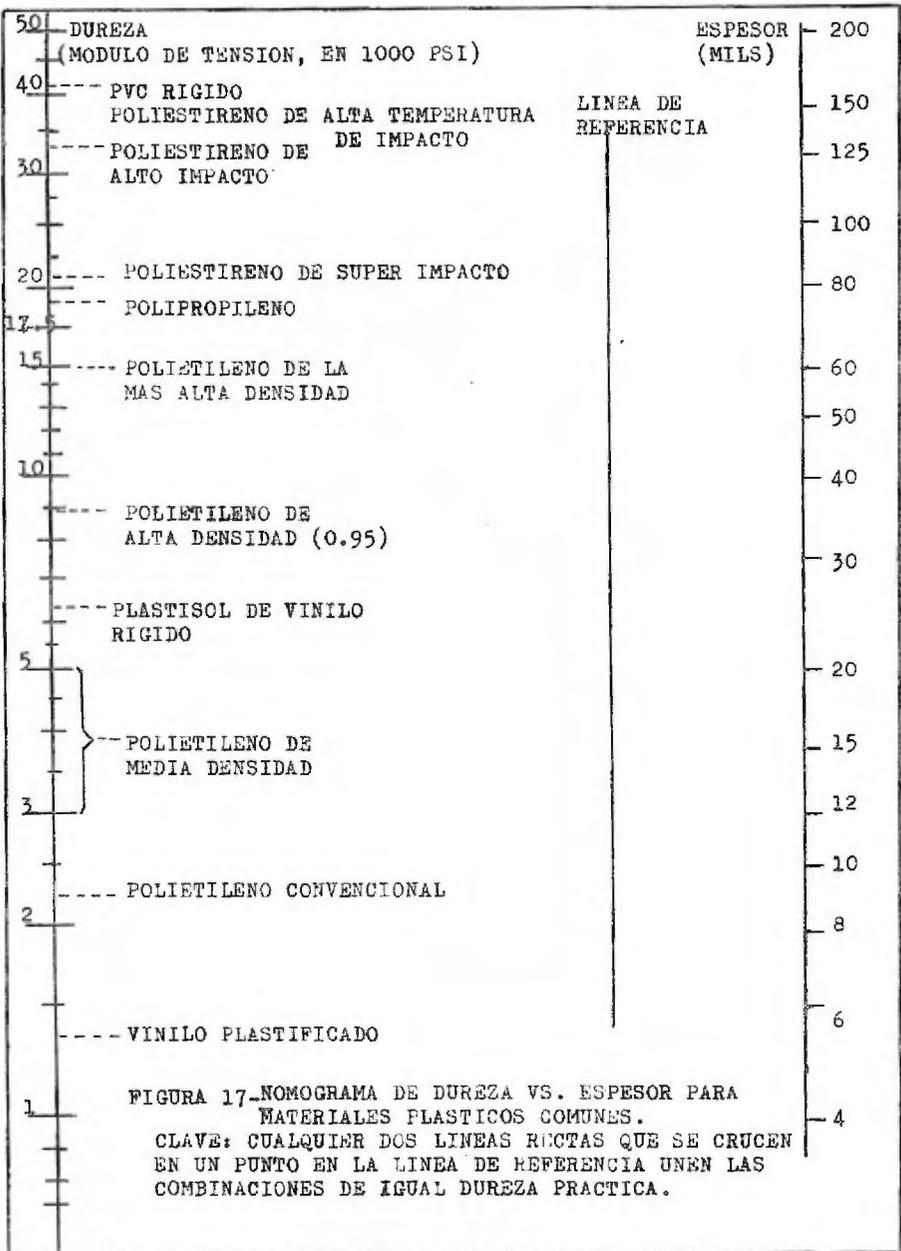


FIGURA 16.-



EFFECTO DE LA DENSIDAD Y EL INDICE DE FUSION EN LAS PROPIEDADES

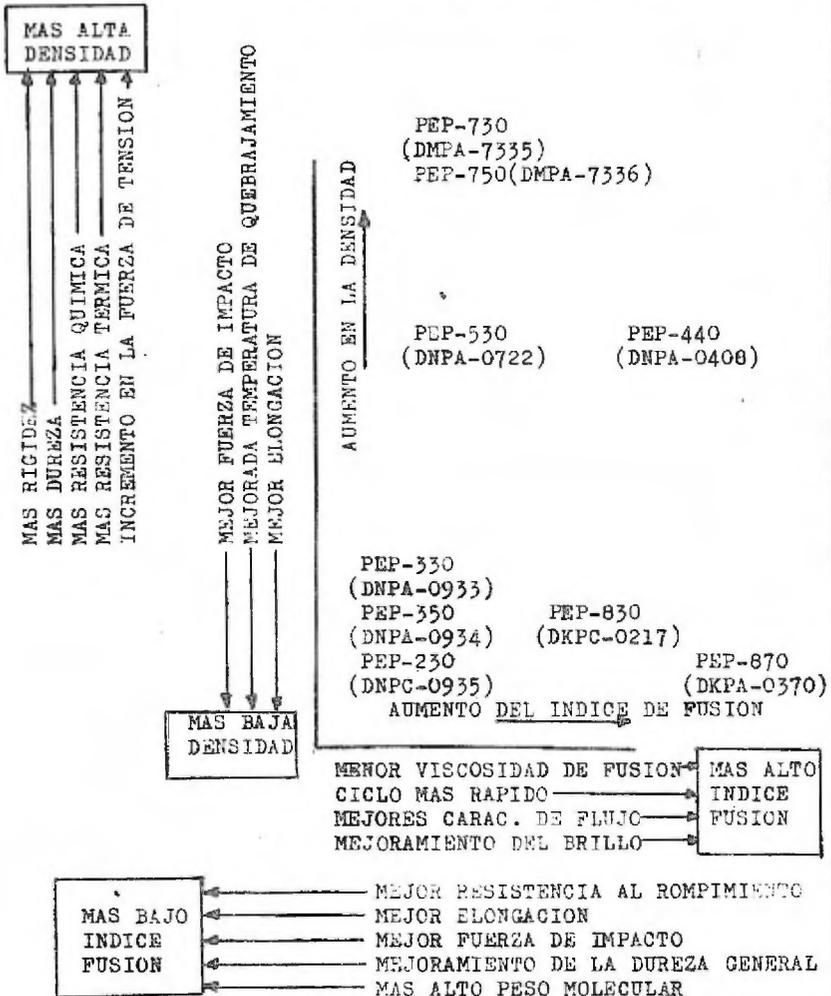


FIGURA.- 18

## CAPITULO II

### A) METODOS GENERALES

#### Diferentes técnicas de proceso

##### Extrusión

La extrusión es el proceso de aplicar calor y presión para fundir una resina de polietileno y forzarla a través de una abertura o dado exactamente calibrada para producir configuraciones continuas en las formas de:

- A)- Películas y hojas sin soporte, tubería y otros artículos.
- B)- Películas para recubrir papel, cartón y tableros, artículos de metal, celofán, películas --- plásticas, ropa y otros sustratos.
- C)- Recubrimientos alrededor de cables o alambres.

La máquina del extrusor (Figura 19) no es complicada en cuanto concierne a la operación básica. Los tamaños de extrusores se diseñan por sus barrenos cilíndricos o cañones.

#### Lo que le sucede a la resina en el barreno cilíndrico

La resina de polietileno se alimenta en la tolva en forma de embudo. Cae a través de la garganta alimentadora -- hacia el canal del tornillo giratorio entre el espacio con el barreno extrusor, o cilíndrico, y se fuerza hacia adelante -- por las aletas o cuerdas del tornillo giratorio. Cuando se mueve, se calienta hasta fundirse, para así mezclarse y comprimirse por una serie de complicados patrones de flujo dentro de los canales del tornillo.

En su camino por el barreno, las partículas de po -

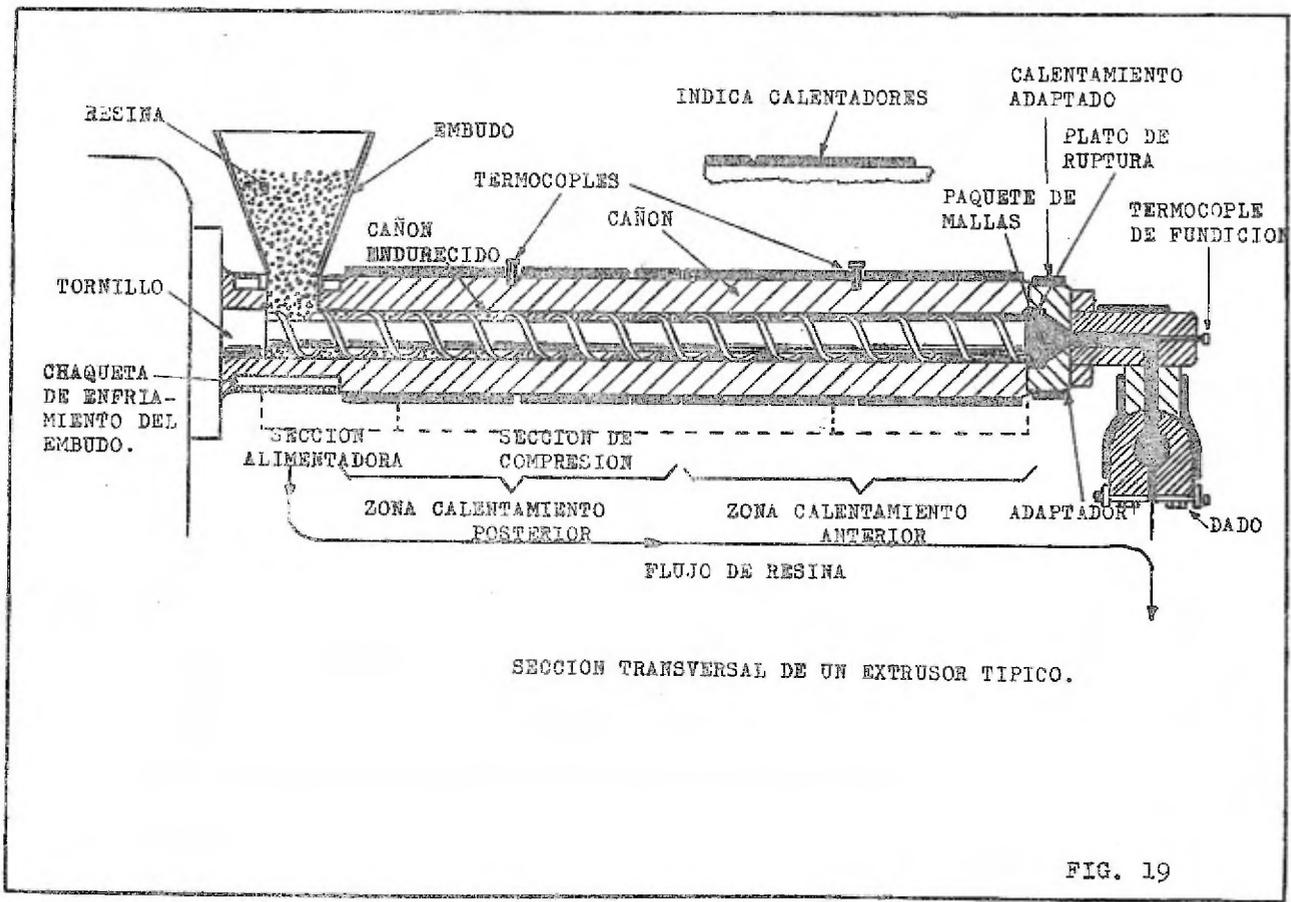


FIG. 19

lletileno sólido deben transformarse en una mezcla fundida -- homogénea. Una mezcla mal hecha, o no fundida homogéneamente puede dar un producto final con secciones de dimensiones no uniformes, con superficies rugosas u onduladas y con otros residuos de despojos. Consecuentemente, puede resultar una película de un calibre no uniforme, le puede faltar pureza, brillo y claridad. La mezcla fundida pasa finalmente por un juego de mallas y un plato soporte frenador y el adaptador para el dado.

El juego de mallas sirve principalmente como un filtro para materias extrañas que puedan entrar a la tolva. --- Además aumenta la presión en el barreno extrusor, especialmente si no hay valvula en el extrusor.

#### El calentamiento debe estar bien controlado

El calor que ablanda la resina se suministra de dos maneras: por calentamiento externo y por fuerzas internas de fricción originadas por la acción de mezclado y la de compresión del tornillo.

La cantidad de tal calentamiento suministrado al polímero por fricción es apreciable, en muchas operaciones de extrusión representa la mayoría del calentamiento total suministrado a la resina. La electricidad, el vapor, o aceite caliente pueden usarse para calentar externamente el barreno.

Las resistencias eléctricas se prefieren por ser -- más convenientes, requieren un mínimo de mantenimiento y es -- generalmente el más barato en términos de primera inversión.

Este método se usa preferentemente para termoplásticos de forma muy sencilla y de gran tamaño.

Dependiendo de las variaciones en la salida del extrusor se presentan técnicas: como extrusión de película soplada, extrusión de película plana, extrusión de película fundida o método Chell-roll, extrusión de láminas, recubrimientos por extrusión, extrusión de película en tanque extinguido, recubrimiento de cables y alambres y extrusión de tubos.

#### Moldeo por soplado

De todos los materiales plásticos que pueden moldearse por soplado como el vidrio, el polietileno se usa en más grandes volúmenes que todos los demás juntos. Sus más amplios márgenes en densidad, índice de fusión, y otras características básicas dan una amplia variación correspondiente en las posibles propiedades de los productos finales.

Una gran variedad de artículos huecos se producen actualmente por moldeo por soplado. Incluyen botellas del tipo flexible o rígido, recipientes para una gran variedad de productos, para artículos de cosméticos o del hogar, accesorios de tubería, y una variedad de artículos propios de la industria.

#### Las tres etapas en el moldeo por soplado

Aunque la variedad de equipo para moldeo por soplado es impresionante, éste consiste en tres etapas:

- 1.- Fusión, o plastificado de resina.
- 2.- Formado del patrón o de la preforma.

3.- Inflado del patrón en un molde para soplado para producir un producto final.

Las tres etapas en el moldeo por soplado - fusión de la resina, formado del patrón y soplado de la parte - ocurren generalmente simultáneos y no uno después de otro.

Cómo es el patrón o la plataforma de soplado para producir una parte hueca

La figura 20' es un esquema de los pasos que consta la etapa final, la etapa de soplado o ciclo de moldeo.

Las cuatro etapas del ciclo actual (a,b,c y d de la figura 20) toman lugar una después de otra, así que pueden producirse simultáneamente un gran número de piezas en una máquina. El soplado toma una cierta cantidad de tiempo medido en segundos o para artículos grandes, minutos o más.

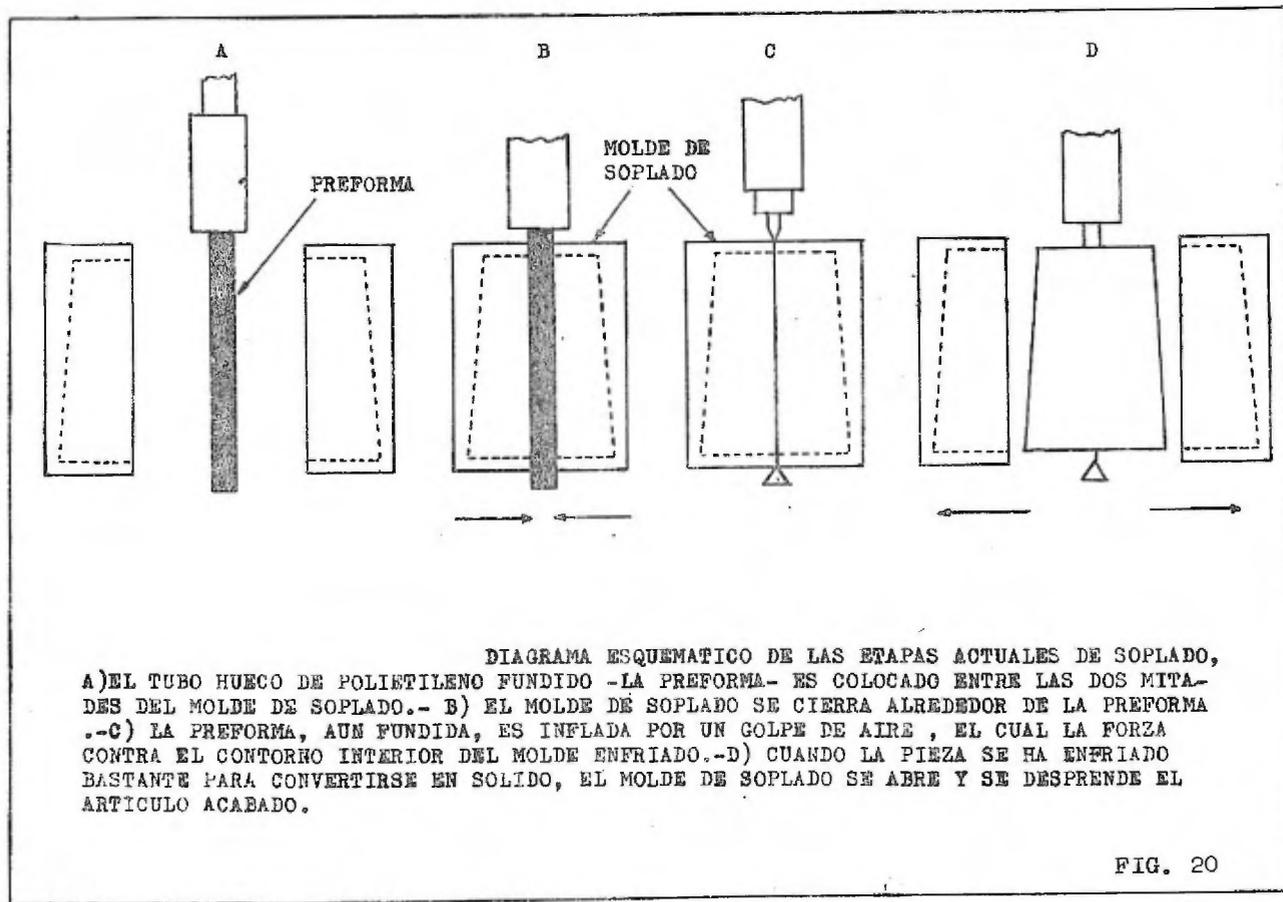
Sin embargo dos terceras partes del ciclo de moldeo son la etapa de enfriamiento y por lo tanto, es el tiempo de enfriamiento lo que controla el ciclo.

Dos procedimientos para hacer el patrón

El patrón es un tubo de forma generalmente circular, raramente elíptica o de otra sección transversal.

Consiste de resina en estado fundido que permite soplarse hasta su forma final. Para hacer el patrón, las partículas de polietileno o cubos tienen que fundirse primeramente o plastificarse y bien mezclados bajo la influencia del calor y presión, luego se hace en forma de tubo.

Existen dos técnicas de fusión y mezclado de resina-



y formado del patrón.

I.- Extrusión; la cual produce el patrón como una especie de tubo sin fin el cual se corta para llenar el molde soplado.

II.- Moldeado por inyección; el cual normalmente requiere un molde (llamado molde de preforma) para producir la preforma o patrón, el cual se lleva al molde soplado.

#### Moldeo por inyección

En el moldeo por inyección, la resina poliolefínica primero se calienta, funde, mezcla y se plastifica hasta el líquido viscoso y luego de fuerza hacia un molde relativamente frío cuya cavidad tiene la forma del artículo deseado. -- Aquí se enfría y solidifica. El artículo moldeado luego se saca por diversos procedimientos como son: ganchos, aire o -- platos concavos.

El moldeo por inyección es un proceso cíclico. El período entre el comienzo del movimiento hacia adelante del tornillo y el principio de la separación del molde o abertura se llama tiempo de empalmado, porque durante ese tiempo los segmentos del molde permanecen juntos o empalmados fuertemente. El tiempo de empalmado más el tiempo requerido por el molde para abrirse, extraer la pieza y cerrar de nuevo el molde se llama tiempo de ciclo de inyección.

#### Máquina de tornillo inyector para el moldeo

La máquina para moldeo por inyección es una máquina similar a la extrusión pero el tornillo tiene un desplazamiento

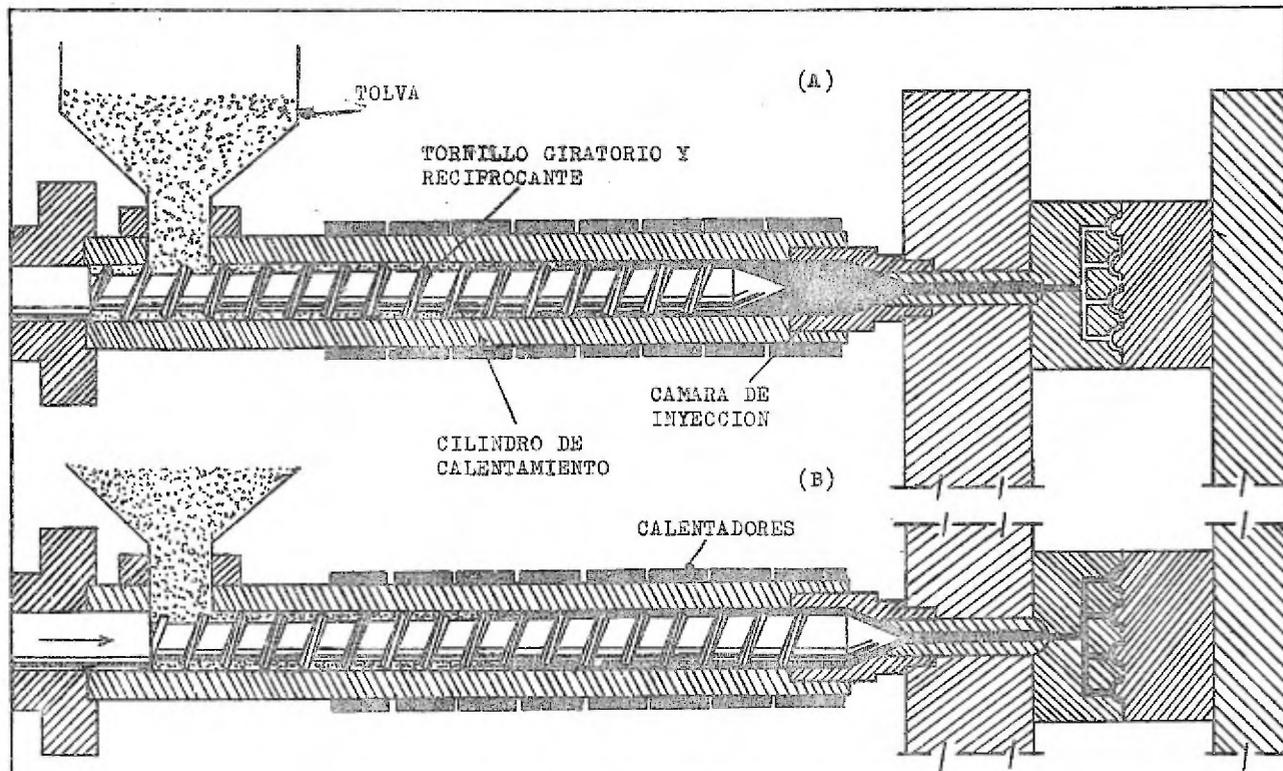
to hacia adelante para efectuar la inyección.

Generalmente en tales máquinas el tornillo giratorio primero mueve la resina fundida hacia adelante y luego se fuerza él mismo hacia atrás por la resina fundida acumulada hasta que el volumen de la fusión requerido para una inyección está acumulado enfrente del tornillo. Entonces el tornillo para de girar, rápidamente se mueve hacia adelante y a manera de émbolo, empuja la mezcla a través del orificio hacia el molde. La figura 21 muestra esquemáticamente tal máquina de tornillo reciprocante, con el tornillo retraído (A) y empujado (B).

El interés en el moldeo con polvo experimenta un -- crecimiento ininterrumpido desde hace varios años. Cada año -- más y más fabricantes de equipo y abastecedores de resina se interesan en el moldeo con polvos; consecuentemente ocurren -- nuevos desarrollos.

El moldeo con polvos se pensó primeramente como un -- método para producir cantidades limitadas de grandes artículos. Pero no es favorable porque hay muchos factores económicos. -- Mientras más gente reconoce aplicaciones potenciales para -- este proceso de fabricación de plásticos, un esfuerzo adicional se desarrolla para mejorar las técnicas de proceso. A -- cada técnica nueva producida le correspondía una ventaja económica.

Los procesos Heisler y Engel son dos técnicas paten -- tadas que demuestran este esfuerzo. En el mismo tiempo, el -- moldeo rotacional se ha usado como un proceso de producción --



SECCION TRANSVERSAL ESQUEMATICA DE UNA MAQUINA TIPICA DE  
 TORNILLO DE INYECCION QUE MUESTRA AL TORNILLO EN LA POSICION (A) RETRAIDA Y  
 (B) ADELANTADA. FIG. 21

con los plásticos vinílicos particularmente en la industria de los juguetes. Estos tres procesos se encontraron en el camino de cruce de la industria americana, y el moldeo rotacional se reconoce como un buen proceso de fabricación para polietileno en polvos.

Aún hoy en día, existen otros procesos potenciales que son más bien candidatos para unirse a la familia de moldeo con polvos. Los desarrollos de equipo, producto y resina continúan jugando un papel importante en el crecimiento de moldeo con polvos.

El moldeo con polvos se reconoce como un proceso de producción donde mediante formas complicadas tales como artículos grandes y pequeños, objetos cuadrados y redondos, secciones gruesas y delgadas y productos de un extremo abierto; pueden producirse.

El moldeo rotacional es un proceso para la fabricación de partes a partir de termoplásticos usando calor únicamente y no presión. El proceso de moldeo rotacional suple al moldeo por inyección, moldeo por soplado y termoformado.

La selección del proceso dependerá principalmente de el tamaño y geometría de la parte a producirse y lo grande de la corrida o producción.

En realidad el moldeo rotacional consiste en un calentamiento y una rotación de un material polimérico "convertible con el calor", todo esto de una manera simultanea, en un molde cerrado girando en dos ejes que son perpendiculares-

el uno al otro.

"Convertible con el calor" significa que cualquier líquido o polvo puede cambiarse continuamente a una fase sólida por una horneada y enfriamiento, por gelación o por reacción química. Por supuesto, para ser comercialmente aceptable, este cambio no debe ir acompañado por reacciones extras, como la evolución de materia volátil, la cual desfiguraría la apariencia de un objeto moldeado por burbujas u otros defectos.

El volumen líder de materiales plásticos utilizados en este proceso es el del grupo de compuestos moldeables líquidos, clasificados como plásticos vinílicos. Sin embargo hacemos énfasis de la relación del proceso de rotomoldeo con los polvos de polietileno termoplásticos.

Los polvos termoplásticos que han sido comercialmente rotomoldeados incluyen polietileno de alta y baja densidad y otros tipos.

El más usado en la actualidad es el plímero de baja densidad, pero gran parte del trabajo que se ha desarrollado con polvos de polietileno para rotomoldeo ha sido acerca del de alta densidad, estirenos de impacto y otros termoplásticos de altos módulos para aplicaciones industriales.

Para resumir; lo que va dentro del molde rotatorio es un líquido o polvo "convertible con el calor" que cambia su forma física continuamente, a forma sólida.

La rotación que se efectúa en dos ejes perpendicu--

lares la realiza la máquina rotomoldeadora.

Existen dos tipos principales de equipo en el mercado: máquinas de moldeo rotacional batch (colada) y continua.- En la máquina batch, la tabla rotacional es permanentemente montada en el horno. En la máquina tipo continuo, los moldes están montados en pernos los cuales llevan los moldes a través de varias estaciones en ciclo de moldeo.

#### Moldeo rotacional de polietileno en polvo

De igual manera que muchos procesos de fabricación, la calidad del producto depende de seleccionar el diseño correcto y el material. En suma, el moldeo apropiado o las condiciones de la formación, deben usarse y controlarse para asegurar calidad y una perfección del producto o la parte. La selección de la resina para moldeo rotacional no solamente involucran consideraciones sobre las propiedades físicas y químicas de la resina, sino las propiedades del polvo, tamaño de la partícula, forma y uniformidad.

El polietileno en polvo se produce por molienda de alta velocidad en molinos de impacto. La tecnología de molienda o pulverización y equipo se desarrolló hasta el punto donde las cantidades comerciales de calidad de resina son accesibles. La clasificación estandar del polietileno en polvo se determina midiendo la facilidad para desparramarse, tamaño de malla, distribución de la partícula y densidad aparente. La facilidad para desparramarse es la indicación de las propiedades, parecidas al flujo de fluidos, de la resina en polvo.

vo en el molde. El procedimiento estandar del ASTM D1895-61<sup>1</sup> se usa para medir esta propiedad.

Una unidad aceptable de medida de la facilidad para desparramarse es arriba de 150 gm/min.

El tamaño de malla y la distribución de partícula se determinan normalmente pasando el polvo a través de una pantalla de tamiz estandar, en los Estados Unidos.

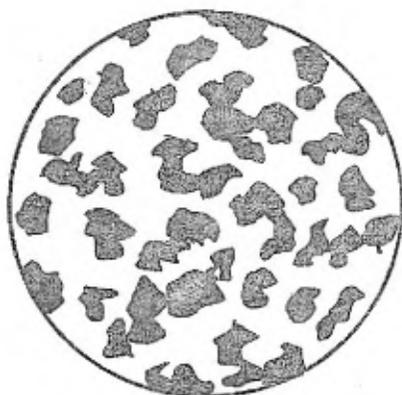
El tamaño de malla se considera como el mínimo tamaño de tamiz por el que pase el 95% o más del polvo. Debido a que ello influencia la facilidad para desparramarse y fundirse, la distribución de la partícula también es importante.

Moliendas de la malla 35 son las más populares y más ampliamente usadas en el moldeo rotacional. Malla 16 es deseada para recubrimientos de tapetes.

La malla 50 se usa normalmente como una resina para recubrimientos de cama fluidizada. Sin embargo, las resinas de malla 16, 35 y 50 pueden moldearse.

La densidad aparente de un polvo es una indicación de la configuración de partículas y tamaño. Cuando el molde gira en dos direcciones, se desea usar un polvo denso que fluya fácilmente el cual continuamente recubrirá la superficie interior. (Los polietilenos en polvo tienen densidad aparente de cerca de 20 a 21 libras/ft<sup>3</sup>). Este aspecto distintivo ayuda a producir partes de espesor de pared uniforme.

Las microfotografías de la figura 22 se usan en la inspección normal de la forma de la partícula.



POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD  
PULVERIZADO RETENIDO EN UNA MALLA 60. UNA MOLIENDA COMO  
LA QUE SE MUESTRA ABAJO ES MAS APROPIADA PARA MOLDEO.

FIG. 22

Las colas de aspecto de pelo en cada partícula de **arriba** decrecen la aceptabilidad de la resina porque la hace menos fluida. Moliendas de esta naturaleza fueron producidas durante los primeros días del moldeo con polvos. Sin embargo el equipo para molienda mejorado y la tecnología eliminan virtualmente este problema. La figura de **abajo** indica la forma de la partícula excelente con una gran facilidad para desparramarse. La tabla 9 relaciona el tamaño de malla del material al tamaño de la abertura del tamíz correspondiente.

Los aspectos del moldeo rotacional son:

1.- La variación de la velocidad de rotación en ambos ejes produce partes con distribución uniforme en la pared.

2.- El producto se forma completamente en una etapa de calentamiento.

3.- Debido a que se usan máquinas de múltiples espigas, el proceso se aproxima a una operación continua. Permite a una variedad de productos moldearse al mismo tiempo.

4.- Pueden producirse recipientes de extremos cerrados en una sola operación.

Hay otras técnicas que es posible usar especialmente si solo tenemos un horno disponible. Este arreglo es más eficiente si contamos con dos cuartos de enfriamiento.

Otra técnica es, donde el movimiento del molde y la rotación, se localiza en una carreta que se mueve en ---

unos rodillos. La carreta se puede mover desde el área de calentamiento hasta la de enfriamiento y regresar al área de carga y descarga.

Se dispone de otra técnica, comercialmente es --- aquella en la cual el molde no se mueve del área de calentamiento en esta instalación, se puede mover el molde desde el cuarto de calentamiento, por el uso de rodillos a una --- sección auxiliar de enfriamiento.

Hay varios materiales que pueden usarse para construir los moldes. Esto incluye materiales en hoja y de 16 a 18 calibres de acero "cold-rolled". En caso de partes que -- tengan superficies largas y planas, el encombamiento es muchas veces un problema cuando se usa metal en placa.

El aluminio al carbón es el material más popular para la fabricación de moldes. Muchas de las partes están -- constituidas de este material aunque algunas gentes prefieren los moldes de níquel electroformado.

Un tanque de 1000 lt. (250 gal.) hecho en un molde cuyo costo es menor a los \$6250 (500 dol.). Partes de polietileno de alta densidad pueden hacerse en este molde sin sufrir ningún daño. Las dos principales fuentes de calor -- para el moldeo rotacional son sales calientes y aire caliente. Ambas son muy eficientes dependiendo del diseño del equipo.

El mejor método para enfriar moldes es tener un -- fino rocío de agua sobre el molde. La velocidad de enfria--

miento optima depende de las propiedades del producto terminado.

En el cargado de los moldes se usa un procedimiento basado en la gravedad.

En el moldeo rotacional, también llamado a veces rotovaciado, se efectúa el formado de las piezas huecas rígidas o flexibles, con material plástico en polvo, en moldes calentados que giran simultáneamente en dos planos perpendiculares entre sí. Las partículas del plástico se ponen en contacto y entran en fusión sobre las superficies calientes del molde y se funden en capas hasta que todo el polvo se funde y se consigue el espesor deseado en el producto final.

El moldeo rotacional permite moldear piezas de tamaño considerable.

Consiste en los siguientes pasos:

1.-Una cantidad predeterminada de polvo - - - micropulverizado (según el peso deseado en el producto final) se carga en la cavidad o cavidades múltiples de la parte inferior del molde sin calentar.

2.-Las mitades del molde se unen en su lugar. Para piezas totalmente cerradas, el molde está totalmente hecho de material conductor del calor. En el caso de que la pieza tenga uno o ambos extremos abiertos el molde se cierra con tapas de material aislante.

3.-Los moldes cargados se ubican en un horno don

de se calientan al mismo tiempo que giran en dos ejes perpendiculares entre sí.

Las temperaturas comunes en las estufas son de 205 a 370°C

Las fuentes de calor pueden ser:

- A) Aire caliente
- B) Rayos infrarrojos
- C) Llama de gas directa
- D) Sal fundida

Lo que determina cual tipo de fuente de calor es preferible, es el equipo del que se dispone, los productos a fabricar y otras circunstancias. Con mucha frecuencia, las temperaturas utilizadas en el moldeo rotacional son del orden de 370°C y a veces de 455°C. Esto normalmente no causa daño a las piezas delgadas pero puede perjudicar algunos moldes.

4.-El movimiento de rotación doble permite formar objetos huecos en cada una de las cavidades del molde. El polvo micropulverizado se distribuye en forma pareja para formar paredes de espesor uniforme al producirse la fusión de la resina (excepto en los puntos donde se han utilizado tapas aislantes). El peso y el espesor de las piezas moldeadas puede modificarse mediante el incremento de la cantidad de polvo que introducimos originalmente en las cavidades inferiores del molde.

5.-Una vez que todo el polvo se funde para formar

una capa homogénea sobre las paredes de las cavidades, el molde se enfría por inmersión en un tanque de agua o mediante rocío o con preferencia, con aire forzado mientras todavía se halla en rotación.

6.-El molde se abre y la pieza se retira. Entonces se prepara el molde para el ciclo siguiente. (Asegurándose previamente de que no quede humedad en el molde).

La duración de los ciclos de moldeo varía entre 2 y 30 minutos, dependiendo del espesor de la pieza, de la temperatura del horno, de la resina utilizada y del material de que esta hecho el molde.

Cuando se moldea un artículo nuevo se recomienda abrir las piezas y examinar su superficie interior, para asegurarse que es brillante y lisa y que las piezas están libres de burbujas y que están completamente fusionadas sin degradación o decoloración. De no ser satisfactorias las piezas, se ajustan las condiciones del ciclo.

Otro tipo de equipo de moldeo rotacional es en el que el horno entero gira, mientras el portador de los moldes dentro del horno gira mediante un mando por cadena y motor montados sobre el horno rotatorio.

#### El método "Rock and Roll".

Este método es similar en algunos aspectos al moldeo rotacional. En este proceso, el molde gira solamente alrededor del eje horizontal, mientras sus extremos son mecidos hacia arriba y abajo.

El molde ,o moldes, esta partido en dos, igual -- que los utilizados en moldeo rotacional. Primero se cargan y luego se transportan hacia la estufa, donde recibe un movimiento de rotación alrededor de su plano horizontal, mientras todo el marco con el molde recibe un movimiento lento de "sube y baja". Este movimiento doble hace que el polvo se adhiera a todas las superficies del molde al igual que en el moldeo rotacional biaxial. Los radiadores en la estufa son unidades de rayos infrarrojos calentados por quemadores de llama de gas.

Al final del ciclo de calentamiento, el molde se retira nuevamente a su primera posición para su enfriamiento y descarga. El movimiento de "sube y baja" continúa durante el período de enfriamiento.

Este equipo puede ser construído en cualquier tamaño razonable.

#### Proceso Engel

Una de las siguientes ideas en el método con polvos vino de Alemania. Thomas Engel recibió la patente norteamericana 2,915,788 en diciembre de 1959, esta patente fué asignada a la Vasco industries Corporation of New York. El proceso Engel de moldeo con polvos, relaciona la idea de usar calentamiento externo durante el paso de fabricación en vez de usar moldes precalentados. Este medio de calentamiento puede variar desde líquidos calientes hasta aire caliente circulado. En este proceso el molde permanece en po-

sición estática. Se usa un centro hueco para conservar el material, para aplicar ligera presión interna en la resina o para servir como medio de calentamiento interno. El polvo se echa entre el centro hueco y el molde. Tan pronto se alcance el espesor deseado, el polvo no moldeado se remueve del molde. El centro hueco se inserta de nuevo y se obtiene mediante calentamiento una superficie interna sin asperezas.

Este método se limita a productos de un extremo abierto.

El proceso Engel también se llama moldeo estático en frío .

Los aspectos del proceso Engel son:

1.- El molde frío se llena con polvo micropulverizado.

2.- El molde permanece en posición estática durante el proceso de fabricación.

3.- Los moldes llenos se calientan externamente mediante aire caliente circulado o líquidos calentados. El molde se coloca en un horno el cual operará a una temperatura de 500 a 750°F (260 a 400°C). Las temperaturas altas se prefieren normalmente.

4.- El uso de un centro hueco reduce la carga de resina, proporciona alguna presión externa y puede servir para ayudar al calentamiento interno. La resina se funde continuamente en forma de capas. El espesor de las capas fundidas se determina por la temperatura del horno y el tiempo de calenta

miento, y en algunos casos, por la densidad y el índice de fu  
sión de la resina.

5.- El molde se saca del horno y se enfría, ya sea por inmersión en agua o por rociado de agua.

6.- El artículo moldeado se saca del molde.

7.- Solamente partes de un extremo abierto se pueden hacer mediante este proceso.

#### Proceso Heisler

Una de las primeras patentes que tienen que ver con el moldeo con polvos la presentaron, J.S.Heisler, Albert --- Heisler y A.J.Starr. Una patente norteamericana se expidió a estos inventores en marzo de 1956, le asignaron el número de patente 2'736,925. El método Heisler relaciona la idea de moldear grandes objetos en una operación sencilla o de dos etapas. Se seleccionó en el tiempo en que el moldeo por inyección existente o las máquinas de moldeo por soplado no podían manipular grandes moldes. Este proceso permite hacer grandes objetos de lado sencillo o un solo lado en una operación. Esto se efectúa llenando un molde precalentado con polvo y luego gira al mismo tiempo que se mueve lentamente desde una posición vertical hasta una posición horizontal. Tiene la tendencia de acumular resina en la base del recipiente, esto aumenta la rigidez de la parte. El espesor de pared deseado puede obtenerse repitiendo el ciclo.

Después que obtenemos el espesor de pared deseado--removemos el polvo sobrante, el molde se recalienta para su-

vizar o allanar la superficie interna. Aunque recipientes de extremos sencillos son los productos principales del proceso, pueden producirse recipientes de extremos dobles, formando se paradamente los extremos sencillos. La fusión de estas dos - mitades se ejecutan colocando un exceso de polvo en la mitad superior precalentada y luego gira con la mitad inferior también precalentada, el exceso de polvo ocasiona la unión de los dos.

El proceso Heisler se llama también moldeo continuo en caliente. Los aspectos sobresalientes del proceso Heisler son:

1.- El molde se precalienta y luego se llena con la resina en polvo; el precalentamiento puede ser de 325 hasta - 475<sup>OF</sup> (165 a 245<sup>OC</sup>).

2.- El molde se gira mientras se mueve de la posición vertical a la horizontal.

3.- El polvo en exceso se remueve y se repite el ci clo para dar el espesor de pared deseada.

4.- El producto se puede recalentar para mejorar la superficie interna de la parte.

5.- Este proceso es para productos de un extremo o extremo sencillo, sin embargo, productos de dos extremos con ambos cerrados pueden fabricarse mediante un moldeo de dos -- etapas.

Este proceso se adapta para el moldeo de piezas tubulares. Es comparativamente lento pero pueden aplicarse ---

técnicas de automatización para acelerar la producción.

#### Técnicas de proceso para polietileno en polvo

El polvo de polietileno se usa en una siempre creciente escaña en un gran número de aplicaciones de bajo costo, donde es imposible o inconveniente utilizar el polietileno común en forma de cubos o bolitas o pellets.

La tabla 10 enlista la técnica de proceso del polvo de polietileno más importante hoy en día.

La selección del polvo de resina de polietileno más adecuada para una aplicación específica depende primeramente de tres propiedades básicas de la resina, tamaño de la partícula, índice de fusión y densidad.

La tabla 11 indica que los polvos de polietileno de mayor índice de fusión son generalmente más apropiados para aplicaciones donde se requiere una rápida fusión tal como moldeo rotacional y la mayoría del trabajo de recubrimiento.

Otras técnicas de moldeo generalmente requieren polvos de menor índice de fusión los cuales son más viscosos en la etapa caliente de fusión y por lo tanto, tienen menos tendencia a combarse o pandearse.

Una rudeza máxima (fuerza de impacto y resistencia a la fragilidad a baja temperatura) del producto final resulta del uso de polvos de índice de fusión menores.

Los polvos de alta densidad dan productos finales de mayor rigidez. Para fuerza de impacto óptima y resistencia a la fragilidad a baja temperatura, debe escogerse un pol

vo de baja densidad. El punto de fusión y las propiedades de barrera del polvo micropulverizado aumentan cuando se aumenta la densidad (ver tabla 11).

Las técnicas de moldeo con polvos, en particular -- moldeo rotacional, se desarrolla ampliamente tal que en la -- producción de muchos artículos compite favorablemente con el moldeo por inyección, por soplado y el termoformado (termoformado es el proceso en el cual una hoja plástica reblandecida por el calor se fuerza contra un molde a temperatura controlada mediante presión, tomando la forma contorno del molde). -- En muchos casos, las piezas virtualmente imposibles de fabricar por cualquiera de estas técnicas pueden producirse mediante moldeo con polvos.

#### Selección del polvo de moldeo más adecuado

La selección técnica de moldeo con polvos más adecuada para un producto específico deberá hacerse solo luego de considerar los factores económicos y de producción. Algunos de estos factores son: el tipo de equipo disponible, el costo de equipo nuevo, las velocidades de producción, los costos de fabricación y en particular las ventajas inherentes a cada proceso.

#### B) EQUIPO

##### Maquinaria

Existen dos tipos generales de equipo rotacional, por lotes y el continuo, los cuales trataremos por separado.

Tipo Intermitente ó por Lotes (carga, colada o revoltura)

LAS MAS IMPORTANTES TECNICAS DE PROCESO PARA POLVO DE POLIETILENO

TECNICAS DE PROCESO	PROCESOS	EJEMPLOS
MOLDEADO	ROTACIONAL ENGEL HEISLER "ROCK AND ROLL"	GRANDES RECIPIENTES, CAJAS Y OTROS ARTICULOS HUECOS; TAMBOS Y OTROS TIPOS DE LINERS; JUGUETES LARGOS Y CHICOS, PELOTAS, MUÑECAS, EQUIPOS PARA DEPORTES; ESTUCHES PARA EQUIPOS MUSICALES, ESTUCHES PARA BOLAS DE BOLSICHE, ETC.
RECUBRIMIENTO DE TELAS	PARTE TRASERA DE ALFOMBRAS. RECUBRIMIENTOS TEXTILES.	RECUBRIMIENTOS Y MOLDEADO DE PARTE TRASERA DE ALFOMBRAS DE AUTOS, PARA CASAS, PARA OFICINAS, ETC. ENTRETELAS SELLADAS, TELAS LAMINADAS Y MOLDEADAS.
RECUBRIMIENTO DE METALES U OTROS ARTICULOS RIGIDOS	RECUBR. POR INUNDACION: POR REMOJO POR CAMA FLUIDIZADA. RECUBR. POR ASPERSION: POR FLAMA ROCIADA ELECTROSTATICO	RECUBRIMIENTO DE PARTES PEQUEÑAS  RECUBRIMIENTO DE OBJETOS METALICOS GRANDES; RECUBRIMIENTO POR CAPAS PARA RESISTENCIA A LA CORROSION.

Tabla 10

UN AUMENTO EN → AFECTA ESTAS PROPIEDADES	INDICE DE FUSION	DENSIDAD
PUNTO DE FUSION FLUJO	DISMINUYE AUMENTA	AUMENTA
FUERZA DE IMPACTO RESISTENCIA AL ROMPI- MIENTO A BAJA TEM- PERATURA	DISMINUYE	DISMINUYE
RIGIDEZ PROPIEDADES DE BARRERA	DISMINUYE	DISMINUYE AUMENTA AUMENTAN

COMO AFECTAN EN EL POLIETILENO MI-  
CRO-PULVERIZADO LOS AUMENTOS EN EL INDICE DE FUSION Y  
DENSIDAD A LAS PROPIEDADES DE PROCESAMIENTO Y FINALES  
DEL PRODUCTO.

TABLA 11

## SERIES DE TAMIZ ESTANDARD EN LOS ESTADOS UNIDOS

MALLA N° TAMIZ	TAMAÑO ABERTURA DEL TAMIZ		
	MICRONES	PULGADAS	MILIMETROS
10	2000	0.0787	2.00
16	1190	0.0469	1.19
20	840	0.0331	0.84
35	500	0.0179	0.50
50	297	0.0117	0.297
60	250	0.0098	0.250
80	177	0.0070	0.177
100	149	0.0059	0.149
200	74	0.0029	0.074

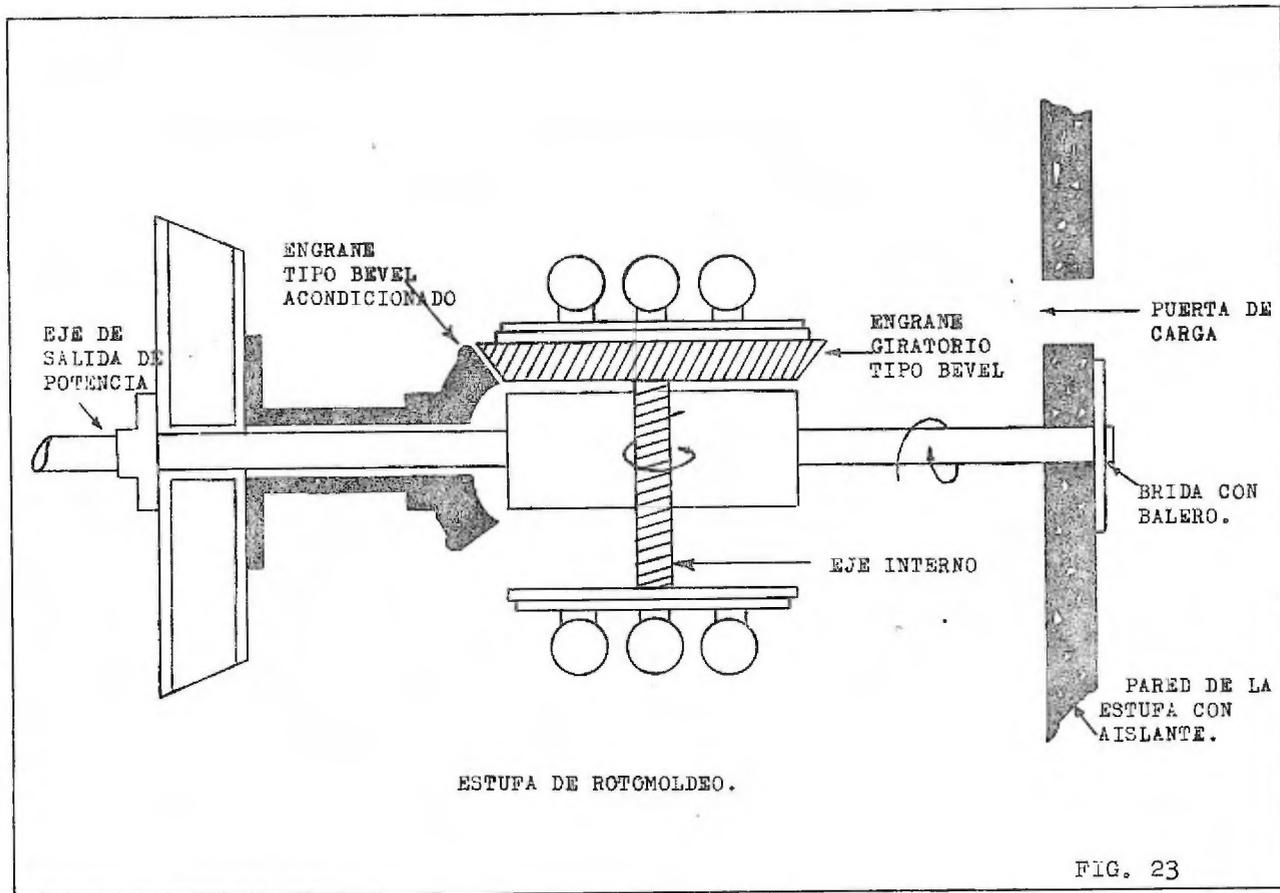
TABLA 9

En estas máquinas, el horno es el centro de operaciones. El mecanismo de rotación, en el cual se pueden acomodar dos estrellas con moldes, está permanentemente montado dentro del horno. Generalmente, los moldes se procesan en ramales cíclicos si se requiere un ciclo de calentamiento de 4 minutos, una estrella se reemplazará, por una estrella fresca cada dos minutos.

Los moldes se mueven manualmente del horno al enfriador, se descargan y llenan las estrellas desde una tabla con rodillos en la parte posterior.

El equipo utiliza sales fundidas para su calentamiento. Los moldes giran dentro del horno, se rocían con sales fundidas para fundir la resina.

La figura 23 es un diagrama esquemático de un horno rotofundidor (Rotocasting). La flecha mayor va horizontalmente desde la parte posterior hasta el frente del horno, ésta se maneja por un motor en la parte posterior de la máquina, que la hace girar en el plano mayor. Junto a la flecha mayor se encuentra un block sobre el cual va la flecha menor. En cada extremo de la flecha menor se localizan las plataformas de los moldes. El engranaje cónico rotacional que también está pegado a la flecha menor embona el engranaje cónico compuesto, el cual está montado como un collar alrededor de la flecha mayor. Conforme la flecha mayor gira, el engranaje cónico rotacional se pone a dar vueltas para que así active al engranaje cónico compuesto, este a su vez imparta una rota---



ción a la flecha menor.

La relación de velocidad de las flechas mayor/menor es usualmente  $4/1$ . Por el manejo del engranaje cónico con -- puesto, otras relaciones se pueden obtener.

La figura 28 nos muestra un acercamiento de una de las plataformas de moldes.

Una serie de rodillos en la parte de abajo en ambos lados de la plataforma de moldes sostienen los moldes. Una lámina en frente previene que los moldes caigan durante la rotación.

La figura 26 es una vista completa de una localización de una fundidora centrífuga. Después de salir del horno, los moldes se llevan a una estación de enfriamiento donde se enfrían ya sea por inmersión en agua o por rocío. De ahí se llevan a una estación de desmoldamiento, en donde se abren, - el producto se saca, se carga nuevamente con un compuesto moldeable y se cierra.

En una producción montada, deberá haber un círculo de tablas con rodillos. El operador está en el centro del -- círculo y moverá los moldes después de enfriados. Ya que los moldes están listos para el próximo ciclo, estos se llevan a la estación que está cerca de la puerta del horno. El costo de la labor unitaria está en proporción al número de moldes, - geometría material y ciclo. En una producción en donde los - moldes requieran de un ciclo de calentamiento de cinco minutos, una plataforma de moldes debe estar cargada y la rota --

ción así habrá de empezar. Al final de 2 1/2 minutos, la máquina se para automáticamente con la plataforma vacía en la posición hacia arriba (posterior). Un segundo molde se pone en la plataforma, la puerta se cierra y la rotación empieza de nuevo. Después de otros 2 1/2 minutos, la máquina se para con el primer molde en la posición hacia arriba. Este se lleva a enfriamiento y reemplaza por un tercer molde en la plataforma. Así, la máquina entregará una plataforma de moldes cada 2 1/2 minutos.

#### Máquina de moldeo rotacional de espiga simple

Probablemente la más elemental de las máquinas de moldeo rotacional es la unidad de un brazo. Se usan para propósitos de desarrollo y para producción de pequeñas corridas. En suma, los problemas de moldeo asociados con nuevos moldes pueden resolverse en unidades de un brazo. Una vez que los problemas se resuelven, los moldes pueden llevarse a una máquina de producción comercial. Los motores directores o de manejo y la araña de moldes de la máquina se montan en unos rieles, los cuales se usan para moverlos hacia adelante o hacia atrás desde la estufa a enfriamiento y a las estaciones de carga y descarga. Las aberturas de las cabinas de la estufa y enfriamiento deben estar totalmente abiertas. Esto permite que se continúe la rotación del molde cuando la araña se mueve de la estufa a la cabina de enfriamiento.

Generalmente, se usan orificios para agua rociada y niebla de agua en la cabina de enfriamiento.

La otra máquina de espiga simple opera con el mismo ciclo. Sin embargo, la araña y los motores de manejo -- están montados en un aparato semejante a un péndulo oscilante. Esta máquina es una de las primeras unidades de espiga simple que se diseñaron para propósitos comerciales. Se usan para moldear rotacionalmente pequeños artículos de plásticos vinílicos. Con modificaciones menores, se usan ahora para moldear polietileno en polvo.

#### Máquina de moldeo de transferencia de calor de sal líquida

Un método único de calentamiento de una unidad de moldeo rotacional comercial lo tenemos en la máquina típica de transferencia de calor con solución de sal. Los moldes se llenan con polvo y se montan en la espiga rotatoria en la cámara de calentamiento. Una vez que la rotación empezó, la solución líquida de sal de transferencia de calor se rocía sobre los moldes. Este "dúchazo" pesado de sal fundida, funde al polietileno en polvo. Los moldes se llevan entonces a la estación de enfriamiento donde se usa rocío de agua --- para enfriar la parte moldeada. La pequeña cantidad de solución de sal que moja la superficie interna del molde se limpia durante los primeros segundos de enfriamiento.

El agua de enfriamiento usada durante este período se colecta en el tanque almacenador de solución de calentamiento y se reusa. La estación de enfriamiento está también equipada con una espiga rotatoria. Mientras un juego de moldes se enfría, otro puede meterse a la cámara de calentamiento.

to, las partes estan listas para sacarse y los moldes se vuelven a llenar. De igual manera que otras muchas máquinas de moldeo rotacional, en la máquina de transferencia de calor de sal líquida, se usan controles de tiempo de ciclos.

#### Máquina de producción de tres espigas

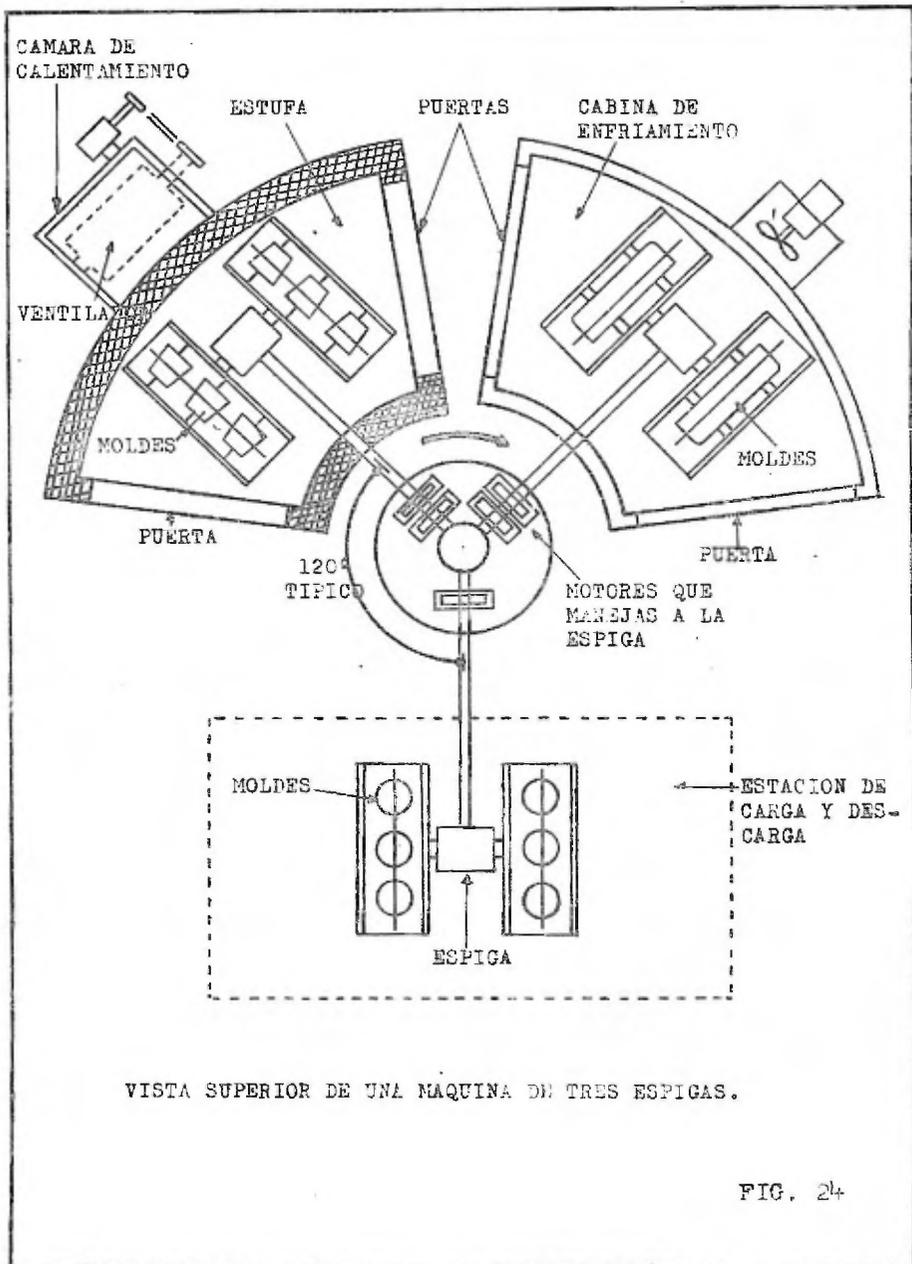
La unidad de producción de tres espigas (figura 24) esta equipada de un ciclo de tres posiciones, una posición -- para carga y descarga, una para calentamiento y una para enfriamiento. Ambos juegos de moldes de la primera espiga se llenan y afirman juntos. Con la estufa a la temperatura de -- operación deseada las espigas se giran en dirección de las -- manecillas del reloj una posición.

Esto trae el primer juego de moldes llenos hacia la estufa. Cada vez que este paso se repite, un juego diferente de moldes se llena para fundirse.

Después del tiempo necesario en la estufa la espiga caliente se mueve hacia la estación de enfriamiento.

Además del enfriamiento de agua rociada y niebla de agua, la estación de enfriamiento esta equipada con un ventilador para enfriar con aire la parte, mientras que gira la espiga dentro de la estación de enfriamiento.

La siguiente espiga caliente sacada de la estufa -- automáticamente trae a la espiga fría a la estación de carga y descarga. Las partes moldeadas se remueven y los moldes se preparan para otro ciclo. Cada espiga se controla individualmente, ésto permite separar la selección de velocidades y ---



VISTA SUPERIOR DE UNA MAQUINA DE TRES ESPIGAS.

FIG. 24

tiempos de calentamiento para cada espiga, por lo tanto, los productos que requirieren diferentes condiciones de moldeo pueden hacerse en brazos separados durante un ciclo completo.

Aunque esta máquina esta equipada con varios aspectos automáticos, el ciclo puede interrumpirse en cualquier instante y operarse manualmente.

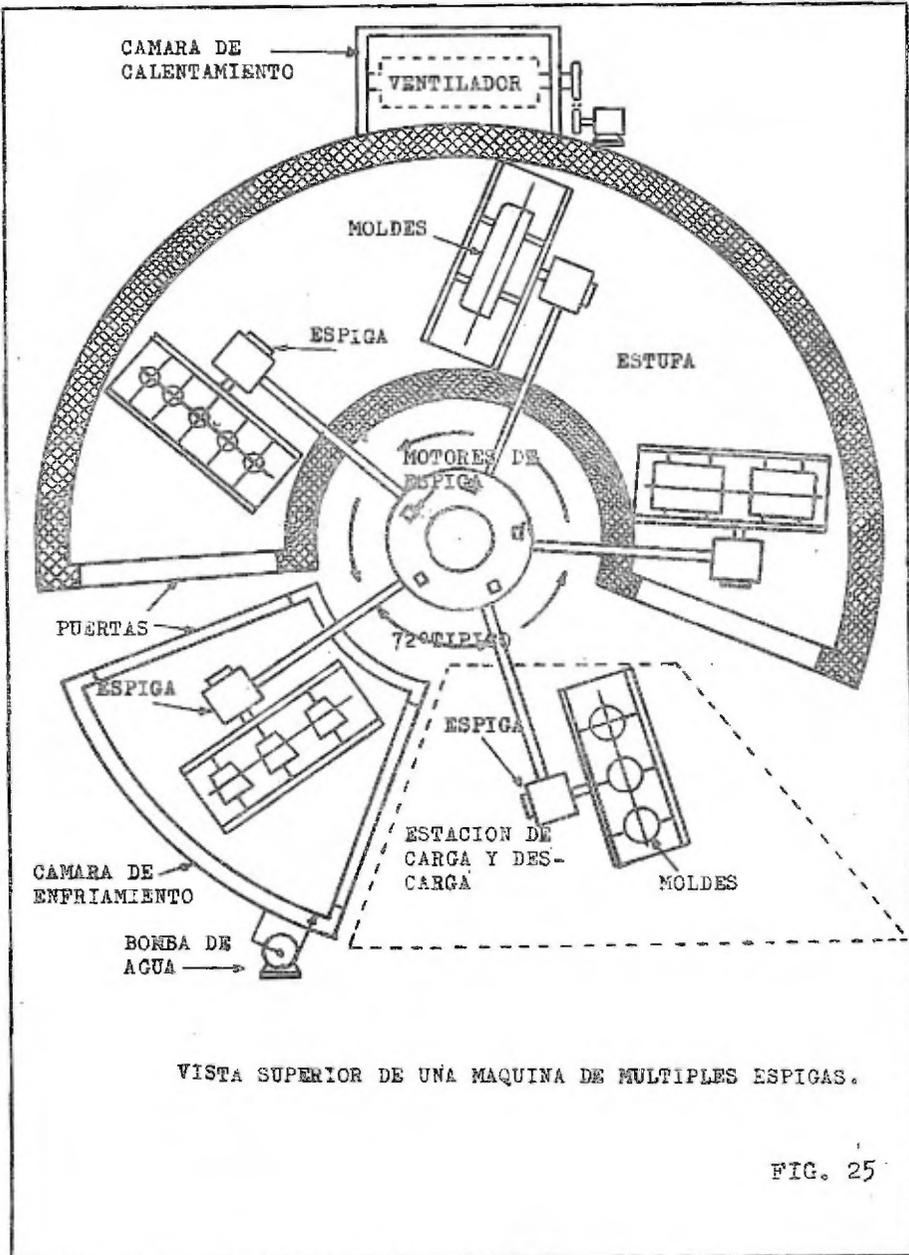
#### Máquina de producción de cinco espigas

La unidad de producción de cinco espigas (figura -- 25) es otro diseño entre los tipos de multiples espigas de máquinas de moldeo rotacional. El primer juego de moldes se llena con polietileno en polvo y se mueve en sentido contrario a las manecillas del reloj hacia la estufa.

Cada una de las cinco espigas se fija a un centro común y giran conjuntamente. Este movimiento es continuo una vez que la máquina está en operación. Tan pronto cada espiga pasa por la estación de carga, se llena con polvo. Los ejes mayor y menor de rotación comienzan a girar una vez que la espiga esta en la estufa. Una vez completo el paso de la fusión en la estufa, las espigas entran a la etapa de enfriamiento donde se usa rocío de agua recirculada para enfriar los moldes.

Se abren y las partes se sacan. Los moldes se llenan de nuevo con polvo para otro viaje a través del ciclo completo.

La velocidad de rotación de cada espiga se controla independientemente. Esta máquina se diseñó para plásticosoles-



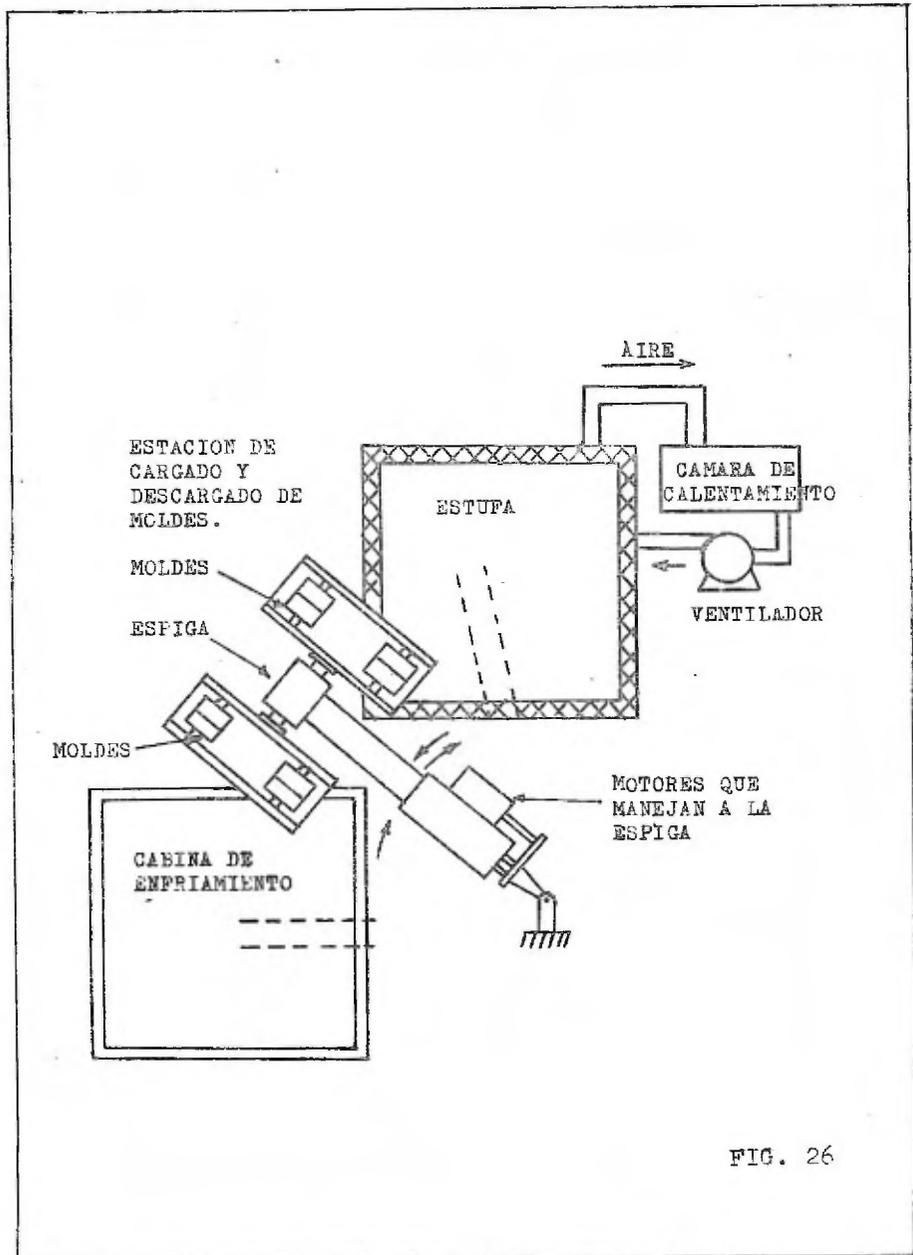


FIG. 26

vinílicos y ahora se usa para moldear polvo de polietileno.

El diseño puede también acomodar seis espigas, y de igual forma que otras máquinas de producción esta máquina se aproxima grandemente a una operación continua.

En una máquina comercial las tres fases de la operación de moldeo ocurren simultáneamente. Estas fases son:-

1.- Fusión de la resina.

2.- Enfriamiento de las partes moldeadas totalmente fundidas.

3.- Carga y descarga de los moldes.

Se aplica calor a los moldes en la estufa por medio de tres diferentes técnicas:

1.- Convección forzada de aire caliente.

2.- Rocío de líquido caliente (sal fundida).

3.- Calor radiante.

El calor se transfiere hacia el medio de calentamiento aire o líquido mediante calentadores eléctricos o flama de gas natural. Una parte de la máquina dirige una flama abierta de gas contra la superficie de molde mientras el molde gira alrededor de un eje y se mueve en otro eje.

El enfriamiento se acompaña generalmente por un rocío de agua por fuera de los moldes. Algunas veces se usa enfriamiento con aire seguido de agua rociada. Algunos equipos tienen la habilidad de enfriar con rocío de líquido por dentro de la cavidad del artículo moldeado, como por la parte de afuera del molde.

TIEMPO EN LA ESTUFA CONTRA ESPESOR DE PARED PARA UN RANGO DE DENSIDADES DE POLIETILENO.  
CONDICIONES: AIRE CALIENTE CIRCULADO 650°F.

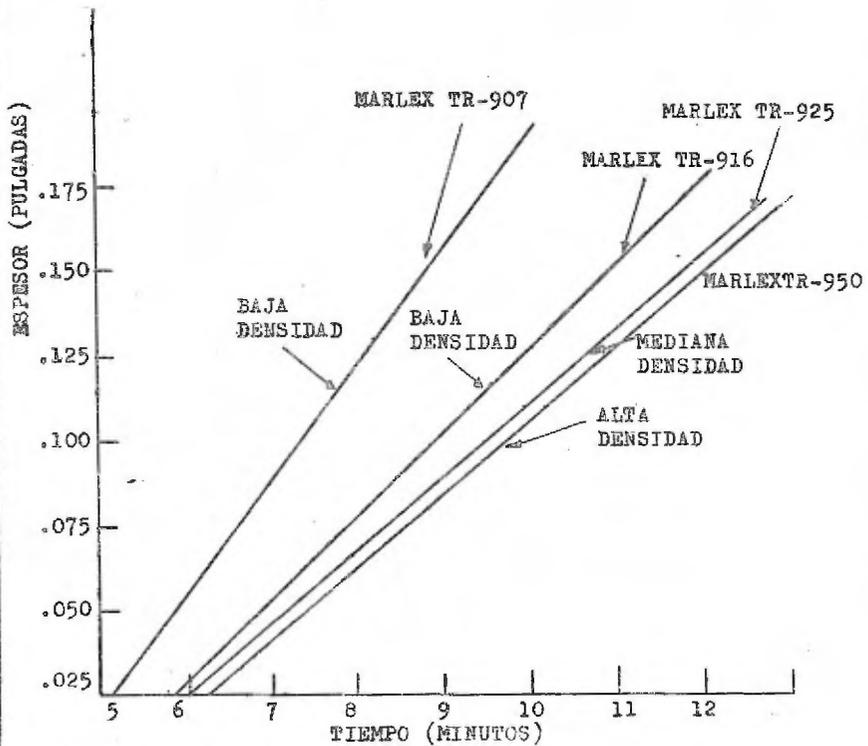
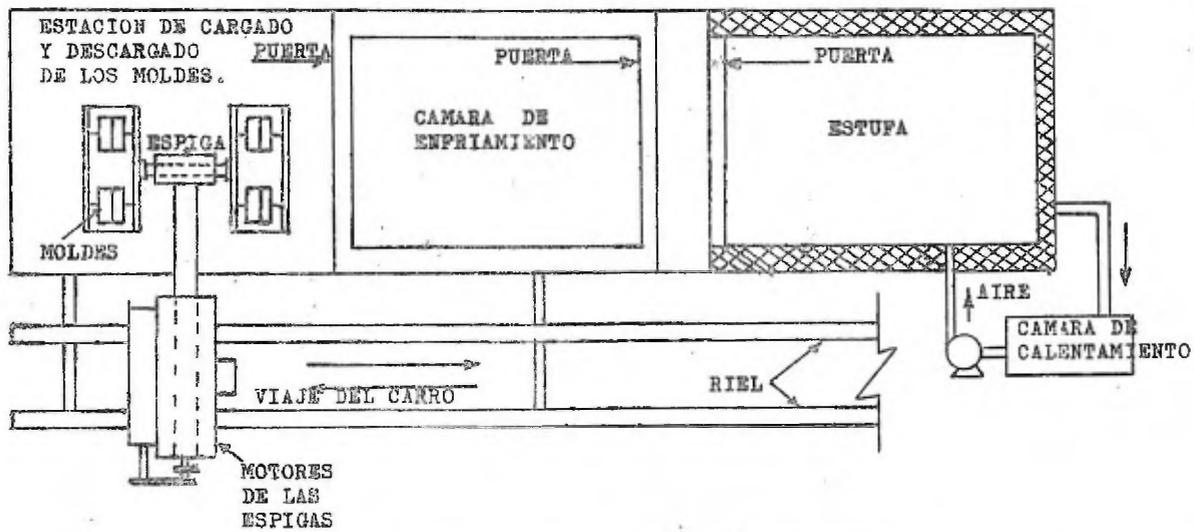
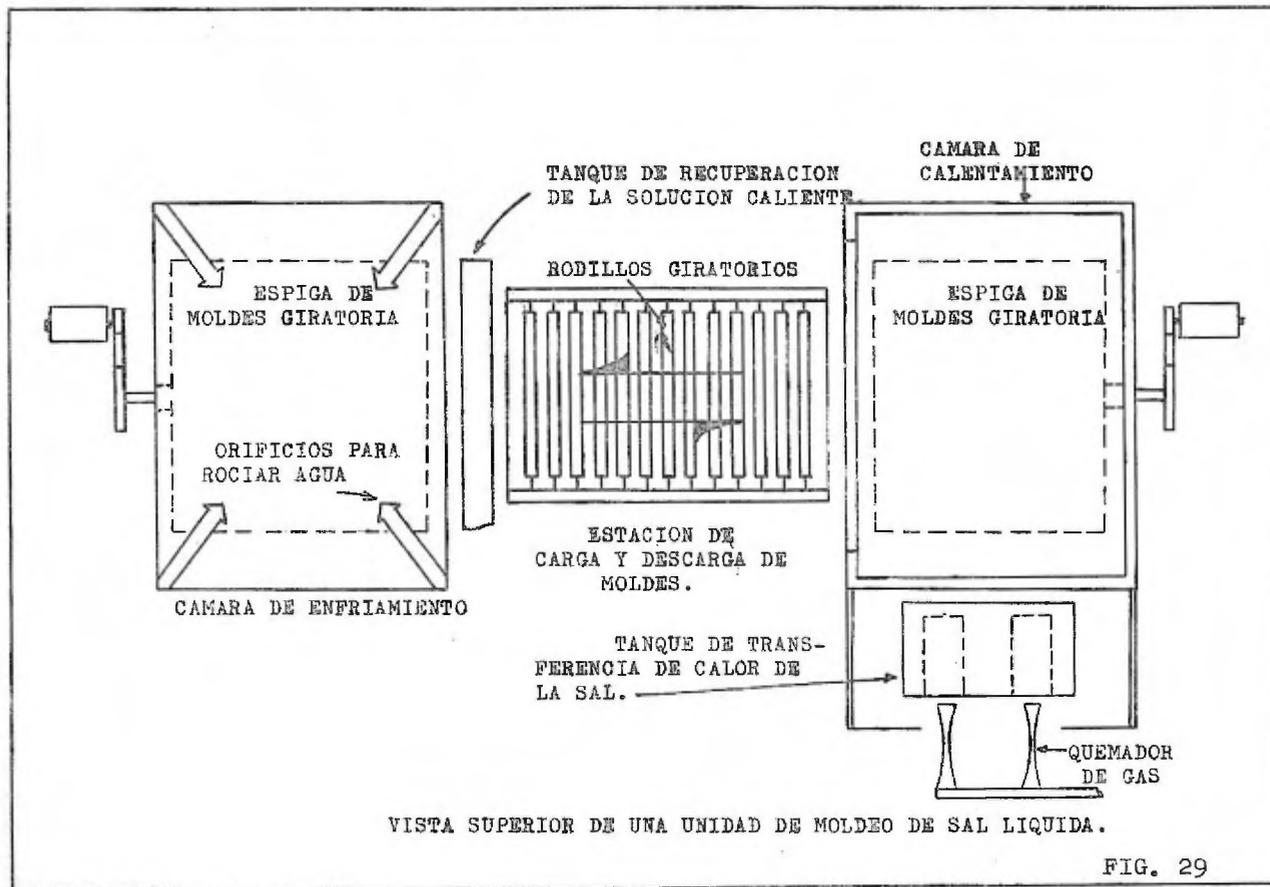


FIG. 27



MAQUINA DE MOLDEO ROTACIONAL DE ESPIGA SIMPLE

FIG. 28



La rotación de los moldes alrededor de dos ejes se efectúa en varias maneras. El rango de número de revoluciones del eje mayor al eje menor es una variable importante. - Algunas máquinas tienen la facilidad de cambiar este rango - en un amplio margen mientras que otras están limitadas a unos pocos rangos estándares.

Se dispone de maquinaria para producir varios tamaños de moldes. Algunos de los equipos grandes manejan moldes del tamaño de cubos de 3 metros (10 ft). La posibilidad de una máquina para procesar moldes cilíndricos de 4.5 metros (15 ft) de diámetro y 7.5 metros (25 ft) de largo se estudió. Generalmente, sin embargo, las máquinas procesan múltiples moldes por brazo.

Existen dos tipos básicos de brazos:

1.- El brazo balanceado al centro, el cual se usa generalmente para múltiples procesos de pequeños moldeos.

2.- El brazo "off set" el cual se usa generalmente para procesos de un molde grande simple. El brazo "off set" libera más espacio en la estufa para el contenido del molde.

#### C) VARIABLES DE PROCESO

##### Velocidad de producción

El promedio de velocidad de producción disponible en la maquinaria comercial depende de la operación más larga del proceso. La operación más larga es generalmente el "ciclo de residencia en la estufa" (período de tiempo en el cual un brazo permanece en la cabina de la estufa). Por lo --

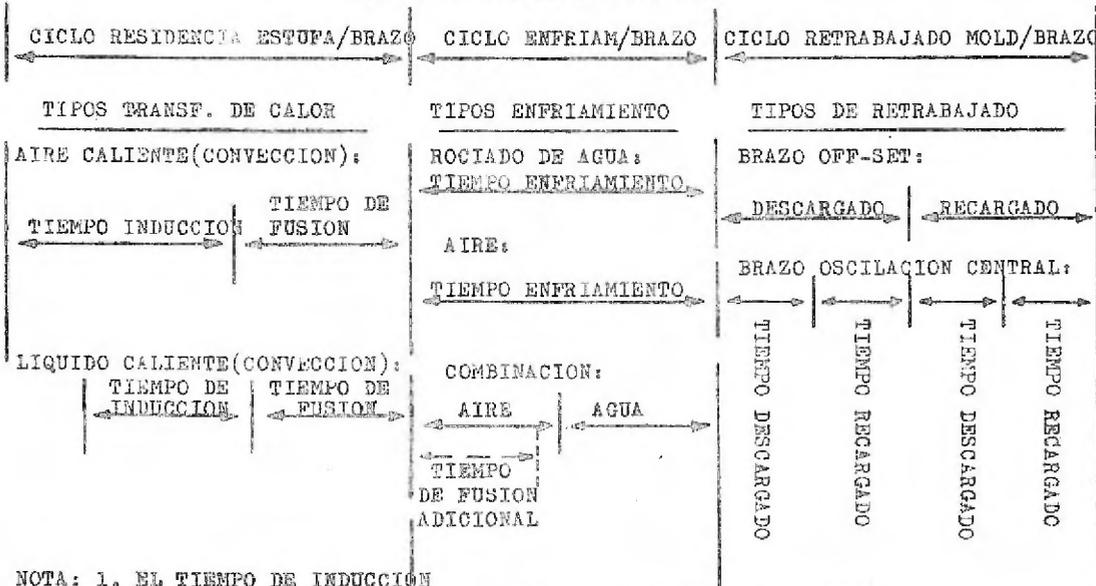
tanto la velocidad de producción promedio es el número de -- moldes por brazo, dividido por el ciclo de residencia en la estufa.

Velocidades de producción mayores pueden obtenerse con una máquina de cuatro brazos, si la operación más larga es al menos dos veces más larga que las otras operaciones. - Por ejemplo; si el ciclo de residencia en la estufa es dos veces el ciclo de enfriamiento, uno podrá tener dos brazos - en la estufa mientras que otro está en la cámara de enfriamiento y el cuarto brazo esta en la estación de llenado de los moldes. Básicamente, los brazos deberán residir en la estufa primero en un extremo y más tarde en el otro extremo. Todo esto supone que el ciclo de llenado de los moldes no es más largo que el ciclo de enfriamiento.

La figura 30 define las tres operaciones. Otro -- ejemplo se muestra en la figura 31 donde el ciclo de enfriamiento es aproximadamente una tercera parte del ciclo de residencia en la estufa y el ciclo de llenado de los moldes no es más largo que el ciclo de enfriamiento. Esta combinación de tiempos de ciclos se maneja mejor con una máquina de cinco brazos.

La utilidad de máquinas con más de tres brazos --- puede declinar, ya que las máquinas de aire son menores en el ciclo de residencia en la estufa debido a una mejor transferencia de calor, las máquinas de sal fundidas ya dan ciclos de residencia en la estufa menores, y las técnicas comunes y

CICLOS DE MOLDEO ROTACIONAL:



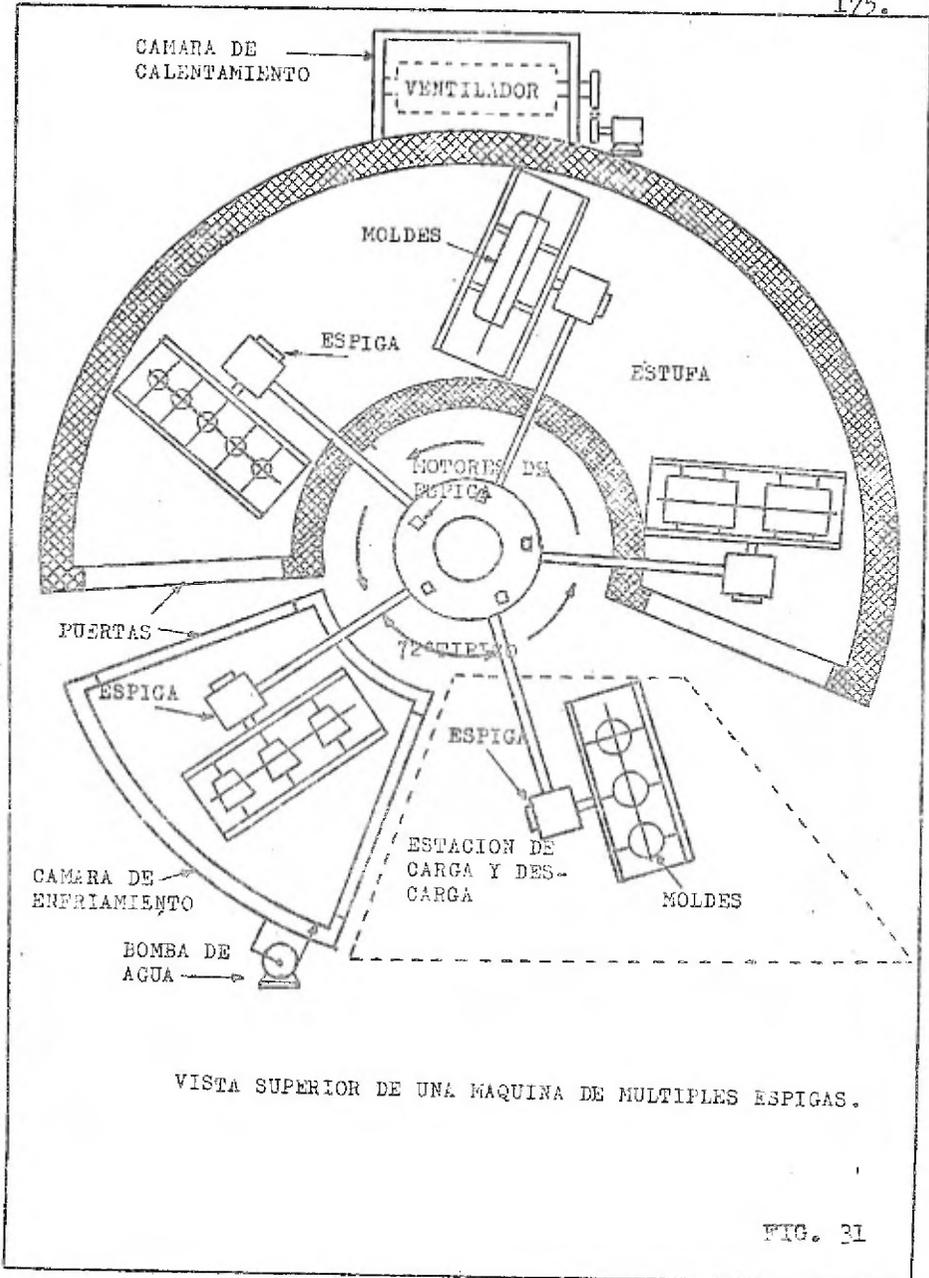
NOTA: 1. EL TIEMPO DE INDUCCION ES PRIMERAMENTE CONTROLADO POR EL MEDIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

2. EL TIEMPO DE FUSION ES PRIMERAMENTE CONTROLADO POR EL ESPESOR DE PARED DESEADO.

NOTA: 1. A MENUDO SE REQUIERE ENFRIAMIENTO PARCIAL O TOTAL CON AIRE PARA RESINAS ALTAMENTE CRISTALINAS.

2. TAMBIEN PUEDE USARSE ENFRIAMIENTO CON ROCIADO DE AGUA INTERNO.

FIG. 30



VISTA SUPERIOR DE UNA MAQUINA DE MULTIPLES ESPIGAS.

corrientes para el llenado de moldes no son adecuadas para ciclos verdaderamente rápidos.

Además, las resinas de alta cristalinidad requieren tiempos de enfriamientos menores.

La utilidad de tres o más brazos debe investigarse aún, si se va a comprar una máquina para un trabajo particular de gran extensión.

#### Ciclo de residencia en la estufa

El moldeo rotacional es un proceso de transferencia de calor a régimen no permanente.

El total del tiempo empleado en la estufa para la fusión total de la resina es el ciclo de residencia en la estufa.

La temperatura del molde durante el ciclo de residencia en la estufa aumenta continuamente. La temperatura en cualquier punto particular en la resina fundida o en la resina en polvo sin fundir aumenta también continuamente. Un moldeo con éxito depende de conocer el tiempo apropiado para sacar los moldes de la estufa y enfriarlos, no de mantener la temperatura de fusión constante. La expresión de transferencia de calor de este tipo, requiere ecuaciones diferenciales y una computadora para resolverlas.

Debido a que todas las variables están interrelacionadas y tienen efectos significativos uno a otro, la solución del ciclo adecuado es difícil.

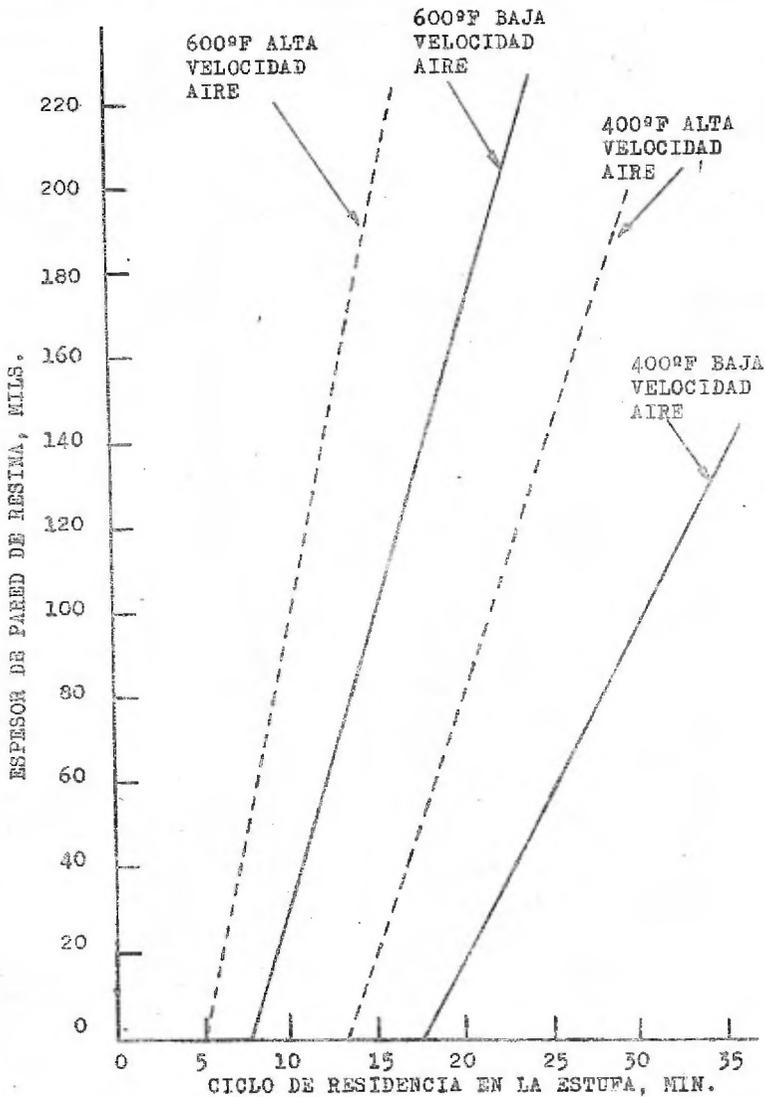
Un proceso no permanente es considerablemente más ver

sátil por su naturaleza que un proceso a régimen permanente.- Esta versatilidad tiene un precio en la determinación de la técnica adecuada de moldeo para moldes específicos, es por iteraciones (ensayo y error). La recompensa es que se pueden obtener resultados únicos.

El ciclo de residencia en la estufa puede dividirse en dos partes. La primera parte, tiempo de inducción, es el tiempo requerido por el molde para alcanzar la temperatura de fusión de la resina (aproximadamente 250°F para polietileno de alta densidad). La segunda parte, tiempo de fusión, es el tiempo después de la inducción para que la resina se funda totalmente. El tiempo de fusión generalmente se traslapa o sobrepone en el ciclo de enfriamiento cuando solo se usa enfriamiento externo. El traslape de tiempo de fusión en el ciclo de enfriamiento es significativo cuando se usa enfriamiento con aire. Vea figura 30.

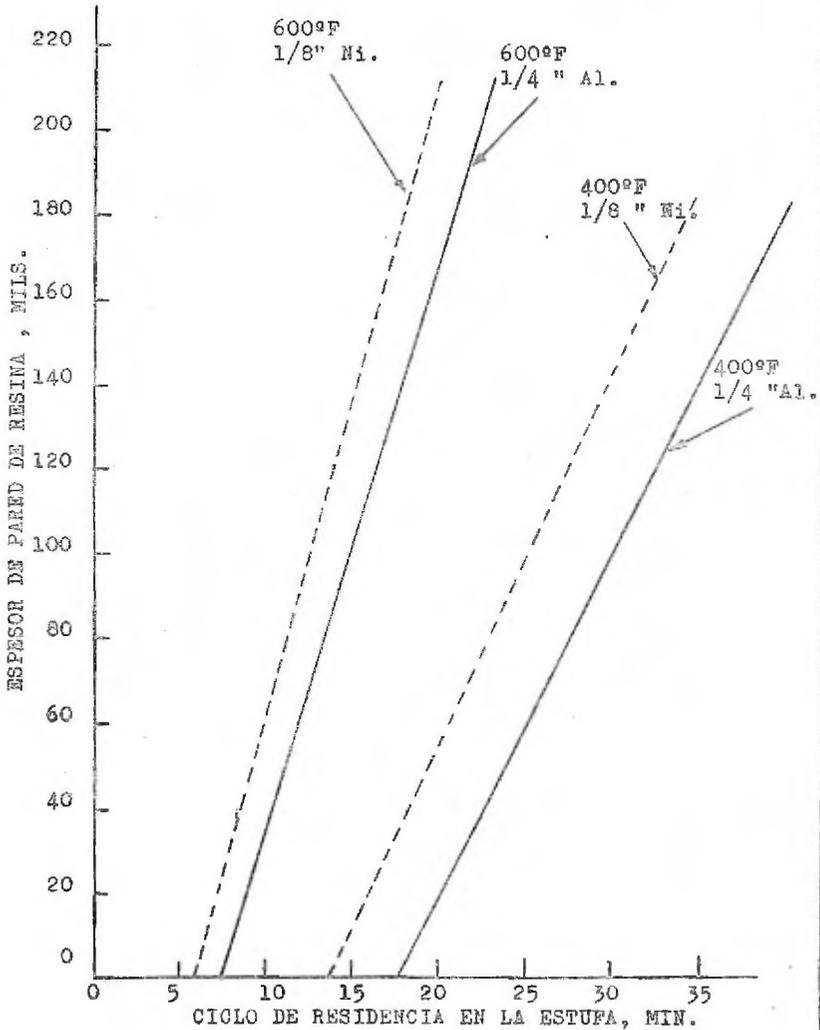
Los resultados presentados en las discusiones siguientes y en las figuras 32, 33 y 34 de tiempo de inducción y tiempo de fusión se basa en resultados obtenidos usando resina de polietileno de alta densidad en equipo de laboratorio.- Presentamos estos resultados para mostrar los efectos de estas variables. Aunque estos resultados exactos no serán directamente aplicados a otras máquinas y resinas, creemos que estas comparaciones pueden ser útiles para obtener lo máximo de un equipo.

El tiempo de inducción es dependiente de varias va-



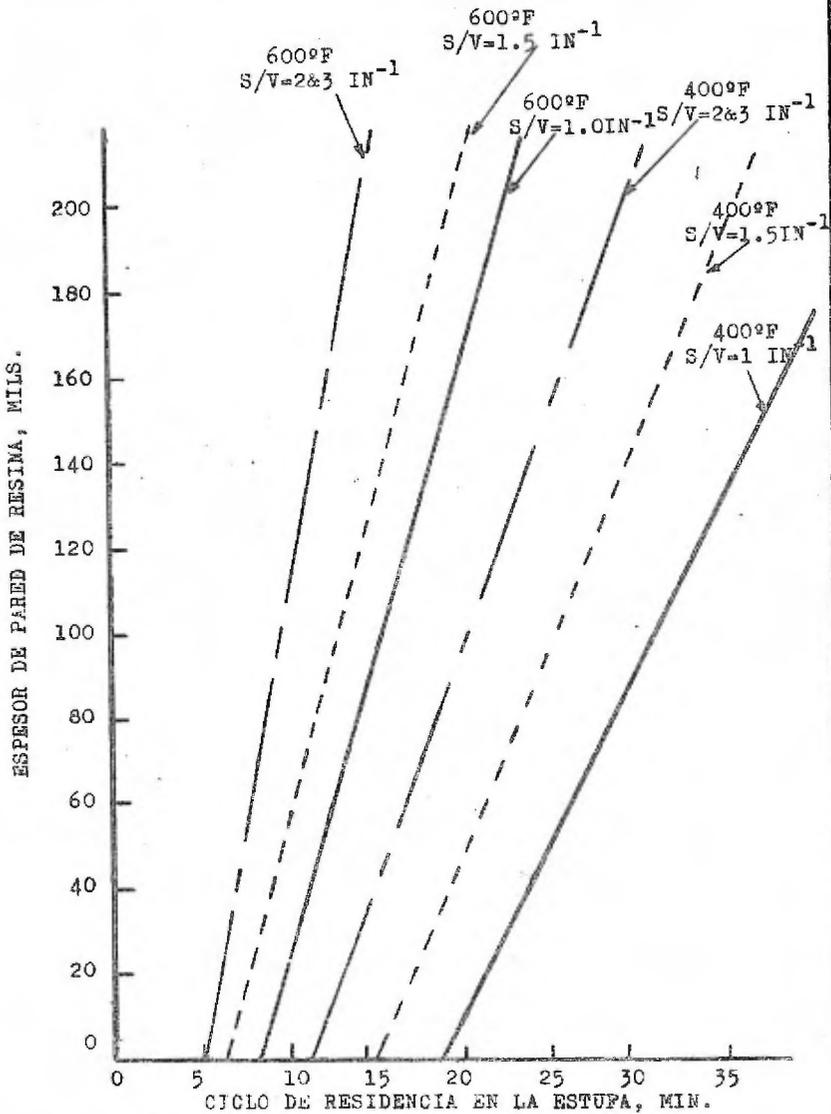
EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE LA ESTUFA Y VELOCIDAD DE CIRCULACION DE AIRE EN CICLO DE RESIDENCIA EN LA ESTUFA CONTRA ESPESOR DE PARED DE RESINA.

(BASADO EN LA RESINA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD) FIG. 32



EFFECTO DE LA CAPACIDAD CALORIFICA DEL MOLDE Y TEMPERATURA DE LA ESTUFA EN CICLO DE RESIDENCIA EN LA ESTUFA CONTRA ESPESOR DE PARED DE RESINA.

(BASADO EN LA RESINA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD) FIG 33



EFFECTO DE SUPERFICIE DE MOLDE A RELACION DE VOLEMEN Y A TEMPERATURA DE ESTUFA EN CICLO DE RESIDENCIA EN LA ESTUFA CONTRA ESPESOR DE PARED DE RESINA.

(BASADO EN LA RESINA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD) FIG. 34

riables. Vea tabla 12 partes A, B, C y D.

A)- Variables primarias:

- 1.- Medio de transferencia de calor- líquido vs -- aire.
- 2.- Temperatura de la estufa.
- 3.- Temperatura de derretimiento o fusión de la es tufa.

B)- Variables secundarias:

- 1.- Velocidad del medio de calentamiento sobre la superficie del molde.
- 2.- Relación de superficie del molde a volumen.
- 3.- Capacidad calórica del molde por unidad de-- área.

C)- Variables menores:

- 1.- Peso de la resina en el molde.
- 2.- Tamaño de partícula.

Las consideraciones clásicas de transferencia de-- calor dicen que el calentamiento de líquido a sólido por con vección es una técnica considerablemente más rápida que la -- convección de gas a líquido.

La tabla 12 parte A, muestra el rango normal de los coeficientes de transferencia de calor para los dos tipos de calentamiento. Asegurando que todas las variables se fija-- ron para el mismo valor en una máquina de sal fundida y en -- una máquina de aire caliente forzado, la relación de tiempo-

de inducción (aire a sal), caerá en un rango de 25:1 (para el mejor calentamiento de sal vs. el peor calentamiento de aire-caliente 0 a 33:1 (para el mejor calentamiento con aire vs. - el peor calentamiento con sal.).

Uno además espera ver situaciones en las cuales dos máquinas diferentes de calentamiento con sal tengan rangos -- de tiempo de inducción tan grandes como 25:1 con todos los -- controles fijos en el mismo valor. Esto es una función de -- la velocidad de la sal sobre la superficie del molde. Esto -- también puede ocurrir en un grupo de moldes sobre una araña.

Los rangos del tiempo de inducción hasta 3:1 pueden encontrarse entre máquinas de aire caliente forzado con -- todas las variables fijas en los mismo valores. porque la ve-- locidad del aire no se controla en un modelo de máquina estandar hoy en día.

Duplicando la velocidad del aire en una máquina de laboratorio, se puede disminuir el tiempo de inducción por -- 24% a 400°F y por 37% a 600°F. Ver tabla 12 parte B y figura 32.

Si el efecto de la temperatura y la velocidad de -- circulación del aire se examina, resultaran aún mayores diferencias . 'Aire a gran velocidad a 600°F, dá un tiempo de inducción el cual es unicamente 27% del tiempo de inducción a -- 400°F con aire a baja velocidad. Esto representa un rango de tiempo de inducción de 3.6:1.

El uso de moldes de níquel de 1/8 de pulgada (0.3cm) de espesor se comparó con moldes de aluminio de 1/4 de pulga-

da (0.6 cm) de espesor. El molde de níquel tuvo un tiempo de inducción el cual fue de 75% y 85 % al del aluminio a 400°F y 600°F, respectivamente. Vea tabla 12 parte C y figura 33.

La relación de superficie del molde al volumen es una variable que generalmente se pasa por alto. El rango que investigamos parece ser la región de su mayor efecto. La relación de superficie a volumen fue de 1/1 a 3/1 pulgadas<sup>-1</sup>. No encontramos efecto apreciable entre 2/1 a 3/1 pulg.<sup>-1</sup>. Una mayor temperatura amortigua un poco el efecto. Vea tabla 12 parte D y figura 34.

La mayoría de los moldes grandes que se usan en rotomoldeo tiene una relación de superficie a volumen en el rango de 0.8 a 0.4 pulg.<sup>-1</sup>. Se van a hacer estudios para ver que tan grandes son los tiempos de inducción a estas bajas relaciones.

El tiempo de inducción se extiende considerablemente cuando se usa una resina de muy alta temperatura de fusión. Vea figura 35. La resina acetal 500 delrin a temperatura de estufa de 500°F, tiene un tiempo de inducción de 22 minutos vs. 10 minutos para resina de polietileno de alta densidad bajo las mismas condiciones. Una transferencia de calor mejorada reduce el tiempo de inducción más para resinas de alta temperatura de fusión que para resinas de baja temperatura de fusión. La figura 35 es una representación gráfica de lo que sucede. El tiempo de inducción bajo las mismas con

EFEECTO DE LAS VARIABLES EN EL TIEMPO DE INDUCCION

(BASADO EN LA RESINA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD)

PARTE A: MEDIO DE CALENTAMIENTO

<u>MEDIO DE CALENTAMIENTO</u>	<u>RANGO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR</u>	<u>RAPIDEZ MAX/MIN TIEMPO INDUCCION</u>	
	<u>BTU/HR FT<sup>2</sup> °F</u>	<u>MISMO MEDIO DE CALENTAMIENTO</u>	<u>AIRE-SAL</u>
ROCIO DE SAL FUNDIDA	40-100	2.5:1	-----
AIRE CALIENTE FORZADO	4-12	3:1	25:1-3.3:1

PARTE B: VELOCIDAD DEL MEDIO DE CALENTAMIENTO Y TEMPERATURA

<u>VELOCIDAD DE CIRCULACION AIRE</u>	<u>TEM. ESTUFA °F</u>	<u>TIEMPO INDUCCION MIN.</u>	<u>RAPIDEZ MAX/MIN TIEMPO INDUCCION</u>	
			<u>VELOCIDAD (BAJA/ALTA)</u>	<u>TEMP. (400/600)</u>
ALTA (DOBLE DE BAJA)	400	13-3/4	-----	2.3:1 BAJA VEL.
BAJA	400	18-1/4	1.3:1 400°F	2.8:1 ALTA VEL.
ALTA (DOBLE DE BAJA)	600	5	-----	-----
BAJA	600	8	1.6:1 600°F	-----

Tabla 12

CONTINUACION:

PARTE G: CAPACIDAD CALORIFICA DEL MOLDE POR UNIDAD DE AREA

<u>CAPACIDAD CALORIFICA DEL MOLDE</u> BTU/ °F FT <sup>2</sup>	<u>TIPO DE MOLDE</u>	<u>TEMP. DE ESTUFA, °F</u>	<u>TIEMPO DE INDUCCION, MIN.</u>	<u>RAPIDEZ MAX/MIN DE TIEMPO DE INDUCCION Al/Ni.</u>
0.787	1/4 " Al.	400	18-1/4	1.3:1 400°F
0.655	1/8 " Ni.	400	13-3/4	-----
0.787	1/4 " Al.	600	8	1.2:1 600°F
0.655	1/8 " Ni.	600	6-3/4	-----

PARTE D: RELACION DE SUPERFICIE DEL MOLDE A VOLUMEN

<u>RELACION DE SUPERFICIE DEL MOLDE A VOLUMEN</u> IN <sup>-1</sup> .	<u>TEMP. DE ESTUFA, °F</u>	<u>TIEMPO DE INDUCCION, MIN.</u>	<u>RAPIDEZ MAX/MIN DE TIEMP. DE INDUCCION</u>	
			<u>1:1 A 3:1</u>	<u>1:5 A 3:1</u>
1:1	400	18-1/4	1.6:1 400°F	-----
1.5:1	400	15	-----	1.3:1 400°F
2 & 3:1	400	11-1/4	-----	-----
1:1	600	8	1.5:1 600°F	-----
1.5:1	600	6-3/4	-----	1.2:1 600°F
2 & 3:1	600	5-1/2	-----	-----

Tabla 12

TIEMPO CONTRA TEMPERATURA DEL MOLDE  
 CON PARAMETROS DE VELOCIDAD DEL AIRE.

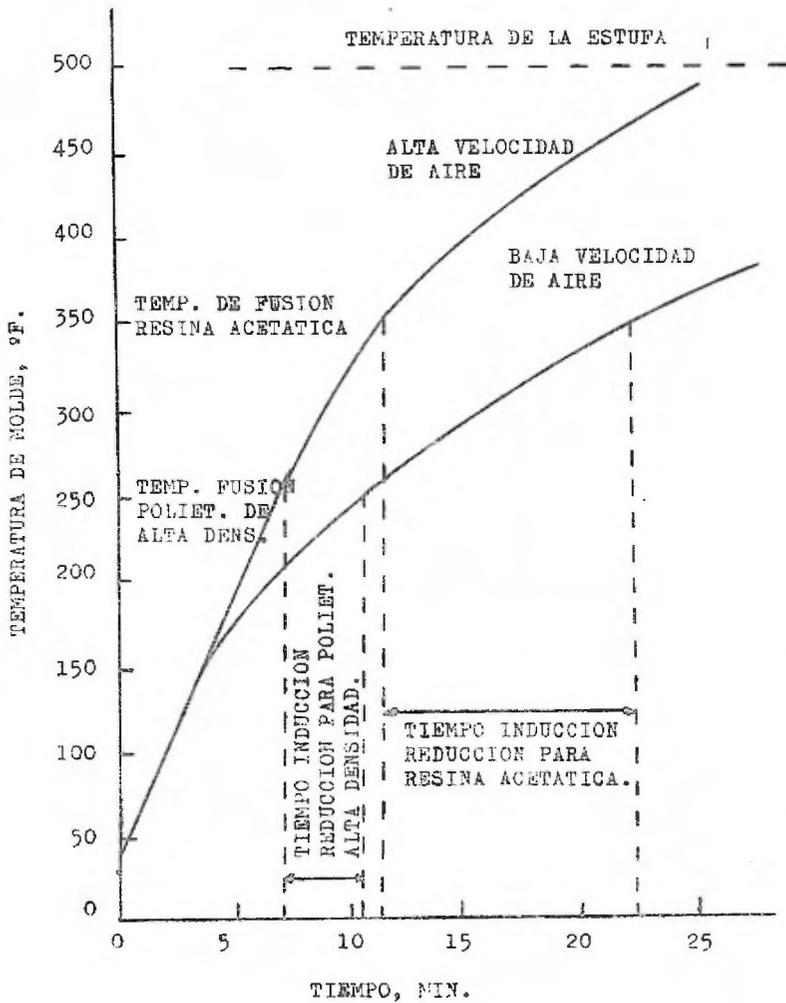


FIG. 25

diciones para resinas de polietileno de alta densidad se redujo por 34% para resinas de polietileno de alta densidad y 50% para delrin cuando se incrementó la velocidad del aire. La resina de polietileno de alta densidad funde a 250°F y el Delrin funde a 350°F.

Tiempo de fusión: el tiempo después del de inducción, para fundir la resina.

El tiempo de fusión lo afectan muchas variables. Estas variables se han agrupado en orden de importancia. Los resultados se muestran en la tabla 13, parte A, B y C y D y en las figuras 32, 33 y 34.

A)- Variables primarias

- 1.- Espesor de pared del molde.
- 2.- Temperatura de la estufa.

B)- Variables secundarias

- 1.- Velocidad del medio de calentamiento sobre la superficie del molde.
- 2.- Medio de transferencia de calor- líquido vs. aire.
- 3.- Relación de superficie del molde a volumen.
- 4.- Temperatura de fusión de la resina.

C)- Variables menores

- 1.- Capacidad calorífica del molde por unidad de area.
- 2.- Tamaño de partícula.

El tiempo de fusión real es directamente dependiente del espesor de pared deseado. Si todas las cosas son iguales, si se dobla el espesor de pared, los tiempos de fusión -- se doblarán.

La temperatura de la estufa tiene un efecto considerable como se señaló en la tabla 13, parte B y C. (La temperatura es la fuerza impulsora para la transferencia del calor).-- La velocidad de fusión puede incrementarse tanto como 100% aumentando la temperatura de la estufa a 600°F. Vea la tabla-- 13, parte C, 600°F vs. 400°F).

La pared de la resina fundida que se forma durante el tiempo de fusión, rápidamente se convierte en la resistencia que controla la transferencia de calor. Una vez que esta pared de polímero empieza a crecer, la diferencia entre el medio de calentamiento (líquido vs. aire) se convierte en una mínima parte de la resistencia a la transferencia de calor.

En la tabla 13, parte A, acumulamos muchos datos publicados, los cuales comparan los medio de calentamiento de líquido a aire. Durante el tiempo de fusión, estos datos no muestran diferencia significativa de la velocidad de fusión en medios de calentamiento de aire y sal.

La velocidad del medio de calentamiento sobre la superficie del molde tiene un efecto de orden secundario en el tiempo de fusión. Este efecto controla en menor escala cuando se eleva la temperatura del medio de calentamiento porque la fuerza impulsora de la temperatura (variable primaria) se-

EFEECTO DE LAS VARIABLES EN EL TIEMPO DE FUSION  
(BASADO EN LA RESINA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD)

PARTE A: MEDIO DE CALENTAMIENTO

<u>MEDIO DE CALENTAMIENTO</u>	<u>VELOCIDAD DE FUSION, MILS/MIN.</u>
ROCIO DE SAL FUNDIDA	18
AIRE CALIENTE FORZADO	19

PARTE B: VELOCIDAD DEL MEDIO DE CALENTAMIENTO Y TEMPERATURA

<u>VELOCIDAD DE CIRCULACION AIRE</u>	<u>TEMP. DE ESTUFA, °F</u>	<u>VELOC. DE FUSION MILS/MIN.</u>	<u>PORCENTAJE VELOCIDAD AUMENTADA</u>		
			<u>ALTA VS. BAJA</u>	<u>600 VS. 400</u>	
ALTA(DOUBLE DE BAJA)	400	12.2	56%	400°F	-----
BAJA	400	7.8	-----	-----	-----
ALTA(DOUBLE DE BAJA)	600	20	33%	600°F	64% ALTA VELOC.
BAJA	600	15	-----	-----	92% BAJA VELOC.

Tabla 13

CONTINUACION:

PARTE C: CAPACIDAD CALORIFICA DEL MOLDE POR UNIDAD DE AREA

CAPACIDAD CALORIFICA DEL MOLDE <sub>2</sub> BTU/°F FT <sup>2</sup>	TIPO DE MOLDE	TEMP. DE ESTUFA, °F.	VELOCIDAD DE FUSION MILS/MIN.	PORCENTAJE VELOCIDAD AUMENTADA	
				Ni. VS. Al.	600 VS. 400
0.787	1/4"Al.	400	7.8	-----	-----
0.655	1/8"Ni.	400	7.8	0% 400°F	-----
0.787	1/4"Al.	600	15	-----	92% MOLDE Al.
0.655	1/8"Ni.	600	16	7% 600°F	105% MOLDE Ni.

PARTE D: RELACION DE SUPERFICIE DEL MOLDE A VOLUMEN

SUPERFICIE DEL MOLDE A VOLUMEN, IN <sup>-1</sup>	TEMP. DE ESTUFA, °F.	VELOC. FUSION MILS/MIN.	PORCENTAJE VELOCIDAD AUMENTADA	
			3:1 VS. 1:1	1.5:1 VS. 1:1
1:1	400	7.8	-----	-----
1.5:1	400	9.3	-----	19% 400°F
2 & 3:1	400	10.9	40% 400°F	-----
1:1	600	15	-----	-----
1.5:1	600	15	-----	0% 600°F
2 & 3:1	600	22	47% 600°F	-----

Tabla 13

hace cargo.

La capacidad calorífica del molde por unidad de -- área, tiene poco o ningún efecto en el tiempo de fusión. Es to evidentemente sucede porque, una vez que el molde alcanza la temperatura de fusión de la resina, esta temperatura no - necesita aumentar mucho para que la fusión de la resina con- tinua. Vea tabla 13, parte C y figura 33. La temperatura - del molde se encontró que aumentaba solamente 25<sup>o</sup>F durante - el tiempo de fusión requerido para un espesor de pared de re- sina de 125 mil. Por comparación, la temperatura del molde- tenía que aumentar cerca de 22<sup>o</sup>F para completar el tiempo de inducción.

El efecto de la relación de superficie del molde a volumen en el tiempo de fusión disminuye cuando la temperatu- ra de la estufa se incrementa. El efecto es secundario a me- nor rango investigado. Aquí de nuevo la diferencial de tem- peratura domina el efecto. Vea tabla 13, parte D y figura 34.

El efecto de tamaño de partícula en el tiempo de - fusión sobre el rango de tamaño de partícula moldeable es di- fícil de predecir, debido a que este efecto se relaciona con las propiedades de flujo de la resina fundida. Generalmen- te, el tamaño de molienda no tiene efecto en el tiempo de fu- sión requerido por la resina para fundirse, pero cuando el - tamaño de molienda aumenta se requiere tiempo adicional para formar superficie interna más tersa.

### Ciclo de enfriamiento

La estación de enfriamiento está separada y aparte de la estufa. Los tres métodos más populares de enfriamiento son: agua rociada, niebla de agua y aire. En algunos casos el polietileno de baja densidad puede enfriarse con inmersión en agua. La uniformidad en el enfriamiento es un factor importante en la etapa de enfriamiento. Para evitar el encogimiento del producto, esto es especialmente verdadero con polvo de moldeo de alta densidad. Consecuentemente, el enfriamiento con niebla de agua o aire, se usa a menudo por 1 ó 2 minutos, seguido inmediatamente con agua rociada. El ciclo total de enfriamiento es aproximadamente de 4 a 5 minutos.

Para resinas de alta cristalinidad, se requiere un período lento de enfriamiento con aire seguido de un fino rociado de agua para reducir el encombamiento.

Generalmente existen dos técnicas comunes para los ciclos de calentamiento y enfriamiento. Ellas son:

1.- Un calentamiento y enfriamiento uniformes son igualmente importantes.

2.- La araña de los moldes debe girar durante los ciclos de calentamiento y enfriamiento. La rotación de los moldes se requiere durante el ciclo de enfriamiento para prevenir que se afloje o combee la resina antes de solidificar. Algunas veces si se permite que se ponga en contacto agua con el polietileno fundido se producen orificios de vapor y ---

marcas de agua. La unión de los moldes debe limpiarse y unir se adecuadamente para prevenir que el agua entre al molde.

Además del enfriamiento externo, algunas máquinas - tienen enfriamiento interno con agua de inyección, la que debe evitar el encombamiento y aumentar la rudeza del polietileno de alta densidad (pudiendo resultar un ciclo de enfriamiento menor). La técnica de enfriamiento es importante para las propiedades finales del producto moldeado. Debe controlarse para que dé mejores resultados.

Un enfriamiento rápido es esencial para producir el máximo funcionamiento a baja temperatura de la resina. El funcionamiento a baja temperatura puede relacionarse directamente a la rapidez de enfriamiento. También se llevan a cabo -- cambios en otras propiedades, referentes a la tabla 14.

Con polietileno, las condiciones de enfriamiento -- ejercen un efecto pronunciado en las propiedades debido a la cristalinidad del polímero.

El cambio al cual el polietileno se enfria desde la temperatura de procesamiento hasta la temperatura ambiente -- afecta el tamaño de los cristales formados. El tamaño de los cristales, a su vez, afecta las propiedades.

Generalmente, a un cambio rápido de enfriamiento, co rresponden cristales más pequeños y como consecuencias unas mejores propiedades. Por esto, si el polietileno se enfria, de manera lenta, este tiende a ser más tieso o consistente -- más quebradizo y menos resistente al rompimiento por tensión.

Para obtener las mejores propiedades del polietileno, es importante que se enfríe a una temperatura ambiente lo más rápido posible, frecuentemente dentro de dos minutos.

	Temperatura de enfriamiento °F		
	80	175	Aire frío
Modulo-secante psi.	29,340	34,638	31,800
Resistencia a la flexión psi.	1,328	1,668	2,390
Modulo de flexión psi.	31,314	38,817	52,300
Resistencia a la tensión psi.	1,372	1,500	1,410
Elongación %	117	93	89
Temperatura de quebramiento	-59	-50	-24

Tabla 14: Efecto del enfriamiento sobre las propiedades físicas.

#### Velocidad de rotación y relación de rotación (ratio)

Dos variables de proceso importantes en el rotomoldeo son: velocidad de rotación y relación de rotación.

Las velocidades de los ejes mayores y menores, -- (eje mayor, por selección es el eje paralelo al suelo; eje menor, por selección este es el eje en movimiento. Su posición respecto al suelo está cambiando continuamente durante la -- operación, pero es siempre normal al eje mayor), deben ser -- normalmente bajas, menos de 20 RPM. Los moldes se giran generalmente alrededor de dos ejes que no pasan por su centro de gravedad. Por lo tanto, altas velocidades de rotación generan fuerzas centrífugas desiguales en la superficie del -- molde. Esta fuerza desbalanceada causa que la resina fundida fluya hacia las áreas de mayor concentración de fuerza; --

resultando así moldes de distintas formas.

La fuerza centrífuga generada por la velocidad de rotación puede usarse únicamente cuando ambos ejes de rotación pasan por el centro de gravedad del molde y cuando las superficies del molde estén a igual distancia del centro de gravedad (una esfera).

El moldeo rotacional no es un proceso de fundición centrífuga.

Una mala velocidad rotacional y/o relación de velocidad darán una distribución de espesor de pared muy pobre, o posibles aberturas indeseadas en el artículo acabado. La combinación de velocidad y relación acompañan dos cosas:

1.- El polvo se pasa sobre la superficie del molde suficientes veces durante el tiempo de fusión que resulte un espesor de pared constante.

2.- El polvo tiene contacto con toda la superficie del molde. Una relación de rotación (R) de 4:1 eje mayor a eje menor permitirá con éxito la fabricación de artículos -- moldeados de forma normal, si el eje más largo del artículo moldeado se monta paralelamente al eje mayor de rotación. -- Cuando el eje más largo deba montarse paralelamente al eje menor, una relación de 1:4 se requiere aproximadamente.

Los aspectos del moldeo que hacen que las velocidades de relación y de eje mayor sean críticas son:

1.- Tiempo corto de fusión y/o espesor angosto de pared.

2.- Forma rara.

3.- Las relaciones del eje mayor del molde y la máquina.

Cuatro reglas generalmente pueden enunciarse para ayudar a determinar la velocidad adecuada y la relación para moldeos particulares:

Regla 1: El número de recorridos completos (N) del polvo sobre el molde durante el tiempo de fusión debe ser 10 o más.

$$N = \frac{T}{t} \quad (1)$$

donde T = tiempo de fusión, que puede calentarse substrayendo el tiempo de inducción previamente determinado (midiendo el tiempo para que la temperatura del molde alcance la temperatura de fusión de la resina) del ciclo de residencia en la estufa requerido. t = el tiempo para completar el polvo un recorrido sobre la superficie del molde.

t puede calcularse como sigue:

$$t = \frac{x}{M} \quad (2)$$

donde x, viene de la ecuación (3)

M = velocidad del eje mayor RPM

La relación rotacional (R) es:

$$R = \frac{x}{y} \quad (3)$$

donde x (revoluciones del eje mayor) y

y (revoluciones del eje menor) son los números enteros-

menores posibles para la relación escogida (R).

Ejemplo: Si la relación escogida es 3.75 revoluciones del eje mayor por 1 revolución del eje menor, la relación:

$$R = \frac{3.75}{1}$$

multiplicando el numerador y denominador por 4 para que dé el número entero menor posible:

$$R = \frac{15}{4}$$

por lo tanto:

$$x = 15$$

$$y = 4$$

Regla 2: Los recorridos adyacentes de polvo deben sobreponerse en un 50%, basados en el diámetro original del "charco de polvo" (el área en el molde que es cubierta por el vaciado de resina en polvo inicial cuando el molde es mantenido en posición estática). Debido a la configuración del molde, densidad del polvo, y relación de rotación, están sujetas a variación considerable, presentamos el uso de esta regla como un factor cualitativo.

Si se presentan grandes aberturas en áreas que están más cercanamente paralelas al eje menor de rotación, la separación de grados ( $\theta$ ) del recorrido del polvo debe reducirse.

La separación de grados ( $\theta$ ) se afecta por la relación particular empleada. Primero multiplicamos el numera--

dor y el denominador de la relación rotacional por algún número que haga que ambos números en la relación sean enteros:

$$R = \frac{x}{y}$$

donde x (RPM. eje mayor) y, y (RPM. eje menor) son los números enteros enteros menores posibles.

Entonces: cuando ambos, x y y sean números nones:

$$\Theta = \frac{360}{x}$$

Cuando cualquiera x ó y sean números pares y el otro sea non:

$$\Theta = \frac{360}{2x}$$

Estas fórmulas deberán ayudar en la determinación del cambio de velocidad en velocidad y relación que sea requerida para eliminar aberturas o regiones delgadas en el moldeo. Esto considera que las regiones delgadas o las aberturas no son causadas por problemas de transferencia de calor.

Regla 3: La falta aparente de contacto del polvo con una superficie que es generalmente paralela al eje mayor de rotación y generalmente una buena distancia lejos de cualquiera puede corregirse usando una relación en la cual ambos, x y y sean números nones.

Estas relaciones de números nones son de mucha ayuda porque producen lo que se llama "acercamiento doble de recorridos" (usado para describir la situación cuando los puntos que están cerca del centro de la distancia entre las arañas se acercan alternativamente desde el polo sur del --

norte del molde.)

Regla 4: Cuando un molde se monta con su eje mayor perpendicular al eje mayor de la máquina:

A) una relación inversa (1:4) se requiere generalmente.

B) se requiere una velocidad del eje mayor un poco más rápida.

#### Sistemas de calentamiento de moldes.

Los tres métodos más frecuentemente usados para el calentamiento de moldes son: convección de aire caliente, conducción de líquido caliente y radiaciones infrarrojas ( también es ésta gas incendiado o calentadores eléctricos ). La selección del tipo de calentamiento más adecuado depende primordialmente de la geometría de la pieza, número de moldes en cada araña y del rango de producción requerido.

Las temperaturas normales del horno son de 400° a 700°F ( 205° a 370°C ). Frecuentemente, las temperaturas del horno llegan arriba de 700°F ( 370°C ), algunas ocasiones son tan altas como 900°F ( 480°C ). Esto normalmente no perjudica a los productos moldeados de pared delgada, pero puede dañar algunos moldes.

Los hornos deben estar bien aislados para minimizar las pérdidas de calor.

#### Calentamiento por convección de aire caliente

El aire caliente es el que se usa comunmente como fuente de calentamiento para moldeo rotacional. Es particu-

larmente apropiada para el moldeo de piezas de paredes delgadas (menos de 60 mil,  $1\frac{1}{2}$  mm.). A mayor temperatura dentro de este rango, menor es el ciclo de calentamiento.

La dirección exacta del flujo de aire es importante. Puede obtenerse por la precisa desviación de los ventanillos de aire.

Igualmente importante es la velocidad del aire y la uniformidad de la temperatura a través del horno. Una acción depuradora a una velocidad alta es necesaria para una máxima transferencia de calor. Las marcas calientes en el horno deben ser cuando se moldean artículos de pared uniforme.

Después de la inserción del molde cargado y frío, se requiere, una capacidad de calor excesiva en el horno de tal modo que la temperatura de operación deseada se consiga rápidamente.

Se dispone de hornos de gas incendiado, aceite incendiado (prendido) o aire eléctricamente calentado. Si la temperatura cambia frecuentemente se recomienda un controlador de temperatura.

#### Calentamiento por conducción de fluido caliente

El calentamiento por medios de rociado (spray) de fluido caliente se usa mucho también. En muchos hornos, una sal inorgánica, no corrosiva, es el medio de transferencia de calor. Cera derretida y aceite que transfieren fácilmente calor a una temperatura alta, también se usan, pero con menos fortuna.

Las temperaturas de operación en los sistemas rociadores del líquido son normalmente del rango de 450° a 550°F (230° a 290°C). El líquido transferente de calor se adapta a la temperatura de operación en un tanque fundidor o depósito, conteniendo tubos de gas inflamable o calentadores de inversión eléctrica. Un período de calentamiento de más de dos horas y media, depende del volumen del medio de calentamiento usado, se requiere para lograr la temperatura de operación. El fluido se bombea a través de una malla de orificios rociadores sobre la armadura del molde rotacional.

Es importante que los tanque fundidores tengan la suficiente capacidad para mantener la temperatura de la operación a través del ciclo de calentamiento. La caída de temperatura en el tanque fundidor no debe exceder 10° a 15°F (5.5° a 8.5°C) durante el ciclo de calentamiento del molde.

En este sistema de calentamiento, el calor se transfiere por conducción y convección. Por eso, los rociadores de líquido caliente, normalmente calientan más rápido a los moldes que los rociadores de aire caliente.

El rociado de líquido caliente generalmente es más conveniente que el de aire caliente para moldear piezas con paredes gruesas (espesor de más de 60 mils, 1½ mm.) y para la producción de formas más complejas.

Para eliminar el fluido caliente, los moldes se remojan usualmente con agua antes de abandonar el horno. Puesto que un fluido de calentamiento que no sea recuperable puede

significar la diferencia entre el calentamiento aprovechado y perdido del rociador del líquido caliente, es esencial, entonces, que tal equipo tengan un buen sistema para recuperar y - para volver a usar el medio de calentamiento.

#### Calentamiento por radiaciones infrarrojas

El calentamiento infrarrojo junto con el de gas inflamable o radiaciones eléctricas es de los más usados sobre el especial propósito y equipo de moldeo rotacional.

El calentamiento con infrarrojo es muy rápido y eficiente, pero esta forma de calentamiento se limita para moldear formas simples y para moldes sencillos. Moldes de forma múltiple o compleja no pueden calentarse por infrarrojos porque el calor radiante no puede llegar a todas las partes del molde de una manera uniforme. Las áreas encerradas o protegidas del molde no logran una temperatura tan alta como la lograda en las partes expuestas en la superficie del molde. -- Consecuentemente, habrá partes delgadas en la pared del artículo moldeado.

#### Sistema de manejo para moldeo rotacional en ejes biaxiales

Se dispone de una variedad de sistemas de manejo - para la rotación biaxial de moldes. Estos incluyen tanto el manejo de la velocidad variable o manejo de velocidad constante con engranes o cadenas ajustadas a coronas dentadas.

La mayor parte del moldeo rotacional se lleva a cabo a un rango entre 10 y 20 RPM de rotación en los ejes primarios y de 2 a 3 RPM de rotación en el eje secundario, esto es

una relación promedio de 4 ó 5:1. Para muchas aplicaciones - esta relación se probó satisfactoriamente. Sin embargo se deben tomar medidas para cuando sean necesarios algunos cambios de las relaciones, para corregir una distribución no uniforme del polvo o un espesor de una pared, los cuales pueden ocurrir a una relación promedio de rotación. Si se desea producir -- muchas partes diferentes en una máquina, los impulsores de velocidad variable se recomiendan para eliminar la necesidad -- del cambio de engranes o cadenas adaptadas cuando se cambia - la velocidad o la relación de rotación. Si el impulsor permite una rotación de velocidad variable para cada eje indepen--diente aproximadamente un rango de 1 a 25 RPM, cualquier rela--ción de rotación práctica puede obtenerse.

#### Tamaño de molienda de partícula

La distribución del tamaño y las especificaciones- de las malla son muy importantes para la producción de buenas partes rotomoldeadas. Como una regla podemos decir:

1.- Las resinas de baja cristalinidad requieren mayor tamaño de molienda.

2.- Mayores tamaños de molienda se pueden usar con resinas de baja viscosidad.

Durante el ciclo de residencia en la estufa, las - partículas de polvo aumentan continuamente su temperatura, -- hasta que la partícula individual se pega o derrite en la re--sina fundida. Si se permite que la resina alcance su tempera--tura de ablandamiento antes de que se pegue y funda en la pa-

red derretida, la partícula se pegará a otra, esto resulta - cuando hay resinas de pobre distribución y aberturas indeseables en el moldeo.

A veces se requieren detalles en las superficies de los artículos moldeados. Más finos en una resina permitirá mejores acabados en la superficie, pero una molienda muy fina ocasiona que las partículas se peguen. El menor tiempo de inducción posible se recomienda para evitar los problemas del pegado de partículas cuando se requieran moliendas finas.

La aparente viscosidad de fusión de la resina a bajo esfuerzo cortante, es también importante en la selección del tamaño de molienda. Una resina de fácil flujo producirá buenos moldeados con partículas más bien grandes. La viscosidad de fusión aparente cambia con la temperatura a diferentes velocidades para diferentes tipos de resina. No sería práctico, por lo tanto, relacionar absolutamente la velocidad de varias resinas.

Pequeñas colas en las partículas individuales deben reducirse tanto como sea posible. Si un gran número de partículas tienen estas colas, se presentará el pegado de partículas en un mayor tamaño de molienda que el normal.

#### Purga de nitrógeno

Una purga de nitrógeno en la cavidad del molde, puede usarse para proteger al polvo de polietileno contra la oxidación durante el ciclo de moldeo.

### Contracción

Los moldes rotacionales frecuentemente tienen el problema de contracción. Conforme usamos resinas de densidad alta y más alta para obtener mejor rigidez en la parte moldeada, el molde experimenta grandes contracciones. Las resinas de baja densidad, con módulos aproximadamente de 20,000 a -- 30,000 psi. dan al molde una contracción de aproximadamente  $2\frac{1}{2}$  a 3%; las resinas de densidad media con módulo de 30,000- a 50,000 psi. contraen en el enfriamiento aproximadamente  $4\frac{1}{2}$  a 5%; y las resinas de alta densidad con módulos de 100,000- psi. contraen aproximadamente  $7\frac{1}{2}$ %. Como resultado, una atención cuidadosa se pone a la geometría del molde y al material que se moldea. Obviamente una geometría con algunos socavados o con algunas puntas, no pueden moldearse adecuadamente en una resina de alta densidad, porque la contracción al  $7\frac{1}{2}$ %- ejerce una gran tensión en esas partes .

### Inserciones

Las inserciones en el molde deben considerarse cuidadosamente, porque la diferencia existente en el coeficiente de expansión y contracción entre el metal del molde y del metal que se insertó podría causar que éste se adhiriera al molde, o podría crear un área de tensión en determinada parte causada por la contracción del polietileno alrededor de la inserción conforme éste se enfría.

### Coloreado seco

Una dispersión apropiada del pigmento es necesaa-

ria para obtener no sólo una buena apariencia sino también - para el desarrollo de las propiedades físicas óptimas de la resina. El mezclado en seco puede llevarse a cabo a través del uso de una mezcladora del tipo intensivo (Henschel o Cowless); una mezcladora tipo cizalla de baja velocidad, que es más común, o por molienda.

La técnica que usamos con cada uno de los diferentes tipos de equipo es importante y afectará el funcionamiento de las resinas pigmentadas. Con cualquiera de éstas, es importante, donde más de un pigmento se usa, ya que los mismos pigmentos pasarán premezclados y ninguna resina debe incluirse en este premezclado. Una vez que los pigmentos están premezclados, están listos para adherirse a la resina. - Con el tipo de una cizalla mezcladora del tipo intensivo a baja velocidad, el pigmento se pone simplemente sobre la resina en la mezcladora. El mezclado empieza y aquí la diferencia entre estas mezcladoras viene a ser aparente. Un mezclado uniforme se obtiene en una mezcladora intensiva en aproximadamente una décima del tiempo que requiere una cizalla - mezcladora baja (de baja velocidad). La técnica usada para el mezclado por molienda es ciertamente crítica. Los factores que afectan el grado de dispersión son: la cantidad de resina colocada en el contenido y el colado del pigmento dentro del polvo. El tambor lleno por completo no permite el suficiente movimiento del polvo, consecuentemente, el contenido no se mezcla y resulta una pobre dispersión. El pigmen

to no debe simplemente vaciarse sobre la resina en el tambor, mientras la molienda no proporcione el mezclado intenso requerido para dispersar el pigmento a través de toda la revoltura

Por eso la técnica apropiada, es llenar una cuarta parte del recipiente con polvo, adicionar una porción de pigmento, llenar el tambor de la mitad a las  $3/4$  partes, y adicionar el pigmento restante. El tambor entonces se cierra y se revuelve un tiempo apropiado (mínimo  $\frac{1}{2}$  hora).

En las cintas mezcladoras, de 20 a 30 min. son suficientes generalmente para dispersar uniformemente los pigmentos a través de la resina.

#### Efectos especiales

La naturaleza del proceso de rotomoldeo se presta para algunas aplicaciones únicas y moldeos especiales:

A)- Cuerpos huecos totalmente cerrados:

Los moldes se ventilan para cumplir con la necesidad de mantener un buen sellado en los moldes a través del proceso. Una atención extra para la fabricación de moldes y el empalme de la araña permite la producción de cuerpos totalmente cerrados en una operación. El rotomoldeo es el único proceso que puede cumplir con esto fácilmente.

B)- Variación del espesor de pared:

El espesor de pared de partes moldeadas es generalmente más o menos constante. En algunas situaciones se desean secciones más gruesas o más delgadas.

das. La relación de rotación puede ajustarse tal que la resina en polvo tenga tiempo de contacto con las paredes paralelas al eje mayor de rotación o a las paredes paralelas al eje menor de rotación. Un aumento en el tiempo de contacto produce paredes más gruesas en estas áreas.

Una porción más gruesa o más delgada de la parte puede producirse, no importa cual es su relación con los ejes de rotación, ya sea incrementando o disminuyendo la transferencia de calor en el --- área deseada. Generalmente esto se acompaña - - con una variación en el espesor de la pared del molde de metal en el área de interés. Otra técnica es pintar una superficie del molde con pintura negra para paredes de sección más gruesa, o con pintura de aluminio para paredes de sección más delgada. También es posible un precalentamiento del molde en las áreas que requieran secciones de pared más gruesa.

En el uso de paredes del molde más gruesas para secciones de pared de resinas más delgadas debe tenerse mucho cuidado. El espesor de pared del molde debe incrementarse con el menor aumento o ningún aumento en el área externa del molde. - De otra manera el formado de la resina bajo esta sección más gruesa, será más delgada (como se

desea) en tiempos de residencia en la estufa menores, pero más gruesa en períodos de tiempo de residencia en la estufa más grandes. Este fenómeno no ocurre porque la masa de metal incrementada - actúa primeramente como un hundimiento de calor y su temperatura se eleva más lentamente que en el resto del molde. Así el tiempo de inducción para la superficie de moldeo bajo esta sección - más gruesa no es más largo que para el resto del molde. Durante un tiempo largo de fusión, la -- sección gruesa, con área externa incrementada, - actuará como un embudo de calor. Entonces el -- área de moldeado bajo esta sección funde más calor hacia la pared del polímero la cual se está formando sobre ella. La colocación de depósito en protuberancias en moldes, debe estudiarse con cuidado para evitar este problema.

C)- Tiempo de inducción, cuando no se usa:

El tiempo de inducción, una porción del ciclo de residencia en la estufa, puede parecer una pérdida de tiempo. Durante este tiempo no ocurre derretimiento o fusión de la resina, pero pueden - llevarse a cabo otros procesos durante la inducción. Alguna clasificación del tamaño de las -- partículas de resina, toman lugar durante el revolcado de la resina sólida. Las partículas ---

grandes se dirigen o enfilan hacia el interior del molde, mientras que las partículas finas se dirigen hacia el exterior. Si las partículas ma yores tienen una temperatura de derretimiento mayor que las partículas pequeñas, es posible producir una pared corrotomoldeada, la cual se hace de dos resinas diferentes. (Corrotomoldeo, es un proceso para fabricar paredes hechas de dos re sinas diferentes, las cuales están separadas o unidas por una interfase común. Ambas resinas en polvo se ponen en el molde al comenzar el ciclo del moldeo). Otro resultado es el corrotomoldeo de una parte que tiene una parte externa o piel sólida y está lleno de espuma en el interior.

D)- Paredes comunes internas:

Podemos desear tener un artículo moldeado hueco, separado en dos cámaras por una pared sólida de resina.

Esto se puede hacer colocando una pantalla de tamiz insertado en una posición tal que allí va a formarse la pared interna. La pantalla debe estar fija al molde de tal manera que tenga suficiente calor para fundir el polímero. Si estas condiciones se presentan se puede formar una pared interna simultáneamente con el resto del moldea-

do. La pantalla permanece como una parte integral del moldeado.

E)- Moldeado bajo presión:

Los moldes pueden presurizarse con un gas, y la parte acabada contendrá presión, si se tiene cuidado para tener un buen sellado en los moldes.

Esta técnica puede ser útil para dar rigidez a una parte vacía de pared delgada durante su embarque - hacia su uso final.

Un ejemplo puede ser, grandes recipientes. Una botella de pared muy delgada puede usarse por el embotellador, pero el embarque de la botella hacia la planta embotelladora, puede requerir una pared más gruesa. Botellas de pared delgada moldeadas bajo presión pueden resolver el problema del embarque y aún mantener el costo de la botella bajo control.

#### Problemas

Si el rango de producción es bajo (o el ciclo de calentamiento es muy largo.

#### Soluciones

- a) Levantar la temperatura del horno.
- b) Usar polvo de índice de fusión alto.
- c) Usar polvo de baja densidad.
- d) Usar un molde de paredes delgadas.

Si el polvo funde a --  
través de zanjas angos-  
tas y profundas, resul-  
ta un llenado de molde  
incompleto.

- a) Aumentar la velocidad de rota-  
ción.
- b) Usar polvo de baja densidad.
- c) Usar polvo de alto índice de -  
fusión.
- d) Modificar el molde, si es posi-  
ble.

Si la pieza se pega en  
el molde.

- a) Limpiar la superficie del mol-  
de y aplicar un agente lubri--  
cante apropiado.
- b) Disminuir el ciclo de calenta-  
miento o la temperatura del --  
horno.
- c) Aumentar el ciclo de enfriamien-  
to.
- d) Ventilar el molde.
- e) Modificar el molde de tal modo  
que la parte se adelgace un po-  
co hacia el final del molde a-  
través del cual es removido.

Si la pieza moldeada -  
contiene burbujas o si  
la pieza tiene una su-  
perficie interna áspera.

- a) Aumentar la temperatura del --  
horno.
- b) Incrementar el ciclo de calen-  
tamiento .

- c) Usar un polvo de alto índice - fusión.
- d) Usar un polvo de baja densidad.
- e) Mejorar la uniformidad de las - paredes del molde.
- f) Disminuir el espesor de la pa - red si es posible, por disminu - ción de la cantidad de polvo - en cada carga.
- g) Asegurarse que la superficie - interna del molde este seca.

Si la pieza es amari--  
lla, café o de algún -  
modo descolorida.

- a) Disminuir el ciclo de calenta - miento.
- b) Disminuir la temperatura del - horno.
- c) Verificar la pared del molde - para evitar la contaminación, - tal como moho.

Si la pieza esta deform  
mada o encombada.

- a) Disminuir la velocidad de en--  
fiamiento.
- b) Disminuir la temperatura del -  
horno.
- c) Rotar el molde durante el en--  
friamiento.
- d) Ventilar el molde.

- e) Mejorar la uniformidad de las paredes.
- f) Permitir pequeño enfriamiento con aire antes del agua de enfriamiento.

Si la pieza es quebradiza (y no está completamente fundida o tiene superficie interna áspera)

- a) Usar polvo de baja densidad.
- b) Usar polvo de bajo índice de fusión.
- c) Rediseñar la parte para eliminar esquinas afiladas.
- d) Aumentar la temperatura del horno.
- e) Incrementar el ciclo de calentamiento.

Tabla 15: Problemas más comunes en el moldeo rotacional y sus soluciones.

#### Consideraciones técnicas

Aparentemente el moldeo rotacional es un proceso sencillo. El equipo no es complejo. No requiere tornillos de precisión o dados de extrusión, ni altas presiones, sistemas hidráulicos o costosos utensilios de acero en moldes.

El tipo de resinas o el color pueden cambiarse muy rápido sin purgar la máquina. El peso puede incrementarse o reducirse simplemente por un cambio en la carga. Todos estos factores implican saber cuanto se incorpora en la resina.

La resina adecuada es necesaria pero es igualmente importante saber cuanto usar de esta resina. En el orden de los procesos de moldeo, inyección, soplado y termoformado, las propiedades finales de los productos dependen básicamente de las características de la resina. Esto no es totalmente verdad con el moldeo rotacional.

La fuerza y rigidez dependen de la resina pero la tenacidad depende de las condiciones de procesamiento.

La principal diferencia entre los otros procesos de moldeo y el moldeo rotacional es que en los otros procesos el calor y la presión se usan en la plastificación de la resina; en tanto que en moldeo rotacional, no es la presión-disponible, sino el calor.

Un número de sistemas pueden usarse para calentar el material. Todos se basan en el mismo principio, que es calentar el molde y conducir el calor al polvo dentro del molde.

Aunque este estudio se limita a rocío de sal fundida y a convección de aire caliente. Este principio puede ser aplicado a cualquier sistema de calentamiento que usemos.

En el moldeo de polvos de polietileno de baja densidad, el proceso de fusión puede pararse cuando todas las bolsas de aire incluidas se remuevan del material. Si el calentamiento se continua la degradación térmica y oxidativa, causaran fragilidad en la pieza.

Los polvos de polietileno de alta densidad tiene una gran estabilidad calorífica, en consecuencia, el período de calentamiento puede aumentarse. Esto remueve todas las partículas unidas dando un alto grado de fusión.

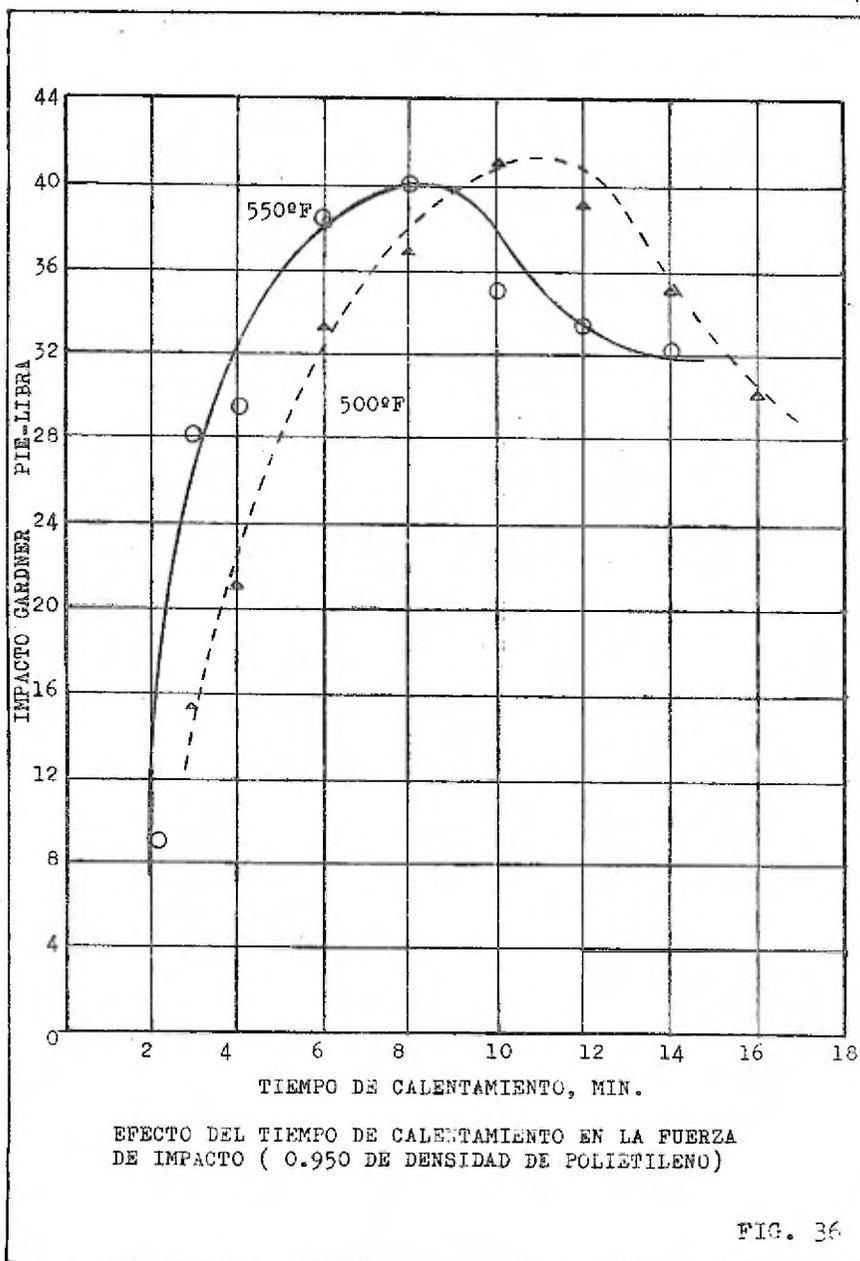
La fig. 36 enseña el efecto del tiempo de calentamiento en la fuerza de impacto. La resina es de densidad -- 0.95 y un índice de fusión de 5. Una serie de partes se moldearon con 0.3 cm (1/8 de pulgada) de espesor de pares usando un fundidor de sal de transferencia de calor, en rocío, a 500°F. Un panel liso se cortó de cada parte y se probó con peso constante, en una prueba de impacto a -20°F. El programa se repitió a 55°F para ver la influencia de temperatura.

Las partes moldeadas a un tiempo de calentamiento de tres minutos se veían satisfactoriamente desde afuera. Pero la superficie interior era áspera y las partes fueron quebradizas. Fueron prominentes pequeñas inclusiones de aire.

A la derecha, al otro lado de la cima de la curva, la fragilidad se encuentra nuevamente debido a la degradación térmica.

Puede verse que para cada temperatura de calentamiento existe un punto donde la fuerza de impacto es máxima. El máximo sin embargo para esta serie de condiciones a 550°F ocurre a los 8 minutos de tiempo de calentamiento. A menor temperatura el período de calentamiento es de 10 minutos.

Aunque estas curvas representan una máquina partí



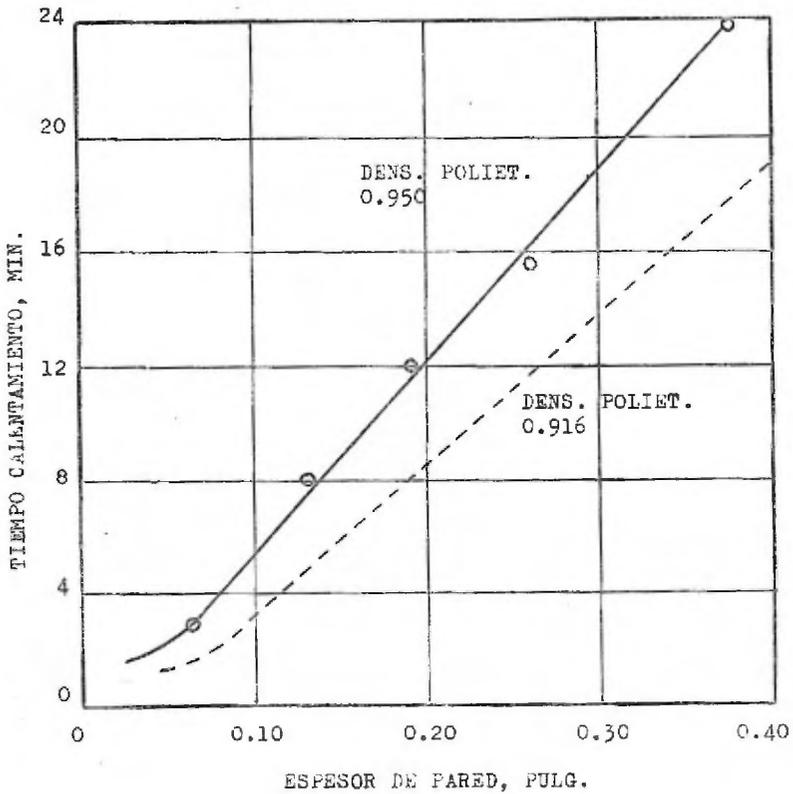
cular de sal caliente, curvas similares se pueden obtener para sistemas de aire caliente.

En una unidad comercial de aire caliente podemos encontrar que una temperatura de horno de  $850^{\circ}\text{F}$  es equivalente a la curva de  $550^{\circ}\text{F}$  del diagrama. Parece que el aire calienta el molde a menor velocidad pero a mayor temperatura. En este caso, el polvo no determina la diferencia entre los dos sistemas. La exacta localización de la curva a lo largo del eje del tiempo puede variar con cada máquina rotomoldeadora y la amplitud de la curva varía con cada resina.

La figura 37 muestra el efecto del espesor de pared en el requerimiento del tiempo de calentamiento. Examinando los espesores de pared desde 0.15 hasta 0.9 cm ( $1/16$  hasta  $3/8$  de pulgada). Se ve que a 0.3 ( $1/8$ ) el tiempo de calentamiento es 8 minutos. Este es el punto donde la fuerza de impacto fue máxima en la curva de  $550^{\circ}\text{F}$  en la figura 36.

Se puede esperar que la curva de calentamiento sea prácticamente una línea recta. Una vez que el molde se eleva a la temperatura deseada, es en rigor una función de la conductividad térmica del metal del molde y del espesor de la pared de la parte.

El punto de tiempo de calentamiento donde la curva de impacto registra un máximo, es una indicación de que el molde está en un tiempo de calentamiento óptimo.



EFFECTO DEL ESPESOR DE PARED EN EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO REQUERIDO.

FIG. 37

Ahora bien, el polietileno de alta densidad tiene una conductividad térmica más alta que el polietileno de baja densidad. Eso toma 40% más de tiempo de moldeo porque tenemos que llegar a un mayor punto de fusión. Un molde de aluminio al carbón se usó para este estudio. Hay que tener presente que esta información pertenece a un conjunto particular de condiciones.

La figura 38 muestra los efectos del tiempo de calentamiento en el índice de fusión y en el peso molecular. Sabemos que cuando calentamos polietileno en el proceso de moldeo rotacional el índice de fusión empieza a caer, esto es el peso molecular aumenta. El índice de fusión baja a un punto mínimo si el calentamiento continúa se verá que el índice de fusión empezará a incrementarse otra vez indicando que el peso molecular empieza a disminuir.

Este cambio en el índice de fusión es paralelo al cambio en la fuerza de impacto que vimos en la curva de la figura 36. El punto donde el índice de fusión se aproxima al mínimo corresponde al punto donde la fuerza de impacto fue mínima. Podemos ver que el índice de fusión puede ser una herramienta de laboratorio útil en la determinación de las condiciones óptimas del moldeo.

Encontramos que una combinación de factores causa el decrecimiento del índice de fusión. El polietileno de alta densidad consta de una cadena de carbonos de varias longitudes, con átomos de hidrógeno adicionados a uno u otro lado.

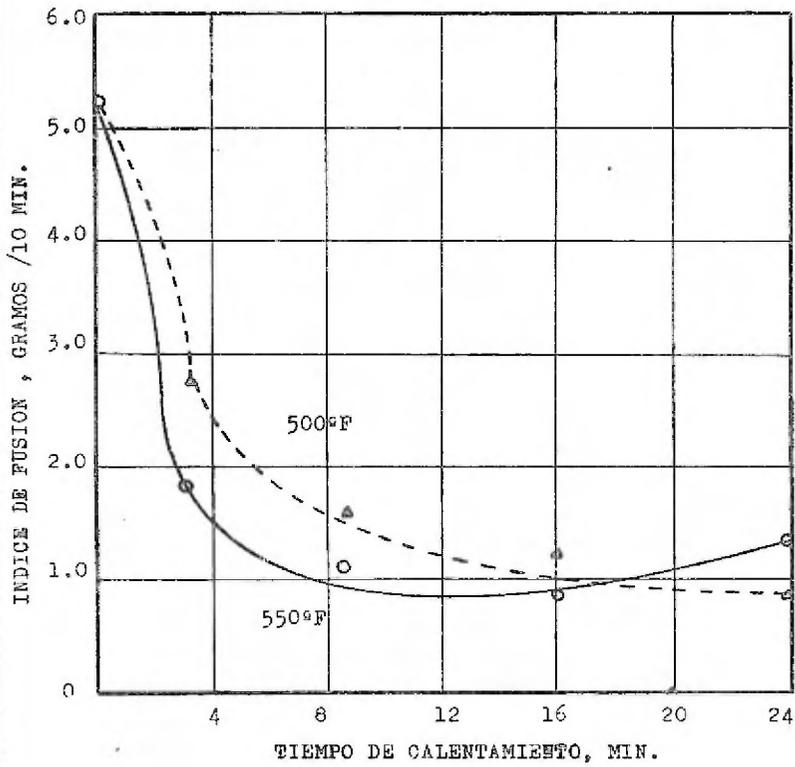


FIG. 38

Las cadenas cortas son necesarias para fácil procesamiento. Las largas dan al polímero tenacidad. Durante el proceso de calentamiento, algunas de las cadenas cortas emigran fuera de la resina, dejando detrás la fracción de alto peso molecular. Cuando la parte se enfría, el gas que se combinó con el oxígeno en el molde, se condensa en el interior de la superficie de la parte para formar una película de color ambar.

Probamos esta teoría en el laboratorio añadiendo polietileno de bajo peso molecular a resina estándar.

Se moldearon ambas partes, la mezcla y la resina estándar y encontramos que las partes moldeadas de la mezcla fueron en apariencia más oscuras. Esto indica que en realidad estas cadenas cortas emigraron lejos causando decoloración y olor.

En suma se suprimen muchas de las cadenas cortas, aunque algunos eslabonamientos cruzados termales ocurren durante el calentamiento. El calor puede causar cadenas moleculares que se rompan afuera. Este proceso se llama cracking térmico, aunque algunas de estas cadenas se combinan para formar moléculas largas. Sabemos también que el oxígeno en el molde puede atacarse dando radicales libres y así incrementar la viscosidad o bajar el índice de fusión.

Independientemente de la causa de este cambio un bajo índice de fusión significa una buena fusión de la parte y se obtiene la máxima fuerza de impacto de la resina particular.

Se pueden hacer alteraciones en el tiempo de calentamiento para obtener la apariencia requerida, sacrificando las propiedades físicas. Esto sugiere ver la forma de evitar el color opaco negruzco.

El primero y más obvio paso fue tratar de eliminar el oxígeno en el molde. Esto se solucionó por nivelación de aire fuera del molde con un gas inerte.

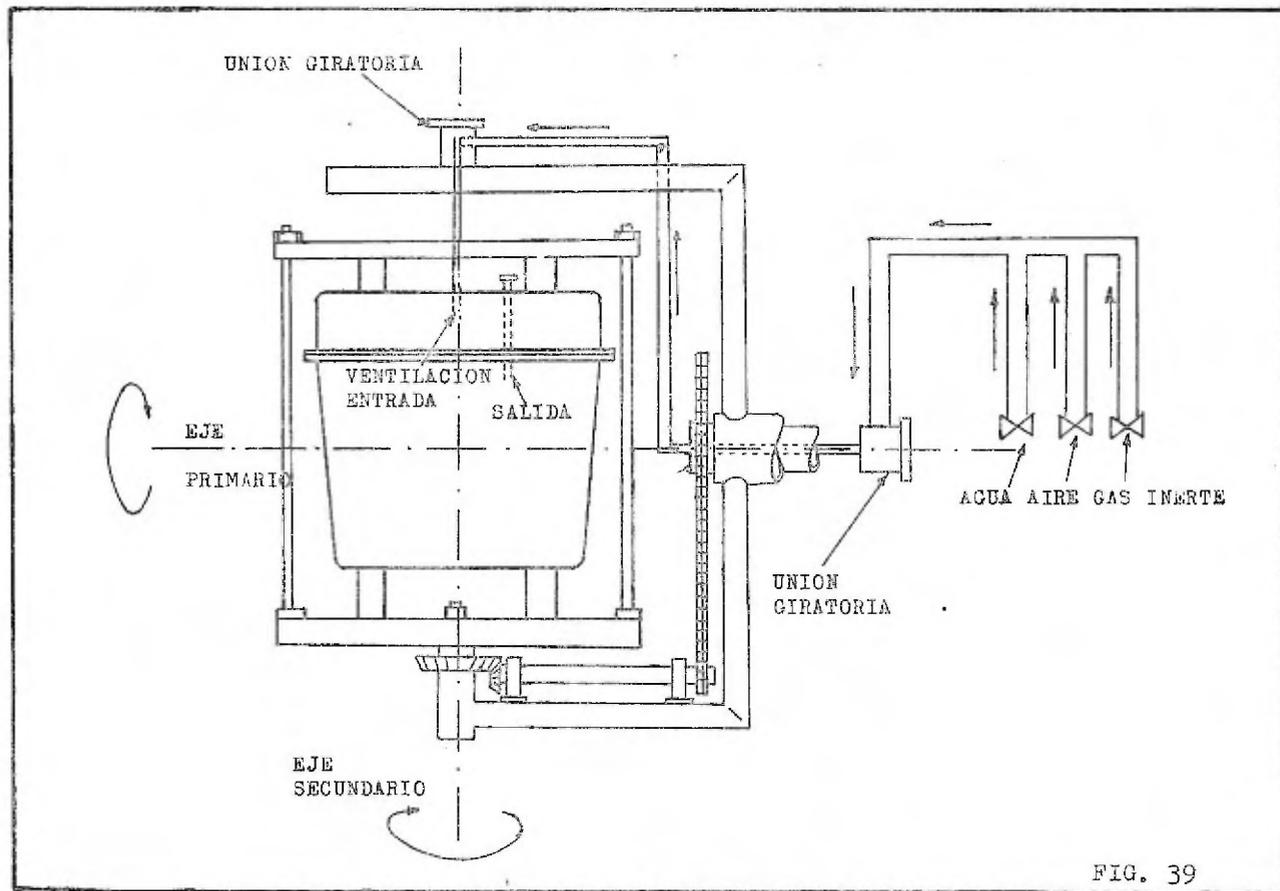
La figura 39 muestra el mecanismo básico del moldeo rotacional el cual puede alterarse purgando con un gas inerte.

El eje de la flecha puede hacerse hueco. La unión rotacional se unió al eje final. Desde el otro lado conectamos un tubo a la segunda unión rotacional en el marco primario de rotación. Desde éste pudimos primero colocar una manguera del metal flexible dentro del molde.

Ayuda a introducir nitrógeno en el sistema, fluyendo fuera el aire a través de la ventana. Con este tipo de sistema tenemos la posibilidad de eliminar el olor de las partes moldeadas y la decoloración.

La resina de bajo peso molecular es estable no agrega color u olor al producto. El molde se purga antes del proceso de calentamiento.

La velocidad de flujo del gas depende del volumen. Encontramos que para un volumen de 1 ft<sup>3</sup> como cerca de 10 a 15 ft<sup>3</sup>/min. de gas fluyendo a purgar este molde en un tiempo de 30 seg. Si el flujo de gas es continuo durante el proceso de calentamiento tendrá un efecto de enfriamiento en el -



polímero. Pero se alteran de este modo las condiciones previas establecidas de tiempo y temperatura.

Cuando la parte se está enfriando, el flujo de gas puede abrirse nuevamente.

En la figura 39 vemos un solo molde grande. Pero puede imaginarse que en el mismo espacio podrán colocarse una serie de moldes pequeños de la misma forma.

Se sospechó que se podían mejorar las propiedades físicas de las piezas moldeadas si eliminábamos la degradación ocasionada por la oxidación. Este no fue enteramente el caso sin embargo, encontramos que la fuerza de impacto de ambas muestras fue enteramente buena sin diferencias significativas. Se determinó con pruebas de impacto de peso de caída en una muestra de 13 cm (1/8 de pulgada). Una convección forzada de aire en horno se usó para el rotomoldeo de piezas. Obteniendo los datos de la tabla 16.

Las partes se moldearon bajo idénticas condiciones, pero una parte se purgó con nitrógeno, en tanto que la otra se moldeó de manera convencional, que es, con la atmósfera normal de aire adentro.

La resistencia al rompimiento por tensión es mayor en la pieza purgada con nitrógeno. La prueba usada es una modificación de ASTM D 1693.

Esto es el Bell labs, prueba de ventana abierta en 100% Igepal a 122°F, pero sin control de imperfecciones. Los especímenes de prueba se compararon de las partes rotomol

	RAPIDO	LENTO
DENSIDAD, GR/CM <sup>3</sup> .	0.949	0.955
FUERZA DE IMPACTO (GARDNER) FT-LB/0.125 IN. A -20°F	35	33
RESISTENCIA AL ESFUERZO DE RUPTURA, HRS/F50	36	14½
ENCOGIMIENTO, %	2.4	3.2

FIG. 40

	NITROGENO	AIRE
FUERZA DE IMPACTO (GARDNER) FT-LBS/0.125 IN. A -20°F	40	37
RESISTENCIA AL ESFUERZO DE RUPTURA, HRS/F50	2.9	1.9

TABLA 16

deadas. La lista de valores son los tiempos en horas a los cuales 50% de los especímenes fallaron.

Estos valores son normales para un polietileno de densidad 0.95 e índice de fusión 5.

La misma prueba se corrió a temperatura ambiente con resultados similares en favor nuevamente del gas inerte, pero el valor esperado era mucho más alto.

Aunque estas pruebas no nos presentan diferencias significativas que justifiquen el uso de gas inerte en base de las propiedades físicas. Indican que no hay efectos adversos resultantes por su uso.

Atacamos siempre el problema del olor y decoloración en una resina. Por uso propio de estabilizadores y por distribución de cadenas de peso molecular es posible reducir los vapores de polietileno dentro del molde.

En investigación de efectos de calentamiento se usa una sola velocidad de enfriamiento. Ahora sí el calentamiento es constante y el enfriamiento es variado encontramos que la apariencia así como las propiedades físicas se afectan. El polietileno es un polímero cristalino. La cristalización de polietileno de alta densidad puede ser hasta de 95%. La velocidad de enfriamiento afecta el tamaño y la forma de estos cristales.

Un enfriamiento lento produce cristales largos y de este modo materiales de alta densidad, los cuales son rígidos pero más quebradizos. Si podemos enfriar rápido, re-

ducimos el tiempo aprovechado para que crezca el cristal, obteniendo un material más flexible que es más tenaz y tiene más resistencia al rompimiento por tensión.

En el ejemplo de la figura 40 medimos el efecto de la variación de la velocidad de enfriamiento en las propiedades finales de una parte simple. Para explicar esto, se moldeó una caja de cuatro galones llevando el molde fuera del horno y enfriando con rocío de agua por espacio de dos minutos.

Cuando abrimos el molde y sacamos la parte, estaba caliente entre 200 y 225°F. Cortamos la parte en dos e inmediatamente sumergimos una mitad en un tanque de agua enfriando se muy rápido. La otra mitad la dejamos enfriar en el aire.

La sección que se enfrió en agua, tuvo una densidad considerablemente más baja que la enfriada simplemente con aire. La fuerza de impacto fue solamente un poco mayor, pero hubo una diferencia significativa en la resistencia al rompimiento por la tensión. Debido a la desviación de la prueba estandar para los límites de la resistencia al rompimiento por tensión. Estos valores son cerca de diez veces mayores que los esperados normalmente para esta resina. El acondicionamiento estandar con agua hirviendo se evitó, pudiendo ver el efecto de la fuerza de enfriamiento así como el efecto de la densidad.

Frecuentemente partes enfriadas lentamente tendran valores de impacto mayores que las partes enfriadas rapidamen

te. Esto indica que el enfriamiento rápido no fué uniforme, cuando el enfriamiento no es uniforme se desarrollan las tensiones en la parte donde se forman pequeños cristales de polietileno.

Piezas de polietileno de alta densidad se enfrían generalmente con rocío de agua atomizada en el molde rotacional. Para obtener las mejores propiedades físicas es preferible el enfriamiento rápido. Sin embargo, si el agua se --- aplica muy vigorosamente, la parte se contrae fuera de el -- molde. Así si reducimos la transferencia de calor en cier--tas áreas, puede resultar un encombamiento o fragilidad de la parte.

Para un plástico el control de encombamiento dicta qué tan rápido podemos enfriar una pieza. Obviamente algunas partes pueden enfriarse mas rápido que otras. Las esferas toman su forma, pero los tableros lisos pueden tender--a torcerse mas.

Una pregunta que debemos contestar es: ¿Como podemos enfriar mas rápido pero de una manera uniforme?. Un metodo es hacer lo que explicamos en este experimento, que--es sacar la parte del molde un rato estando caliente y enfriarlo. Esto se logra muy bien en escala de laboratorio pero es probable que sea embarazoso en las operaciones de producción.

Una aproximación más práctica es el uso del enfriamiento interno.

Moldeando la parte, el calor se aplica externa--

mente. Una parte puede enfriarse sin embargo también por la parte de adentro tan bien como por fuera del molde. Enfriando por ambos lados no solo aumentamos la velocidad de enfriamiento, también damos mejores propiedades físicas. Pero no es probable controlar las dimensiones promoviendo encogimientos uniformes.

El mismo sistema que describimos para la introducción de gas puede usarse para enfriamiento interno. El tiempo de enfriamiento puede acortarse a la mitad por el paso de aire helado o enfriado o vapor de agua a través del molde.

Otra posibilidad para enfriamiento interno es el uso de dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  líquido. Esto ha ido progresando en el moldeo soplado; el líquido pasa a través de un orificio, cambiando de fase y absorbiendo calor del polímero caliente. Una parte delgada puede enfriarse en cosa de segundos con esta técnica.

Se sugieren moldes presurizados para acelerar el paso de enfriamiento forzando al plástico a estar en contacto con el molde frío, mejora grandemente la transferencia de calor a través del molde pero al mismo tiempo nulifica una de las ventajas, esto es, moldear partes libres de tensiones. Hemos usado aire a presión de 1 a 15 lb. pul<sup>2</sup>. por tener partes a presión inferior no esta libre de contracciones y fuerzas de encogimiento. Con estos métodos, pueden tenerse las tolerancias tirantes, igual que en artículos moldeados por soplado. Para ésto se requiere moldes de alta calidad, sin-

embargo, puede llegar a ser un problema que el polímero caliente se sujete a presión.

En rotomoldeo el encogimiento es usualmente difícil de predecir puesto que son muchos factores los que lo -- afectan.

El polietileno de alta densidad se encoge de 1.5- a 3.5% dependiendo del índice de fusión, su densidad, la forma de la parte y del escape característico del molde. Probablemente el factor que afecta mas significativamente las dimensiones finales del producto es la velocidad de enfriamiento. En este estudio de partes enfriadas lentamente hubo el máximo de encogimiento de 3.2%, que es lo que podemos esperar, si la densidad del moldeado es alta. El índice de fusión del moldeado es el mismo para ambas muestras.

Las partes con superficies interrumpidas tienden a encogerse menos que aquellas planas de superficies lisas. El encogimiento en un tanque largo y delgado con corrugaciones transversales se encontró que fue de menos de 1.85% sobre la dimensión larga. A ángulos rectos o paralelo a las corrugaciones, el encogimiento fue de 2.4%.

Solo a través de experiencia o ensayo y error puede estimarse propiamente el encogimiento. Como regla practica, polietileno de alta densidad se dice que encoge de 25 - a 28 milésimos de pulgada por pulgada lineal de superficie o 2.5 a 2.8%.

Para evaluar la fabricación de artículos por rotomoldeo, nos interesamos en su dureza, fuerza y tenacidad. Al igual que otros procesos de moldeo estas propiedades dependen de la resina. La dureza y la fuerza son mas definidas por la resina, pero como hemos visto la tenacidad dependerá de las condiciones de procesamiento.

La tenacidad es fundamental para muchas aplicaciones, es particularmente importante en moldeo rotacional que probemos las partes.

El polietileno de alta densidad, como todos los plásticos, es un material viscoelástico, esto significa que la deformación o elongación o torcimiento dependerán de la aplicación de la carga y la velocidad a la cual ésta carga se aplica.

Si tomamos una tira plástica y le damos un tirón muy despacio podremos encontrar una elongación muy considerable antes de romperse. Si lo elongamos rapidamente se romperá en dos.

La prueba normal de tensión para plásticos ASTM D 638 a 20 pul/min. da un valor. Si esta velocidad se incrementa o si la temperatura se disminuye, obtendremos un mayor valor. En consecuencia para una predicción precisa en la fabricación de artículos rotomoldeados, es especialmente importante -

que nosotros escojamos una prueba la cual simule las condiciones finales de uso.

Si estamos viendo la dureza, usaremos una prueba de flexión de dureza. Si es tenacidad usaremos algun tipo de prueba de impacto.

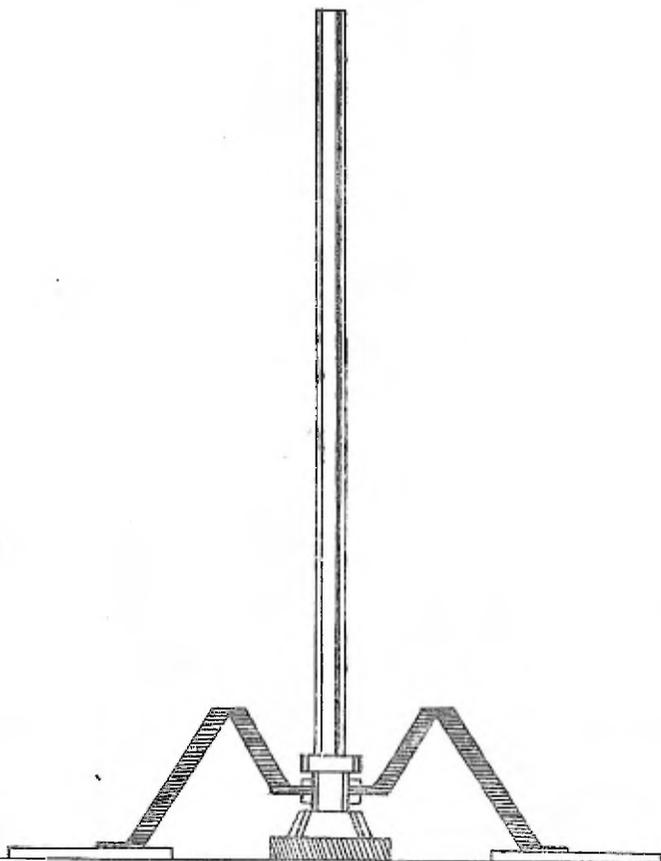
La mayoría del equipo de prueba usado hoy en día es de una baja velocidad de tensión lo cual no es representativo de las condiciones finales de uso, artículos moldeados por compresión o inyección no son representativos de partes rotomoldeadas.

La prueba mas útil que podamos encontrar para simular las condiciones finales de uso es la prueba de impacto a altura constante de caída de peso.

La figura 41 enseña un probador de caída de peso normal el cual se modificó con un tubo largo que permite la carga mas pesada del espécimen.

La muestra es una placa cortada de la parte rotomoldeada. Se golpea con una bola de 5/8 de pulgada de diámetro. Se deja caer y se va moviendo la muestra dejandole caer diferentes pesos y así determinar la energía de impacto por el peso necesario a causar la ruptura.

Generalmente usamos tres pies de caída, a esta altura equivale una proporción de tensión de 10,000 pul/min. Como se verá es mucho mayor que la normal de 20 pul/min. en la prueba de tensión.



PROBADOR DE CAIDA DE PESO PARA FUERZA DE IMPACTO.

FIG. 41

Encontramos que la sensibilidad puede incrementarse si disminuimos la temperatura a  $-20^{\circ}\text{F}$ , una muestra quebradiza se diferencia fácilmente de una muestra dúctil.

Aunque usamos unidades de energía puede usarse una simple diferenciación de si Pasa o no, una vez que establezca el límite de aceptabilidad.

Estas son unidades baratas. Su costo es solo alrededor de \$ 2,500. Es el tipo que cualquier fabricante puede tener.

Estos resultados pueden verificarse en laboratorios con un plástico para prueba de punzon a velocidad alta. Este no es el tipo que se recomienda para uso general pues es un instrumento muy costoso.

#### D) MOLDES, CONSTRUCCION

De igual manera que otros procesos de moldeo, la calidad del molde influye directamente en la calidad del producto. El aspecto del producto, tal como el acabado de la superficie, se afecta por el molde. Productos con un acabado mate se producen mediante una aspersión (sand blast) con arena en la superficie interior del molde mientras que acabados brillantes se obtienen con una superficie tersa o pulida. El espesor del molde y el tipo de material usado en el molde va a influir sobre las velocidades de calentamiento y enfriamiento. Los moldes mas ampliamente utilizados son los de aluminio fundido con un espesor de pared de aproximadamente 0.6 cm (1/4 de pulgada). La uniformidad en el espesor de la pared -

del molde origina calentamiento y enfriamiento uniforme en el producto plástico.

Se necesita calentamiento uniforme para dar igual espesor en las partes y mantener las propiedades de la resina en polvo. Un enfriamiento uniforme reduce los esfuerzos en el moldeado y evita cambios.

Un requisito primario del molde es de que debe resistir el calentamiento repetido y el enfriamiento de golpe sin deformación o cambio apreciable.

Los moldes individuales son en general considerablemente mas baratos que los moldes de inyección o de soplado.

El rotomoldeo sin embargo, normalmente requiere varios moldes para una operación económica.

Para producción de bajo volumen, puede usarse, metal en hojas, aluminio maquinado o acero maquinado, soldando hojas de metal o electroformado de níquel.

Cada una de estas técnicas de producción de moldes tiene ventajas específicas y el mejor molde para cada trabajo debe seleccionarse.

El aluminio maquinado ofrece mas fuerza que el aluminio fundido pero lo limita el costo para formas muy simples. Los moldes de aluminio fundido ofrecen buena fuerza al espesor usual de 0.6 cm (1/4 pul.) y pueden fabricarse para cualquier forma. Los moldes electroformados de 0.3 cm (1/8 pul.)

de espesor de níquel ofrece algún potencial para transferencia de calor mas rápida, y por lo tanto un ciclo menor. Una buena apariencia en la superficie es posible con ambos moldes, de aluminio, fundido o electroformado.

El aluminio y el níquel son los dos materiales de construcción mas usados por su resistencia, costo y conductividad térmica.

Las formas mas simples de moldeo para aplicaciones industriales permiten el amplio uso de moldes de hojas de acero soldadas.

Los moldes para moldear polvo micropulverizado son de paredes tan delgadas y peso tan bajo como sea posible.

U. S. I. sugiere que sean construídos de chapa de acero de calibre 16 a 18 (1.6 a 1.8 mm).

El acero inoxidable revestido de cobre es mas caro que la chapa de acero, pero en cambio es mayor la conductividad del calor al molde y al mismo tiempo conserva la resistencia estructural del acero.

El aluminio es mas barato y fácil para manufacturar moldes pero esta sometido a deformaciones y agrietamientos permanentes al someterse a altas temperaturas. No se deben calentar a mas de 230°.

	Btu/hr. ft <sup>2</sup> °F	g-cal/hr. cm <sup>2</sup> °C cm
acero	26	31
aluminio	124	148

	Btu/hr. ft <sup>2</sup> °F	g-cal/hr. cm <sup>2</sup> °C
cobre	215	257

Tabla 17. Conductividad térmica de los metales utilizados en los moldes para moldeo rotacional.

Los artículos moldeados con polietileno no son tan flexibles como los de vinilo, los cuales pueden retirarse a través de aperturas estrechas en los moldes. En consecuencia todos los moldes para moldeo rotacional con polvos de polietileno deben ser del tipo partido por la mitad. Es recomendable evitar diseños que contengan ángulos, formas largas tubulares y endiduras angostas y profundas.

#### La "araña" para los moldes

El marco de acero sobre el cual se montan los moldes es normalmente referido como "araña de moldes". La función del marco es proporcionar una base sobre la cual se van a asegurar los moldes y pueden de alguna manera sujetarse juntos. La araña debe ser rígida y no debe exudar o proteger para no interferir con el flujo del medio de calentamiento alrededor del molde. Debido a que la carga y descarga de los moldes es un factor de tiempo importante en la maquinaria de espiga múltiple, la araña debe sujetarse con un número mínimo de pernos para asegurar una abertura rápida de los moldes. -- Este tipo de montaje es adecuado para cuando las mitades del molde están bien alineadas y apareadas.

#### Rotación de los moldes

El depósito uniforme continuo del polvo de polieti

leno en la superficie interior del molde se hace girando el molde en dos direcciones (planos de rotación perpendiculares) simultáneamente mientras se calienta. El brazo de moldeo rotacional proporciona este tipo de movimiento. Normalmente se usan dos barras en conjunción con engranes tipo bevel para formar un tren de engrane. Esto produce el movimiento -- común de rotación. Un sistema director separado se usa en cada barra para permitir velocidades independientes de rotación. El tipo de molde, tamaño y número por espiga se combinan para influenciar la velocidad necesaria en un sistema dado. La velocidad propia así obtenida que debe seleccionarse es aquella que permite una acción de recubrimiento uniforme. Una relación de 3 a 1, del eje mayor al eje menor, produce esta acción en muchos casos. Sin embargo algunos trabajos de moldeo requieren una velocidad ligeramente diferente. Las máquinas comerciales están normalmente equipadas con controles de velocidad para dar esta flexibilidad. Las revoluciones por minuto del eje menor se usan generalmente entre 7 - 12 y 15 - 25 en el eje mayor. Debido a la naturaleza indefinida de la velocidad exacta necesaria, la velocidad a menudo se determina por algunas pruebas experimentales.

Luego se desea una máquina que provea esta flexibilidad de velocidad en ambas direcciones.

#### Ventilación de los moldes

Los respiraderos de los moldes deben usarse en el moldeo rotacional cuando sea posible. Sin un tubo de respi-

ración el material fundido dentro del molde forma un sello - lleno de aire durante el proceso de moldeo. La expansión del aire durante el ciclo de calentamiento incrementa un borbo-llón en la línea de unión de los moldes y después de enfria- do se forma un vacío dentro del producto moldeado que produ- ce encombamiento. Los tubos respiradores eliminan estas con- diciones indeseables.

#### Respiradero de los moldes

Una ventilación adecuada es un factor muy importan- te en el moldeo rotacional y debe darsele consideración espe- cial.

La cantidad de ventilación depende de estos facto- res:

1.- Espesor de pared, mientras mas delgada sea la sección es mas importante la ventilación.

2.- La geometría de la parte. Las partes esféri- cas y cilíndricas son estructuralmente estables y por lo tan- to a menudo no requieren ventilación. Partes con superficies planas largas, las cuales son menos estables y por lo tanto- mas dispuestas al combeo, siempre requieren ventilación.

3.- El tamaño de la parte, el orificio de ventila- ción debe diseñarse con la capacidad suficiente para propor- cionar el volumen de aire que pasará por él.

4.- La densidad de la resina de polietileno. La- ventilación es menos crítica donde se usa polietileno de baja

densidad por que se encoge menos que el material de alta densidad.

La ventilación o respiradero, que es un tubo de pared delgada, generalmente hecho de acero inoxidable o de teflón (resina de fluor y carbón) debe penetrar el molde en un punto donde la abertura no dañe la apariencia o la función del artículo que se moldea. El respiradero debe construirse de tal manera que la resina en polvo, agua de enfriamiento y sal fundida no puedan penetrar por él. Para cumplir con esto, se usan comunmente las técnicas siguientes:

1.- El respiradero se extiende hacia el centro del molde donde practicamente no hay movimiento de polvo.

2.- El respiradero se llena sin apretar de fibra de vidrio para prevenir la entrada de polvo.

3.- El extremo del respiradero del lado de afuera del molde se protege por un filtro o se dobla lejos de la corriente de agua o sal rociada.

Normalmente un solo tubo venteador se usa por molde.

#### Agentes para desprender moldes

Existen comercialmente muchos agentes desprendedores para dar el adecuado desprendimiento de la parte y el molde. Dos tipos particularmente disponibles son:

A)- Estearato de zinc y

B)- Una base de silicones.

Cuando se valúa y selecciona un agente desprendedor para hacer un trabajo, los factores tales como habilidad para pintar facilidad para aplicarse y económicos deberán de considerarse.

Si no se usan agentes desprendedores, el producto moldeado puede extraerse difícilmente. Los agentes mas ampliamente aceptados son aquellos semipermanentes que se aplican en caliente. Esto evita aplicar el agente desprendedor antes de cada ciclo de moldeo; normalmente son posibles de 40 a 50 desprendimientos.

Para no tener problemas se recomienda comenzar -- con una cavidad de molde en perfecto estado de limpieza y el uso de un buen lubricante.

Es posible que se requiera una limpieza especial para aquellos moldes que se hayan usado antes con materiales vinílicos y otros plásticos.

El método mas eficaz para quitar esos materiales de la superficie, es el de limpieza con arena, sin embargo - el óxido de aluminio se usa en lugar de arena. El frotado a mano con agua y piedra pomez también resulta efectivo pero - consume gran cantidad de tiempo. Todos estos procedimientos darán como resultado piezas con acabado mate.

#### Tapas aislantes y cubiertas para moldes

Cuando se desea la presencia de aberturas en las piezas terminadas, es necesario moldearlas con cubiertas o -

injertos aislantes. Se puede usar cualquier material aislante que impida la fusión del polvo sobre la superficie de la zona en que se aplique. Los materiales mas comunmente usados son chapas de amianto y espumas de silicones.

Si se deseara obtener piezas moldeadas diseñadas con espesores delgados en algunas secciones, puede lograrse cubriendo la sección correspondiente del molde con un material aislante, ocasionando que en ese punto se adhiere una menor cantidad de polvo al molde. El espesor puede controlarse, -- hasta cierto punto, mediante el cambio del tipo o del espesor del material aislante.

Otro método para controlar el espesor de las paredes en zonas determinadas del molde, es mediante el pintado. La presencia de pinturas oscuras en la superficie externa del molde nos da una mayor absorción de calor y en consecuencia da espesores mayores en la pared de la pieza. Las pinturas de colores claros reflejan el calor y dan como resultado espesores de pared menores. Las pinturas que se usan para estos propósitos deben ser termicamente estables a las altas temperaturas usadas en las estufas. El efecto del uso de pinturas es sin embargo, relativamente menor si se le compara con el uso de cubiertas de materiales aislantes tales como el amianto.

#### Tipos de bridas y bisagras

Tres tipos de bridas se ven en la figura 42. El-

tipo plano puede usarse en máquinas de hornos de convección o líquido caliente. Esto simplifica el mantenimiento del molde pero tiene un costo inicial mas alto que el offset o el - lengua y acanaladura.

Las superficies de unión deben de estar terminadas finamente para un ensamble adecuado y los moldes deben estar relevados de esfuerzos antes de que se apareen las líneas de unión.

Las bisagras en las líneas de unión en los moldes de aluminio deben de evitarse si es posible debido a que tienden a aumentar considerablemente el mantenimiento del molde.

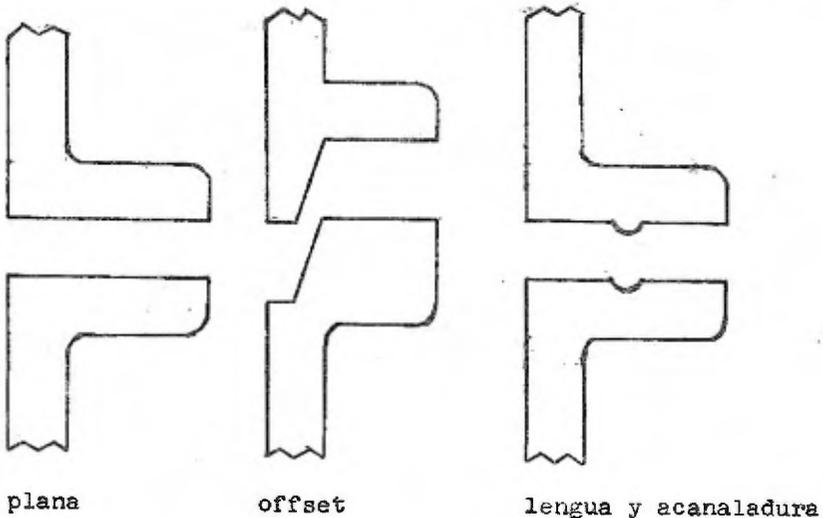


Figura 42. Tipos de bridas.

## E) TERMINADO DE PRODUCTO

Objetos coloreadosComo le ponemos color

Hay tres caminos que seguir para colorear artículos rotomoldeados: Un método muy familiar, es empezar con polvos de polietileno coloreados, es un buen método y se recomienda tener grandes cantidades de estos materiales y tenerlo en varios colores. Otro método es una mezcla seca de polvo blanco con polvo pigmentado. Finalmente tenemos el método de adquisición de color mediante el pintado del objeto -- rotomoldeado después de terminado.

Hay pequeñas desventajas, particularmente en la operación de mezclado seco. Si se usa un pigmento equivocado en éste, al moldear nuestro material y sacar el producto, alguien podrá coger un asidero y el color quedará en sus manos, cosa que se debe evitar.

Se ha experimentado con mas de cien pigmentos de varios abastecedores obteniendo una lista de 15 a 20 pigmentos que son convenientes para el rotomoldeo. Uno de los problemas que se analizaron fue que algunos pigmentos cuando se moldean nos dan un producto extremadamente quebradizo, cosa que también es indeseable.

Por esto hay que tener mucho cuidado en la selección de pigmentos, no siempre podemos encontrar alguno que nos de un buen resultado.

El borramiento que se puede obtener con el mezclado es invariablemente mayor en la parte de adentro del producto que por fuera pero si no nos preocupa mucho la parte interior del objeto que hacemos, no tendremos que tener un completo cuidado acerca del pigmento seleccionado.

Para recubrir un objeto con un rocío de pintura o laca, hay primero que preparar la superficie sobre la que vamos a fijar el color, puede ser muy fácil si usamos un soplete con una gran flama y lo pasamos sobre el objeto moldeado muy rápido, dándole un buen recubrimiento oxidado entonces podremos depositar la pintura.

Este es otro recurso de recubrimiento, así mismo de pintado que podemos añadir en la parte exterior del producto.

Tendremos que tratar la superficie del objeto con una flama para hacerla susceptible al recubrimiento, aplicar un cemento adhesivo el cual es un solvente tipo que dara "agarrere" al secar, luego se rocía el aglutinante. Varias personas que diseñan equipo de rocío tienen disponibles estas pistolas.

Para un cubo largo de color amarillo se mezcló en seco el pigmento amarillo. Se puso el polietileno micropulverizado y vertimos una pequeña cantidad de pigmento, aproximadamente la mitad de lb es suficiente, varios de estos colores son muy fuertes. Ya caliente en el molde el color se dispersa. Esto es posible con algunos colores pero con otros es im

posible trabajar.

Con algunos pigmentos se tiene que mezclar y mezclar por largos períodos para que el color se disperse bien.

Se puede hacer con un tipo metálico de adición, - por ejemplo, pelotas de cobre con 0.5% de polvo de cobre. -- Se usa un molde de superficie lustrosa para que la superficie de la bola moldeada tenga una considerable profundidad y brillantez.

Cuando usamos aluminio, 0.1% de polvo de aluminio es suficiente, ya que se dispersa muy bien con pequeñas marcas negras.

La adición de estos metales aumenta la versatilidad de los productos que podemos hacer.

También podemos tomar una serie de pelotitas coloreadas y ponerlas en un molde con polvo de polietileno.

Para otra variación del color ponemos en un molde un pigmento y polvo de polietileno después de pasar por el ciclo de calentamiento, abrimos el molde y agregamos otro pigmento, lo volvemos a moldear y obtenemos una superficie con un pigmento y la otra con el otro. Quedando a la imaginación lograr otros efectos.

Una botella publicitaria de un licor se hizo teniendo como color básico polvo de cobre metálico que representa el contenido, la parte superior es de un muy bonito y lustroso blanco, que se logra por una técnica ordinaria de-

rocío. Luego un tapón pintado de negro y la etiqueta de papel se pega con cemento.

Tratamiento posterior de las superficies de polietileno para una decoración exterior.

Los polvos de polietileno pueden moldearse en una gran variedad de colores. Sin embargo, algunas decoraciones con pintura son frecuentemente necesarias para un propósito ornamental o para lograr determinado impacto. Pinturas especiales apropiadas para este propósito, se obtienen para fines comerciales.

El polietileno es un material muy inerte, no polar al cual muchas tintas y composiciones de recubrimiento se adhieren pobremente.

Debido a que es necesaria una adecuada adhesión de recubrimiento a el sustrato, en un recipiente funcional, el polietileno debe tratarse previamente de tal manera que admita un grabado o recubrimiento. El método mas ampliamente reconocido de tratamiento del polietileno para obtener una segura adhesión de recubrimiento se controla por patentes, y es aconsejable que la situación de la patente se investigue previamente a un uso comercial de cualquier método.

El tratamiento de la superficie del moldeado de polietileno puede realizarse por uno de los tres métodos básicos: químico, eléctrico o flama.

El método químico implica la inmersión de la parte en ácido sulfúrico (solución de dicromato). Este método-

no es muy popular, porque lleva consigo el manejo de una mezcla altamente ácida. Tiene una ventaja sobre los demás ya que asegura la uniformidad de tratamiento en formas complicadas.

El tratamiento eléctrico es una corona de descarga la cual crea un calor moderado y ozono. Este método actualmente tiene uso limitado debido a que el equipo involucra el uso de cientos de miles de volts para producir una descarga de alta frecuencia. Sin embargo, este es uno de los métodos de mas confianza para tratamientos, y cuando se disponga de un equipo mejor, el método podrá usarse de una forma mas amplia.

El tratamiento a la flama, es el método mas ampliamente usado en la industria del moldeo, ya mencionado anteriormente. La ventaja mayor de esta técnica es su economía y versatilidad general con varias formas de figuras. Por otro lado, la necesidad de las proporciones correctas de mezcla gas-aire puede ser una desventaja.

Una mezcla de combustión de 27 a 32 partes de aire por una de propano nos da un resultado óptimo. Cuando un gas natural se usa, la relación debe ser de 10 partes de aire por una de gas. En cualquier circunstancia de tratamiento existe un rango de relación de aire-combustible donde se obtienen tratamientos excelentes.

Es aconsejable que el moldeador se ponga en contacto con un proveedor de recubrimientos de polietileno de -

buena reputación. El puede recomendar la preparación superficial apropiada y el recubrimiento específico para los requerimientos involucrados del servicio en su aplicación.

#### Encogimiento de producto

El encogimiento de un producto de polietileno se afecta por las condiciones de moldeo y espesor de película.

Los valores de encogimiento para partes rotomoldeadas varía generalmente entre el rango de 1 a 2%.

Los factores de encogimiento son necesarios para diseñar apropiadamente el molde y se estiman normalmente para una parte dada, de acuerdo a su forma y tamaño. Sin embargo, valores superiores pueden usarse como guías para estimar el encogimiento. Las tolerancias dimensionales totales se afectan por el aumento de restricciones en la parte en el molde durante el enfriamiento. Tales aspectos de diseño como cortaduras y bordes limitan el encogimiento.

#### Espesor de pared del producto

De la gráfica de la figura 43 que compara el espesor de la pared del producto con el tiempo de calentamiento en la estufa, vemos que el tiempo de calentamiento aumenta cuando el espesor de pared aumenta. Además debe notarse que el tiempo de calentamiento aumenta cuando la densidad aumenta.

Debido a que el polietileno de alta densidad se funde a mayor temperatura, se espera este resultado. Como -

TIEMPO EN LA ESTUFA CONTRA ESPESOR DE PARED PARA UN RANGO DE DENSIDADES DE POLIETILENO.  
CONDICIONES: CIRCULACION DE AIRE CALIENTE 650 F.

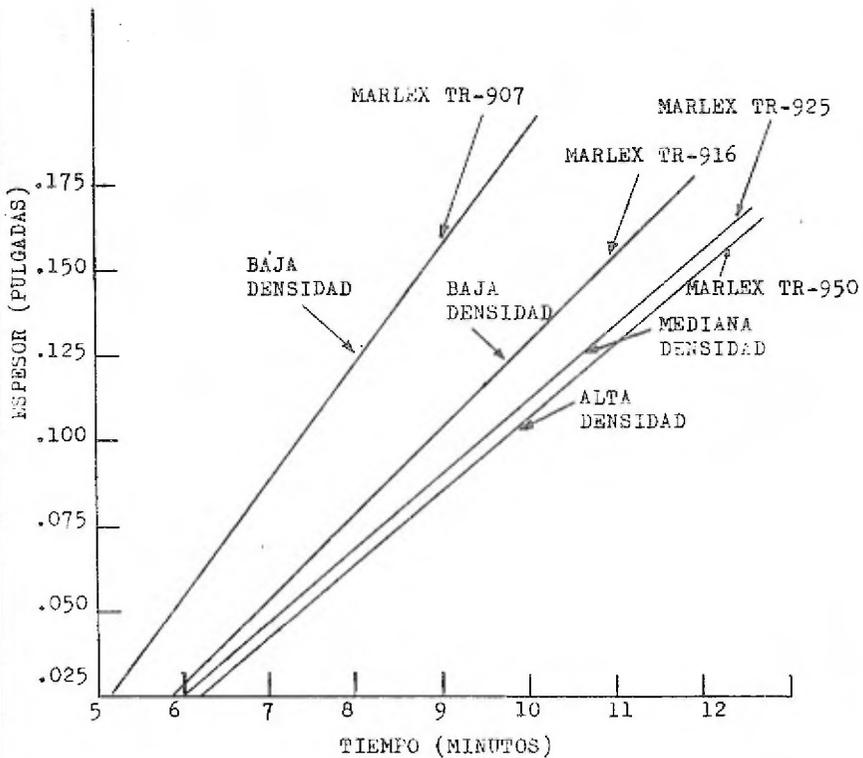


FIG. 43

es evidente en la figura 37, una sección de pared de resina de baja densidad de aproximadamente dos veces el espesor de la resina de alta densidad puede moldearse con tiempos de calentamiento iguales. Esta gráfica ilustra los tiempos prácticos de calentamiento en estufa y los usos de los espesores de pared posible en el moldeo rotacional.

#### F) DIVERSOS ARTICULOS FABRICADOS POR ESTE METODO

El moldeo por rotación, permite la fabricación de artículos parcial o totalmente cerrados. La rigidez o flexibilidad de un producto se controla por las propiedades de la resina usada y por el espesor de la pared del artículo moldeado.

El moldeo rotacional se aconseja para aplicaciones típicas tales como: caballos de juguete, pelotas, otros juguetes de distinto tamaño; maniqués para vidrieras y otras figuras huecas para exhibiciones; equipo deportivo como balones, palos de malabarismo, discos y bolas; pesas y marcadores para golf; frutas artificiales en colores naturales; recipientes para usos varios y botellas; cajas de instrumentos musicales y para bolas de boliche; para cañas de pescar, cascos, recipientes para desperdicios, forros para tambores, carretillas, cajas de depósito, cunas, tolvas, moldes para combustibles sólidos; una variedad de artículos para automóvil y de uso institucional; modelos de esqueletos humanos compactos; marmitas decorativas y otras mas.

A continuación hablaremos de algunos artículos en particular, de una manera mas extensa.

### Pesas plásticas de polietileno

Pueden utilizarse para hacer ejercicios en el hogar, escuelas, gimnasios y clubes.

Como el objetivo es el uso de estas pesas en el hogar, se han hecho mas atractivas y adaptables, que las anticuadas pesas de metal. Estan disponibles en varios colores- y esto les da una mayor aceptación.

Su peso varía según el material que se utilice para el relleno. Originalmente pesa 2 Kg. y se podrá aumentar su peso hasta 7 Kg. agregando la cantidad necesaria de arena, agua o plomo a través de una abertura al costado.

También surgieron otros implementos deportivos -- moldeados por rotación con polvo de polietileno. El último artículo en el mercado es un colorido marcador para golf que no se quiebra, parte o descascara. Además una pelota de basket-ball de 13 cm. de diámetro, una bola y un disco de lanzamiento.

### Caballos de juguete

Se utiliza para agregar un galope exclusivo a un colorido caballito de juguete. Las patas delanteras y traseras pueden moverse separadamente con las barras de apoyo, -- dándole particular atractivo.

Se utiliza Microthene 710 para las patas de polietileno, por que las repetidas tensiones aplicadas en las

patas requieren que estas tengan características excepcionales de resistencia.

### Tanques de polietileno

Panaderías industriales y otros productores de alimentos se benefician con su uso olvidando así las anticuadas y costosas tubas. Un tanque moldeado en polvo de polietileno con base de acero ofrece un servicio sanitario y económico para transporte de sustancias alimenticias.

Estos cuestan la mitad de las tubas de acero inoxidable y son más económicas que las de plástico reforzado con fibra de vidrio.

En cuanto a su resistencia es excepcional: tienen tapas de acero inoxidable, base galvanizada con refuerzos y ruedad sobre pivotes, protectoras del piso.

Los recipientes en si tienen buena resistencia a los productos químicos. Utilizando polietileno en polvo es posible moldearlos sin costuras y con un espesor de 6 mm. -- Estas dos condiciones permiten el manipuleo común y disminuyen el peso.

El polietileno Microthene 722 tiene buena resistencia química a la mayoría de los ácidos y álcalis y no se afecta por las variaciones de temperatura.

Es sumamente sencillo limpiarlos. La construcción sin costuras, por ejemplo, produce un interior continuo y -- sin ángulos rectos. Las esquimas tienen radios de 4 cm. pa-

ra permitir su fácil limpieza.

Botella irrompible de polietileno de 50 lt.

Uno de los primeros artículos comerciales moldeados en polietileno pulverizado puesto en el mercado es un -- botellón de 50 litros de capacidad. El recipiente es elegante, liviano, irrompible y resistente a la corrosión; se le -- destina para depósitos de líquidos industriales.

Puede utilizarse para el depósito y transporte de varios líquidos industriales, particularmente ácidos y otras sustancias corrosivas utilizadas en la industria química. -- Se diseñó para reemplazar las damajuanas pesadas de vidrio -- que se utilizan en la actualidad.

La botella de polietileno no es solo mas liviana -- que el producto de vidrio que reemplaza, sino que también re -- quiere mucho menos espacio en depósitos, consideración impor -- tante en aquellas industrias que utilizan gran cantidad de -- estos recipientes. Así mismo, los industriales que los uti -- lizan están satisfechos con el reducido número de roturas que se producen entre estos envases.

La botella también tendrá usos entre los consumi -- dores, tanques auxiliares para agua en el hogar y en embarca -- ciones así como su posible uso en los refugios antiáereos y -- para uso militar.

Tanque para alimentos

Este recipiente de gran tamaño y de paredes grue -- sas provee un depósito económico para productos a granel.

Se recibió con gran entusiasmo en frigoríficos, y plantas de procesado de productos alimenticios y tienen una capacidad - de hasta una tonelada tanto a granel como de líquidos.

Es ideal para el transporte, depósito y manipuleo de carnes sin procesar y fue uno de los primeros resultados obtenidos con el moldeo de polietileno en polvo.

Este recipiente combina una elevada resistencia y poco peso con una inmunidad hacia jugos y sustancias químicas. No se afecta prácticamente por las variaciones de temperatura y presenta un interior sin costuras que se presta a una limpieza fácil. Se transporta mediante gruas y puede -- apilarse rápida y seguramente ahorrando espacio.

#### Cerdo para exhibición

Una compañía cervecera de E.E.U.U. fue de las primeras en aprovechar la flexibilidad de diseño que ofrece el moldeo por rotación. El producto es un cerdo de polietileno de tamaño real incluyendo una manzana roja en la boca. Montado sobre un asador con fuego simulado, el cerdo esta en -- exposición en cerca de 150 comercios. Su fin es promocional para diversos productos.

El cerdo que mide 1.20 m. de largo y que pesa 8 Kg fue moldeado en solo una pieza. La ventaja económica ofrecida por el moldeo rotacional fue el factor principal en el -- bajo costo de este producto.

#### Marmita decorativa

Esta adaptación moderna de una marmita de hierro-

fundido de estilo colonial, se moldea por rotación con polietileno en polvo.

Es un elemento decorativo. Tiene infinidad de usos, como macetero, revistero, recipiente para leña en el hogar y todo uso en general exceptuando el de utensilio de cocina. Gran cantidad de decoradores se han visto atraídos por la similitud de la marmita al original de hierro fundido.

La marmita es de color negro, tiene un diámetro de 50 cm. y un asa de alambre negro esmaltado. Se moldea con Microthene 710. Se produce en dos pesos diferentes:

- A)- 1.5 Kg. para exhibición en tiendas y
- B)- 2 Kg. para uso del hogar.

La terminación de la marmita imitando hierro fundido, se obtiene tratando con arena el interior del molde de aluminio.

Debido al tamaño de la marmita y a la poca cantidad requerida, el moldeo por rotación resultó la única forma práctica para producir este artículo.

#### Maletín para bola de boliche

Es el maletín mas liviano en el mercado, que pesa 1 Kg. es fuerte y a prueba de golpes. Se fabrica en diversos colores y tamaños. Tiene una manija integral a prueba de roturas y una terminación imitación cuero.

Se esta considerando un maletín para instrumento musical y otros aún en desarrollo se producirán en un futuro cercano, de acuerdo al mismo fabricante.

### Cajas de baterías

Tradicionalmente las cajas de baterías se ha hecho con caucho duro y aún hoy, aproximadamente 98% de las baterías ácidas usan este material, como ejemplo la Electric Storage - Battery Co. produce 180,000 lb. de caucho duro por día de trabajo.

Hace algún tiempo decidieron hacer algunas de estas cajas de polietileno rotomoldeado en vez de caucho duro.

Para empezar, los moldes para fabricar estos objetos particulares por moldeo a presión de caucho tienen un costo de \$ 7,000 cada uno con la desventaja que la entrega del molde, que sabemos es crítica, se lleva al cabo de 20 a 26 semanas.

Por cambiar al moldeo rotacional se reduce el costo del molde en un 75% y por supuesto tendremos una mas rápida entrega.

Generalmente se usa mas el polietileno de alta densidad que otros polietilenos de media y baja densidad que también se pueden usar en moldeo rotacional y a menor costo que el de alta densidad, y además muchas veces son mas fáciles de conseguir.

Pero, hay ciertos requerimientos mínimos que un recipiente de batería tiene que cumplir. Sabemos que la formación industrial de celdas, la temperatura, los ácidos calientes, resistencia a la distorsión y relativo manejo duro, son-básicos y los podemos encontrar en el polietileno de alta den

sidad.

Este no es el tipo de producto mas fácil de moldear. Es un producto industrial, las tolerancias son relativamente estrechas, y los lados largos perfectamente planos, tienen - tendencia a arquearse justamente en esas áreas donde el arqueado no puede tolerarse.

Se requiere gran cantidad de esfuerzo y tiempo de desarrollo sobre el producto para que mantenga su integridad dimensional, resista las temperaturas extremas, y retenga todas las propiedades físicas a través del rango de temperatura.

Hay un número de materiales positivos por supuesto. Uno es el polietileno con su alta resistencia al impacto. Usando paredes mas delgadas que en caucho duro, y manteniendo las dimensiones externas podemos aumentar las internas dando al fabricante mayor espacio para ácido que antes. Lo que es para el mercado de baterías un buen punto de venta.

Otro aspecto: las cajas moldeadas rotacionalmente no necesitan diseño o remate, uno u otro, en la unidad o en la sección de pared como esta en el recipiente de caucho duro. Esto causa que cuando un número de estos recipientes se ensamblan juntos que en orden de la fabricación de baterías, el área desarrollada en el fondo y en la pared superior son exactamente las mismas. Esto elimina tener que necesitar bloques de empaque que normalmente se usan en cajas de caucho.

Como ya dijimos antes el poder disminuir el espesor de pared no nos da solo una baja de costos sino un menor peso. Algunas veces esto es negativo pues el peso de la batería se usa como contra peso algunas veces en la industria.

Los recipientes moldeados rotacionalmente se moldean siempre en moldes de aluminio fundido. Este es según algunas personas, el mejor molde para este tipo de piezas pero en realidad no se ha experimentado con otro tipo de molde.

Se usa una máquina Mc.Neil con calentamiento de aire pero hay también calentamiento con sales fundidas.

#### Tanque de gasolina

El polietileno no se recomendaba para estar en contacto con gasolina, nafta, etc. Pero el polietileno de alta densidad si se puede usar con gasolina.

Los tanques de gasolina rotomoldeados aparecieron por el año de 1964.

Los tanques plásticos dan un ahorro en el precio por pieza particularmente en volúmenes moderados de producción.

El diseño original fue esencialmente un duplicado del tanque metálico de 72 lt. (18 galones). La parte pesa 4.1 Kg. (9 lb.) y fue aproximadamente de 135 milímetros de espesor.

En uso la parte de abajo del tanque se dobla excesivamente por el peso, con el tradicional método de montaje de correas. Se rediseñó y al segundo molde se le incorpora

ron miembros endurecedores que atraviesan la parte de abajo. Esto le proporcionó la rigidez necesaria.

En esta corrección al encombamiento, la prueba -- funcional reportó un rompimiento al final de los endurecedores, determinando que son puntos de flexión y tensión.

Se aumentó el espesor a 182 milímetros dándoles -- un peso de 5.5 Kg. (12 lb).

La zona de prueba de vehículos de la Kaiser Jeep en Carson City, Nevada, con un radio de 37 Km. (20 millas), -- es extremosa en calor y frío llevando el vehículo 1850 Km. -- (1000 millas) al día en condiciones drásticas de operación.

Esta prueba es muy larga y lleva varios meses. -- Hubo dos accidentes separados con carros que usaban tanques -- moldeados pero los desperfectos que llegaron a sufrir los -- tanques son similares a los que sufrirían los metálicos.

Otra prueba, es con dos tanques que llenan a tres cuartas partes con agua y se dejan caer de una altura de 5 m. (15 ft.) en pavimento intentando que se golpeen en una esquina. La primera caída del tanque moldeado fue sobre una es-- quina sin sufrir daño. La segunda caída aterrizó sobre la -- parte de arriba del tanque curvandose y lanzando la junta -- fuera del tanque, el tanque sin embargo, quedó intacto.

La misma prueba hecha con el metálico al tirarlo -- y golpearse en una esquina, empezó a gotear.

Los moldes son de aluminio fundido de un cuarto -- de pulgada (.6 cm.) de espesor aproximado. Cada molde se --

ventea para prevenir hoyos soplados en la línea de separación. El centro de operación se forma por un corazón fijo de una combinación de aluminio y teflón.

El orificio para llenar y el venteador se moldean cerrados y en una segunda operación se cortan.

El moldeo se realiza con aire caliente en un horno a 750°F.

Se requiere un tiempo de fusión de 12 minutos para obtener un espesor de 187 milímetros, o menos de 10%, con polietileno de alta densidad, U.S.I.

La fase de enfriamiento de todo el ciclo es la parte crítica, con respecto a la distorsión y prueba de impacto. Una combinación de aire forzado y agua se usa para optimizar estas características.

Se marcan los tanques con el día mes y año, con una tinta especial que se transfiere y fusiona con la superficie.

Finalmente se hacen varias pruebas como son: peso final, inmersión en agua, verificación dimensional y examen visual del interior terminado.

Algunos especímenes se toman y se ve la densidad de la resina moldeada, índice de fusión y fuerza de impacto a -20°F.

#### G) VENTAJAS DEL PROCESO DE MOLDEO ROTACIONAL

Existen muchas razones obvias y realistas por el-

creciente interés en el moldeo rotacional, como un proceso de fabricación. El bajo costo de inversión inicial en comparación al tamaño de la parte crea esta atracción. Por su flexibilidad permite se manufacturen muchos productos pequeños en el mismo equipo donde son hechos grandes productos simples.

El moldeo rotacional además reporta flexibilidad en la producción. Los moldes producidos comercialmente de una forma similar, pero de diferente tamaño, pueden usarse en la misma araña de moldeo en la misma corrida. También pueden producirse diferentes formulaciones de pigmentación. Las máquinas de múltiples espigas, ahora accesibles, permiten usar diferentes resinas (densidad, índice de fusión, color) en brazos separados a la misma vez. Esto es posible donde la velocidad de rotación, tiempo de calentamiento, tiempo de enfriamiento, etc. se controlan independientemente para cada brazo.

Estudios de costos económicos, demuestran que el moldeo rotacional es particularmente atractivo para corridas de baja producción o donde el capital es limitado. Desde el punto de vista competitivo con los procesos de inyección y moldeo por soplado, es un proceso mas complementado. Las resinas usadas de un índice de fusión extremadamente bajo en el moldeo por soplado no pueden fundirse facilmente a centrifugación. Sin embargo las secciones de paredes gruesas o partes muy largas que estan mas allá del límite del tamaño para

equipo de proceso de inyección o moldeo por soplado, pueden rotomoldearse fácilmente.

Otras ventajas son

- 1.- Los costos de elaboración son moderadamente - bajos, permitiendo en pequeñas corridas producir partes de - prototipo o cantidades de evaluación de mercado.
- 2.- Los desarrollos del proceso incrementan las - velocidades de producción, las cuales presentan una situación mas competitiva para el moldeo rotacional comparado a los de más procesos existentes.
- 3.- Las partes están virtualmente libres de esfuer - zos debido a que no se usa presión externa en el moldeo.
- 4.- Se producen pequeños, pocos, o nada de despo - jos de resina porque se usa el peso exacto del material.
- 5.- Se puede lograr espesor de pared uniforme. -- Las esquinas radiales tendrán mayor espesor que las paredes - del artículo, para añadir fuerza donde mas se necesita.
- 6.- Pueden producirse partes totalmente cerradas - y huecas.
- 7.- Las partes no tienen líneas de unión.
- 8.- Muchas partes que no son factibles de hacer - por otro proceso, pueden producirse económicamente por moldeo rotacional.
- 9.- Partes complicadas, rígidas con cortaduras, y que contengan inserciones de metal pueden moldearse con faci - lidad.

10.- Dos o mas materiales diferentes pueden moldearse a la vez.

11.- Los moldes son mas baratos que en los otros procesos y pueden ser de hoja de metal o de aluminio fundido.

12.- No existe máquina de "bajo tiempo" para cambios de color y varios colores se moldean a la vez en la misma máquina.

13.- Es posible mantener la uniformidad del espesor dentro de un margen 5%. Las diversas técnicas para moldear polvos permiten moldear piezas con espesores del orden de 0.8 a 25 mm.; también es posible conseguir variaciones de espesor relativamente grandes de una pared a otra de la misma pieza, practicamente a voluntad, siempre que la variación sea gradual.

14.- Es posible moldear resinas con variadas combinaciones de densidad e índice de fusión. En los otros procedimientos de moldeo, solo pueden moldearse resinas de bajo índice de fusión, pues las resinas de elevado índice de fusión tienden a fluir hacia el fondo del molde.

15.- Se pueden moldear practicamente piezas sin limitaciones de tamaño. El único factor a considerar es el límite práctico en el tamaño del molde y la resistencia de los ejes.

16.- No es necesario el calentamiento posterior del artículo para obtener una superficie lisa.

17.- El moldeo rotacional, es económico en muchos casos aise le considera como costo por unidad. Se adapta fácilmente a métodos de producción continuos y de gran rendimiento, especialmente cuando se utilizan cavidades múltiples.

### Conclusiones

El molde rotacional tiene definitivamente una posición como proceso de fabricación en la industria plástica, - separado y aparte del moldeo por inyección, por soplado, termoformado y otros métodos de fabricación. Los polietilenos de baja y mediana densidad están ya establecidos como materiales sobresalientes para el moldeo rotacional, y los polietilenos de alta densidad tienen un brillante futuro en artículos industriales y de otro consumo. Muchos moldeadores, - hoy en día, están buscando aplicaciones que requieran las propiedades del polietileno de alta densidad. Esto significa que muchos de estos productores no necesitan extender su tecnología del polietileno de baja y mediana densidad a los polietilenos de alta densidad.

En suma, los fabricantes de equipo están continuamente mejorando sus máquinas para permanecer al nivel de las necesidades del fabricante. El resultado final de este esfuerzo creativo dará productos de mejor calidad que satisfagan las necesidades del creciente mercado potencial.

### CAPITULO III

#### ECONOMIA.

El aspecto económico es primordial en la industria y por lo tanto es una de las causas mas importantes que en el desarrollo de cualquier proceso se encontrará. En este aspecto, el moldeo rotacional con polvos de polietileno, presenta un panorama verdaderamente prometedor que permita pronosticarle un gran avance.

Con el fin de dar bases para la afirmación que se hace en el párrafo anterior sobre el futuro de este método de rotomoldeo se verá primeramente la conveniencia de usar polvos de polietileno y luego se presentarán diversos casos específicos de comparación de artículos moldeados por diferentes procesos, desde luego, todo ello visto desde el punto de vista económico, y así se llegará a dar conclusiones que den fuerza en la afirmación de que el moldeo rotacional es el mas conveniente en muchos casos ya que es mas económico.

#### Comparación entre el polietileno micropulverizado y los plásticosoles de vinilo

El método rotacional se utilizó extensamente con plastisoles de vinilo. Los polvos de polietileno micropulverizado, de formulación especial, pueden utilizarse en los equipos existentes de moldeo rotacional con solo algunas modificaciones en el ciclo de operación.

Algunas de las ventajas del polietileno micropulverizado sobre los plastisoles en pasta o líquidos desde el pun

to de vista económico son:

1.- El precio por Kg. es comparable pero se necesita un tercio menos de polietileno (en peso) para obtener un espesor similar en las paredes del artículo moldeado, debido a la menor densidad del polietileno. (La densidad del polietileno de baja densidad es aproximadamente 0.92 comparada con alrededor de 1.4 para el plastisol de vinilo).

2.- Los fabricantes han descubierto que se necesita 1.8 Kg. de plastisol de vinilo rígido para producir un juguete de gran tamaño y solo 1.1 Kg. de polietileno micropulverizado para producir el mismo artículo o sea una reducción -- del 40%. Sus ahorros han sido de \$ 5.00 por pieza, incluyendo en esta consideración el incremento de la mano de obra debido a la necesidad del tratamiento por flama de la superficie para obtener la adhesión de la pintura.

3.- La rigidez de los artículos moldeados con polietileno micropulverizado es superior a la de los fabricantes con plastisoles de vinilo. Por lo tanto se podrán obtener ahorros mayores pues se alcanzará la misma rigidez con paredes más delgadas. Por ejemplo, un fabricante de pelotas de juguete obtuvo un ahorro de 66% pues fue necesario utilizar -- menos polietileno para obtener características similares.

4.- Otra ventaja del polvo de polietileno es la -- eliminación del uso de aditivos pues solo es necesario agregar el color. Los plastisoles de vinilo están compuestos generalmente por media docena de ingredientes.

Todo esto ayuda en parte a entender el hecho de que el uso de polvos de polietileno, en el método de rotomoldeo le viniera a dar un gran desarrollo.

#### Evaluación económica

Se tratará aquí el moldeo rotacional de los polietileno lineales y algunos elementos de costo pertinentes que -- van con el producto terminado y algunas de las comparaciones -- con otros productos de la misma línea.

La industria hoy en día tiene la tecnología para el moldeo rotacional de polietileno lineales. Para muchas, aunque no para todas las aplicaciones, la temperatura incrementante de operación, rigidez, resistencia química, y la permeabilidad reducida del polietileno lineal, ampliaron el horizonte de la técnica de moldeo rotacional, resultando en nuevas aplicaciones.

Se echará primeramente una mirada a la ventaja obvia de la rigidez incrementada del polietileno lineal y el impacto económico de esta ventaja. La figura 44 es meramente una ilustración práctica del porcentaje de diferencia en este respecto entre polietileno de baja y alta densidad.

Los rangos de la figura van de 25,000 a 55,000 lb/pul<sup>2</sup> para el convencional y de 85,000 a 125,000 lb/pul<sup>2</sup> para polietileno lineal.

Cuando se comparan inteligentemente las dos columnas de porcentajes, se encuentra un mínimo de 55% de máximo (izquierda) a mínimo (derecha) y un total de 125% de ventaja de -

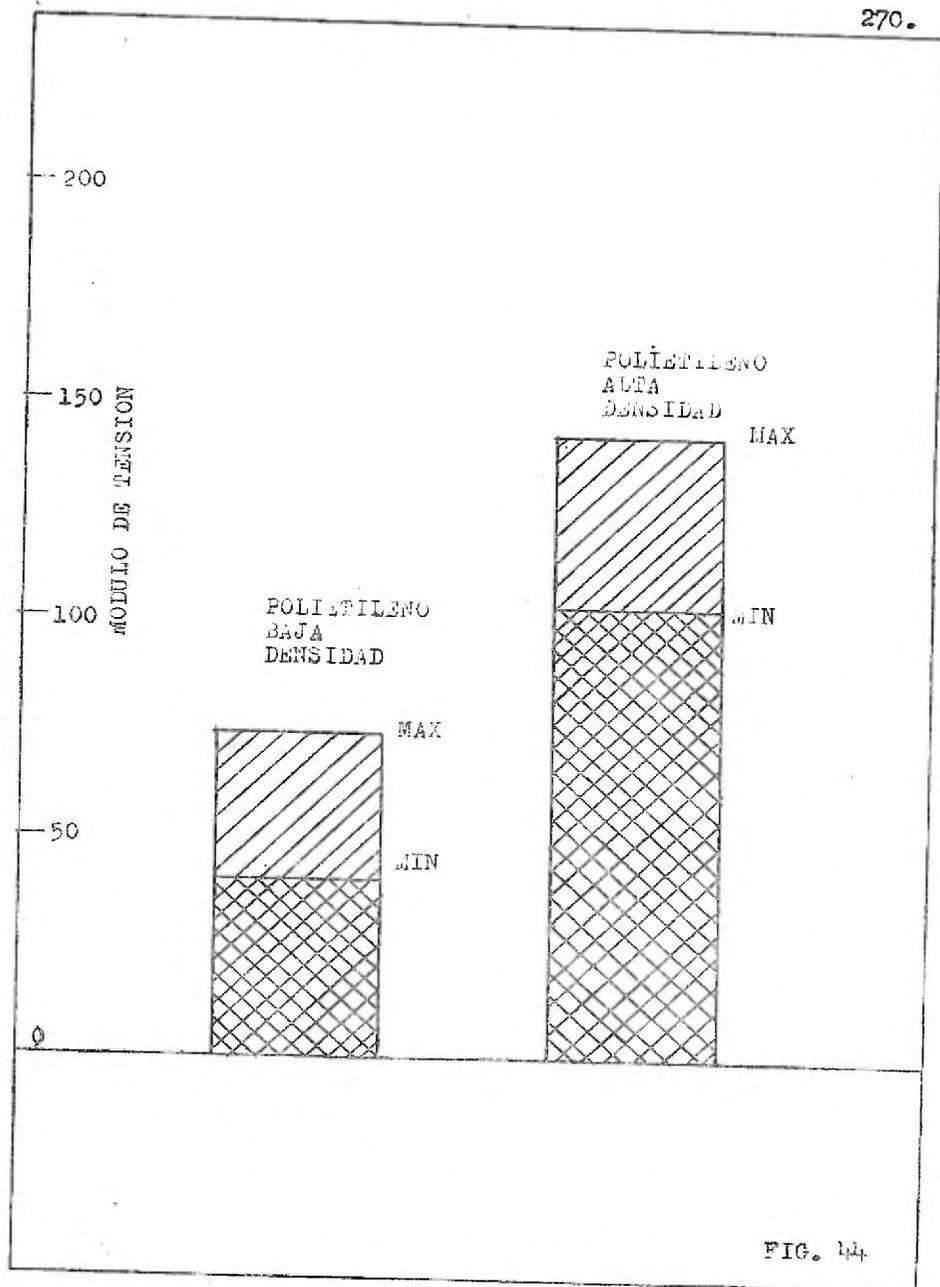


FIG. 144

máximo a máximo. Esto es aún mas si por cualquier manera se quiere comparar máximo (derecha) al opuesto mínimo (izquierda). Esto significa un mejoramiento substancial que puede dar ventajas económicas en el rango de 20 a 30% para ciertas partes y situaciones. Para un artículo de la misma rigidez en polietileno lineal se puede hacer bajar el peso total en 40% o mas comparando con el polietileno lineal convencional.

El moldeo rotacional, como un proceso básico para ambos polietilenos convencionales o lineales y para otros materiales termoplásticos, tiene la decidida ventaja de no tener material de desperdicio o remolienda en el producto terminado. Esta es una ventaja económica muy importante. El producto generalmente es funcional, listo para usarse, ensamblarse, o decorar cuando se saca del molde, requiriendo escasos arreglos en algunos casos, y nada en la mayoría.

En moldeo por soplado y los procesos de termoformado varían ampliamente los porcentajes de remolienda, figuran en el rango tan alto como de 60 a 70% de la parte original tomada de la máquina.

El moldeo por inyección es considerablemente mejor en lo que respecta a remolienda, pero los desperdicios figuran entre 5 a 25% de la parte original; en situaciones especiales particularmente para partes pequeñas con largas corridas, el porcentaje puede ser tan alto como en el moldeo por soplado o el termoformado. El porcentaje depende enteramente de el diseño del producto, el número de cavidades y --

otras variables.

La figura 45 es una ilustración gráfica de el porcentaje de remolienda en los cuatro procesos mencionados, contra poco o ninguno en el moldeo rotacional. Las líneas superiores de las tres columnas de la derecha son los promedios - que encontramos en moldeo por inyección, por soplado y termoformado. Las líneas indefinidas en la parte superior indican que la remolienda en estos procesos en ciertos casos puede -- llegar a muy alto. Se cree que no hay límites específicos.

En el moldeo rotacional, un líquido, o un polvo finamente dividido se coloca en un molde totalmente cerrado el cual gira simultaneamente en dos ejes por lo menos.

Ya se han visto los diagramas de esta técnica. En la presencia del calor, todo el material se derrite o funde - contra el molde, formando el artículo deseado. Una vez que - el molde se enfría, se abre y el artículo se saca.

El moldeo rotacional se considera mas apropiado pa - ra la producción de productos con finos detalles, también pa - ra la producción de artículos completamente cerrados los cua - les sean extremadamente difíciles de moldear por otros proce - sos.

El rotofundido esta probando ser útil para artícu - los grandes con paredes gruesas, con cavidad o no. La mayoría de los artículos que están saliendo tienen cavidad o hueco, - pero existen muchas aplicaciones de la técnica para artículos que no tienen cavidad.

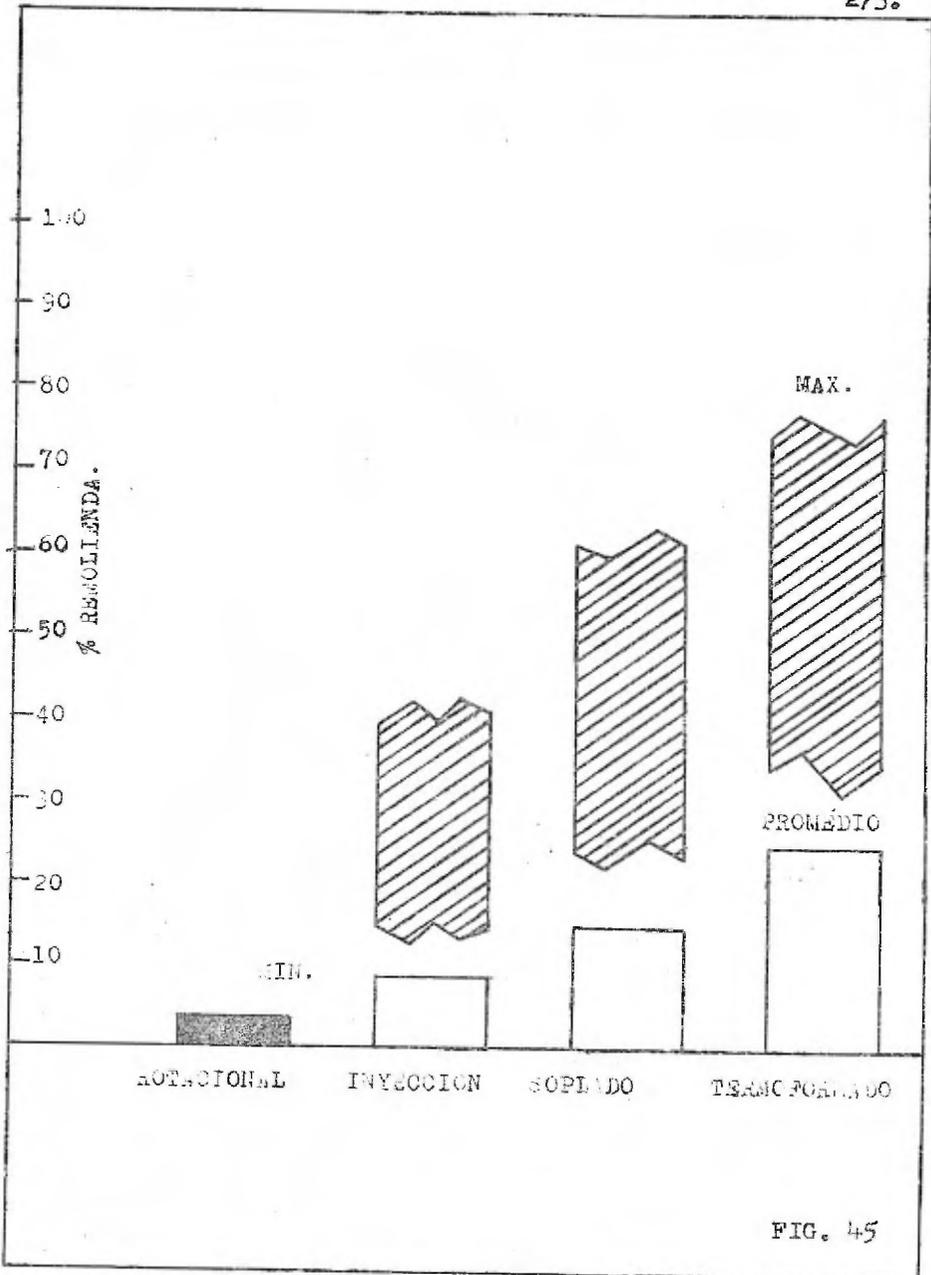


FIG. 45

Los primeros materiales que se fundieron rotacionalmente fueron los plastisoles vinílicos, como ya vimos, los cuales se prepararon dispersando una resina especialmente fabricada en un plastificador. Mas recientemente el polietileno con una densidad tan alta como 0.96 y aun algún polvo de PVC sin plastificar se funden rotacionalmente. Es teóricamente posible usar en este proceso cualquier material termoplástico que contenga 100% de sólidos.

Una de las principales ventajas del moldeo rotacional es que los moldes dan reproducciones exactas de los detalles.

Otra ventaja es que el proceso permite alimentación separada y que se usen bombas de medición, estas son relativamente baratas y virtualmente eliminan la contaminación del color, factor económico muy serio. No se puede hacer con cualquiera de los otros tres procesos lo que se hace con el moldeo rotacional, al menos en teoría; tal como corridas de media docena de color rosa, media docena de color azul, de nuevo a otro color y volver a empezar.

El único problema en la producción del color que tenemos en el moldeo rotacional es tener el material original en forma de polvo del color deseado. Esto, se entiende que va a hacerse comercial en escala razonable.

Es también posible producir varios artículos solo burdamente similares en tamaño y espesor en la misma máquina. De tal manera, que trabajos de un estilo en pequeño volumen --

pueden ser económicos.

Una ventaja mas en el moldeo rotacional es la ausencia de esfuerzos, frecuentemente encontrados en otros moldeos.

Otra fuerte ventaja en el moldeo rotacional reside en las corridas cortas que están prohibidas económicamente si son hechas por procesos competitivos que tengan mayor costo en los moldes.

El proceso permite hacer reproducciones muy cercanas, porque un molde apropiado puede hacerse mediante galvanizado o fundición.

En suma, los moldes de pared delgada pueden usarse porque el sistema opera bajo una presión despreciable. Además permite el uso de moldes dobles para partes intrincadas o para partes rígidas con algunos canales o cortadas, y así elimina la necesidad de un ensamble.

El proceso de moldeo rotacional no requiere ninguna producción especial. Las máquinas de fundición, siendo unidades bien integradas, pueden fijarse para facilitar el movimiento de materiales. Debido a que el moldeo rotacional requiere relativamente pocos servicios y no tiene problema de desperdicios, no hay restricciones en la localización de plantas. Sin embargo, debido a que la mayoría de los artículos fabricados son huecos, se puede ahorrar en la transportación situando la producción cerca del mercado. El mismo artículo hecho por cualquier otro proceso tiene el mismo problema.

Debido a la gran cantidad de moldes necesarios, el

costo se mantiene en un mínimo mediante el sacado manual de los artículos de los moldes y no automáticamente. Una abertura de la araña puede dar de 1 a 40 o más cavidades dependiendo del tamaño del artículo. El operador colocá los artículos en una banda transportadora la cual los aleja del área de producción y le permite continuar con su trabajo.

La mayoría de los acabados necesarios en el moldeo rotacional son: limar un abertura, pulir el molde o cortar un doble molde.

La pulida es necesaria para partes decorativas tales como fruta artificial, porque los moldes baratos tienden a combarse y dejar una marca brillante en la línea de unión. Un mayor grueso del metal en la línea de unión minimiza esta falla.

El tercer tipo de acabado, cortar el molde doble, ocurre frecuentemente en la mayoría de las partes simétricas.

Para este análisis no se hizo previsión alguna en los cálculos de costos para un empaque cuidadoso o para proteger las partes en un canasto.

Los moldes para moldeo rotacional son ligeros y baratos, normalmente se hacen de formados eléctricos de cobre, aluminio fundido, en algunos casos de aluminio maquillado. Los dos primeros son particularmente buenos para dar reproducciones exactas. Los moldes se pulen internamente, dependiendo de la superficie deseada.

Sin embargo, debido a que estos moldes se someten

a muchos ciclos de calentamiento y enfriamiento, tienden a -  
combarse y generalmente producen un brillo en la línea de-  
unión, como ya se mencionó.

Esto puede minimizarse mediante un mejor diseño -  
del producto, reforzando el molde, selección de la mínima lí-  
nea de unión detectable o por operaciones secundarias.

Los moldes son generalmente pulidos en su parte in-  
terna pero esto depende enteramente de la clase de superficie  
que se quiere. Si se quiere una textura de superficie ruda,  
se puede golpear con arena (sand-blast) o morderla en la su-  
perficie interna.

El proceso soluciona cualquier detalle que se quie-  
ra poner en la pieza.

El movimiento rotacional de la máquina de moldeo -  
tiende a producir un recubrimiento parejo en la superficie in-  
terna del molde, pero si se varía el espesor del molde se afec-  
ta el espesor de la pared del artículo. Esto se convierte en  
un factor muy importante si compiten por un mínimo espesor de  
pared que acompañe un bajo costo. Un espesor mayor de pared-  
se puede obtener por dos métodos contradictorios, parecidos -  
para rotación en la estufa; hacer el molde mas delgado en es-  
ta sección y por lo tanto permitir una mas rápida transferen-  
cia de calor en esa porción; y para moldes precalentados, ha-  
cerlo mas grueso, para que retenga mas calor y así dar una --  
sección mas gruesa.

El primer método se usa mas a menudo. En el segun

do método, el molde se enfría muy poco y se usa un ciclo corto de calentamiento. Bajo condiciones adecuadas, cualquier método puede seleccionarse.

Otra ventaja muy grande de moldeo rotacional en el aspecto económico son los costos de entrada para artículos -- nuevos, especialmente los costos de elaboración, suponiendo -- la existencia de una máquina básica de producción disponible -- para el uso. De los otros tres procesos, el moldeo por inyec -- ción tiene los costos de iniciales mas altos El moldeo por so -- plado, el cual se refiere a menudo como de bajo costo de ma-- nufactura, realmente no esta muy lejano.

Evaluación económica de moldeo rotacional o fundido compa--  
rado con moldeo por inyección o soplado

La comparación no ha sido muy estudiada ya que cada proceso tiene un campo en el cual es mejor y para el cual se diseñó, por ejemplo: el moldeo por inyección produce partes de alta precisión a altas proporciones de producción, pero no es fácil usarlo para hacer un recipiente cerrado. El moldeo por soplado es mejor para hacer botellas y otros artículos que tengan curvas y requieran una resina de alta viscosidad; no es bueno para hacer partes de pared gruesa. El moldeo rotacional es mejor para hacer partes cerradas de pared -- gruesa.

Cada proceso tiene amplias diferencias en sus variables de operación. con moldeo rotacional por ejemplo un -- cambio en la composición de la resina, densidad o peso mole--

cular ocasiona un gran cambio en el ciclo de tiempo y lo mismo pasa con moldeo por soplado o por inyección. El tipo de resina es mas limitado en moldeo rotacional debido a la posible degradación del polímero por la alta temperatura.

Por otro lado incrementar el espesor de pared hace que sea menor la diferencia en el ciclo de moldeo rotacional que el que se ocasiona en el ciclo de moldeo por inyección o por soplado. Los cambios en la parte proyectada son usualmente mas fáciles y baratos de hacer en el moldeo rotacional.

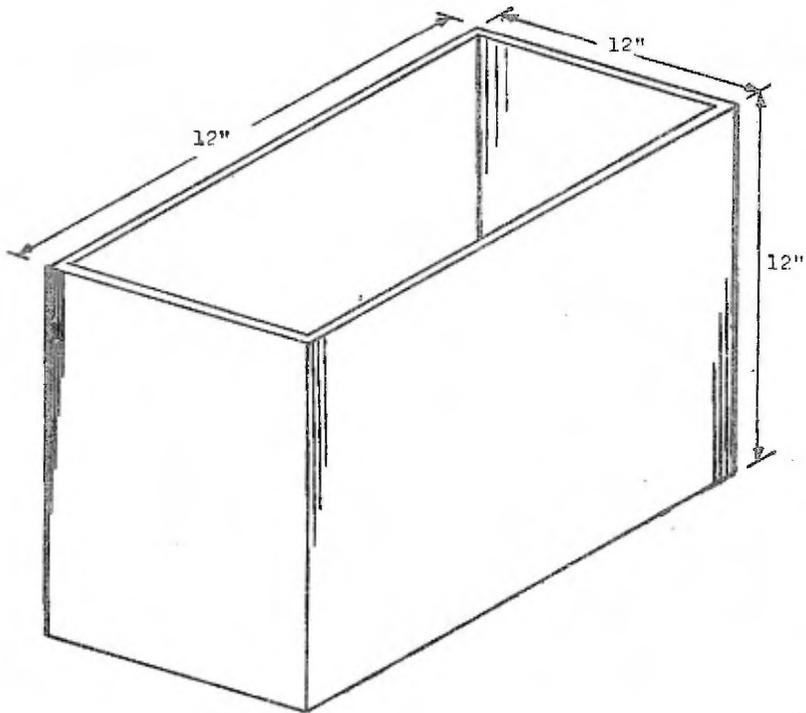
La figura 46 muestra un diagrama y algunos valores de un recipiente pequeño y sencillo.

Lo seleccionamos porque puede hacerse por varios procesos y tenemos varias comparaciones de costos disponibles sin tener que entrar en grandes detalles.

Es un artículo simple que se hizo por inyección, soplado y termoformado, así como por otros métodos de construcción.

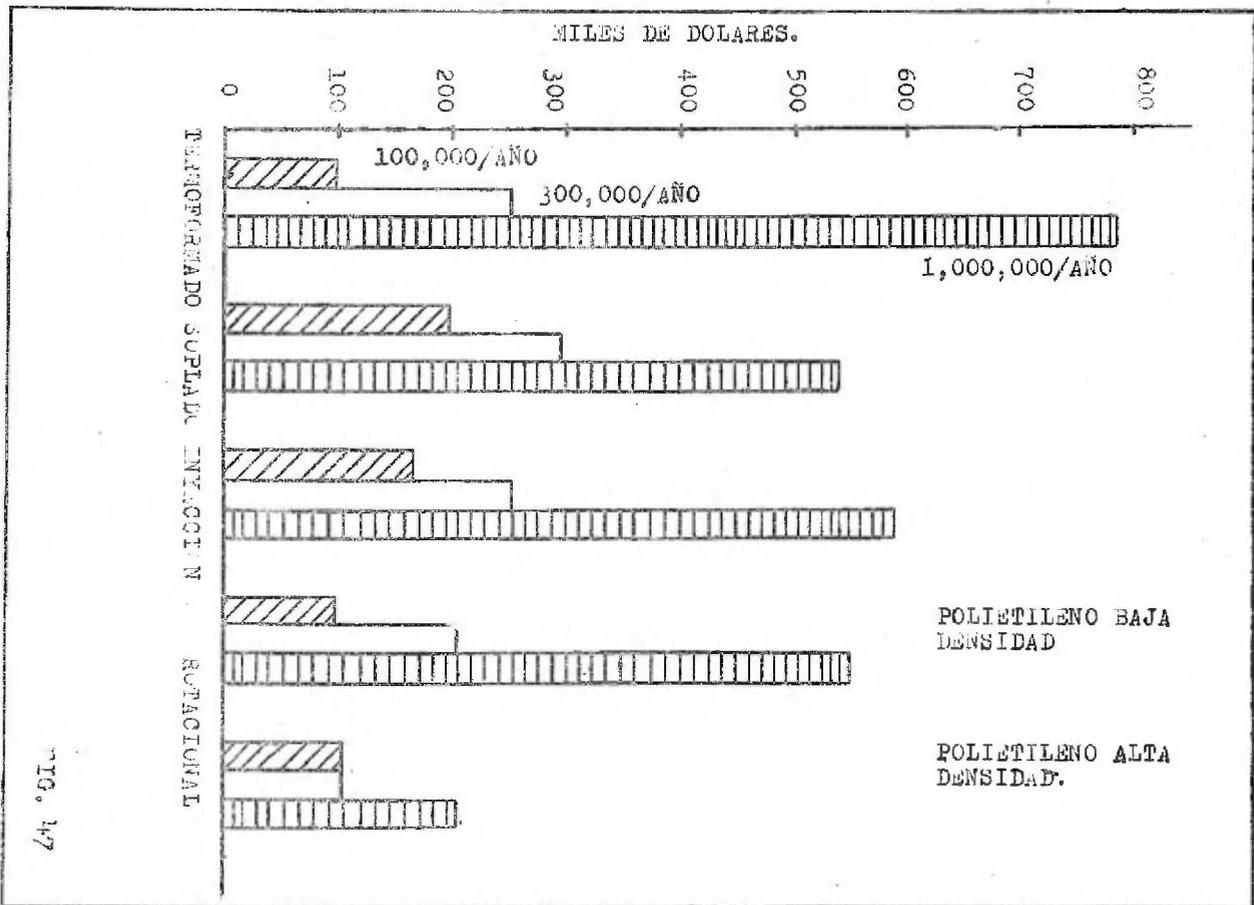
Las comparaciones forma contra forma, espesor contra espesor de este artículo, dará una pequeña visión de los gastos de proceso y acabado, particularmente en terminos de pulgadas cúbicas de material.

La figura 47 muestra para el polietileno, la estructura del costo de inversión para los tres procesos que se usan normalmente, válidos hasta hace un año. Además incluye gráficas de moldeo rotacional para polietileno convencional y lineal.



ESPEJOR DE PARED	0.125 PUL.
DIMENSIONES	1FTx1FTx1FT.
AREA	136.2 PUL <sup>2</sup> .
VOLUMEN DE MATERIAL	72.3 PUL <sup>3</sup> .
CONSIDERACIONES BUEN ACABADO	
VOLUMEN DE PRODUCCION	100M 300M 1MM.

FIG. 46



Tomando en consideración la gráfica para polietileno lineal, el moldeo rotacional era el proceso favorable, pero para polietileno convencional no.

La figura 48 muestra los costos de manufactura para el pequeño recipiente; o sea cuál es el costo para entrar en producción de este artículo en particular a varios volúmenes de producción para los cuatro diferentes métodos de moldeo.

Como puede verse, cuando se moldea rotacionalmente con polietileno lineal, los costos de manufactura suben ligeramente. Los costos de entrada, sin embargo, no se suben tanto como en el moldeo por soplado como se verá después.

Existen tres niveles de producción mostrados en las figuras 47 y 48. Los niveles son 100,000, 300,000 y -- 1,000,000 de piezas.

Los cuatro procesos son en orden, de izquierda a derecha, moldeo rotacional, moldeo térmico (termoformado), moldeo por inyección y moldeo por soplado.

La figura 49 muestra los costos de conversión de materiales para estos cuatro procesos. Presenta moldeo rotacional como era practicado hasta hace un año con polietileno convencional así como los costos comunes para polietileno lineal.

En este estudio, del pequeño recipiente, se comparó la fabricación con polietileno de alta densidad por las cuatro técnicas. Es importante darse cuenta, sin embargo --

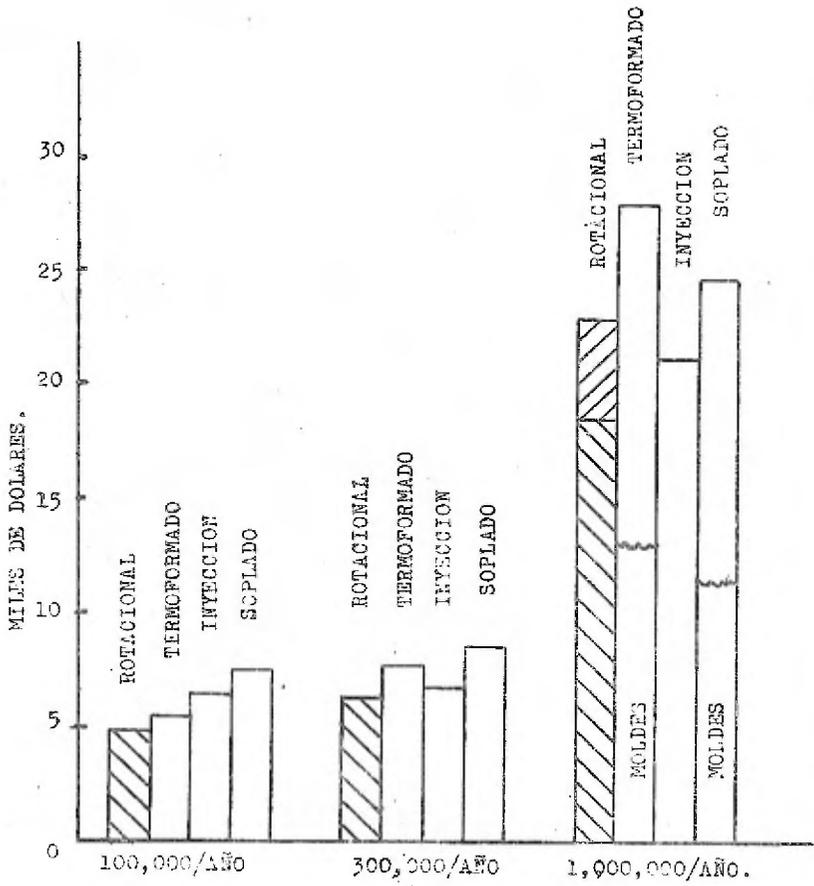


FIG. 48

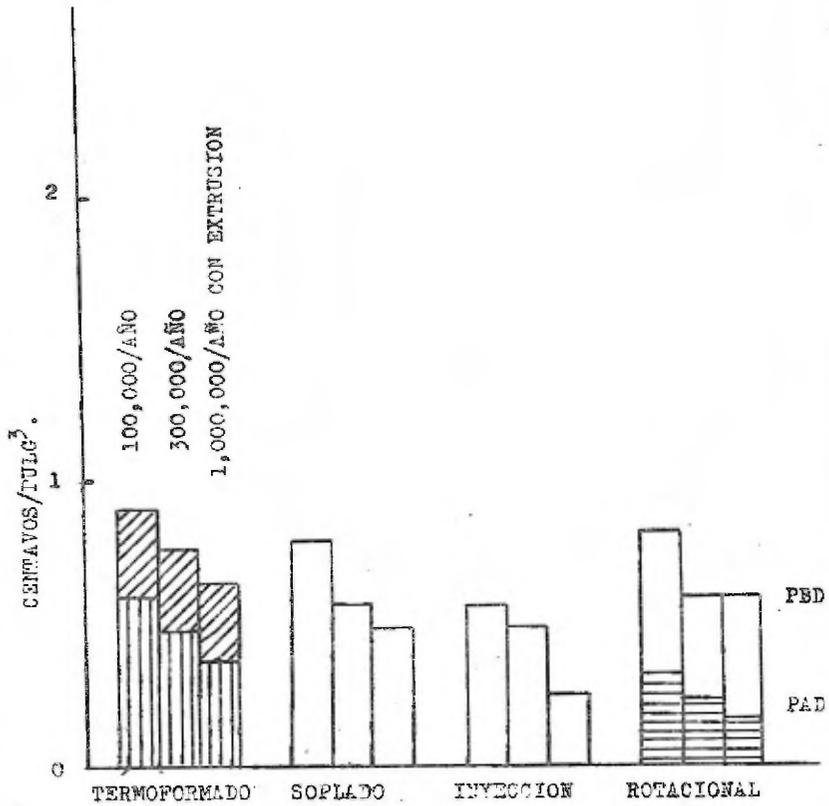


FIG. 49

que la selección del proceso adecuado, a menudo no puede hacerse con base en costos únicamente, en algunos casos, un proceso podrá ser el único método práctico de manufactura de un producto de cierta forma.

Por ejemplo, un objeto sin costuras hueco que requiera espesor de pared uniforme será casi siempre rotomoleado, debido a que requiere soldarse en el moldeo por inyección y por termoformado, en el moldeo por soplado no cumplirá con el requisito de espesor de pared uniforme.

Por otro lado, un artículo muy largo, plano tal como un visel de puerta de refrigerador será mejor si se termoforma.

Las máquinas de moldeo por inyección son ahora lo suficientemente grandes para manejar el artículo pero los altos costos de los dados o aberturas requeridos periódicamente debido a los frecuentes cambios de estilo hacen el proceso -- antieconómico.

Mas aún, la forma del artículo excluye el uso de moldeo por soplado. Del moldeo rotacional, por otro lado, se espera que entre al área de tales productos en un futuro cercano.

La conclusión obvia es que el diseño del producto y las especificaciones en la corrida determinan el material y método de manufactura.

Ahora regresemos al pequeño recipiente que analizabamos. Se escogió porque podía manufacturarse por los cuatro

procesos bajo consideración, así como por otros varios métodos de manufactura involucrando otros materiales.

La tabla 18 compara los costos de manufactura y conversión por unidad para producción en volumen mediante las cuatro técnicas de moldeo con costos estimados de varios otros materiales y procesos competitivos.

## Costos de:

	Manufactura por unidad	Conversión por unidad
<u>Moldeo rotacional</u>		
Poliétileno alta densidad	\$ 0.793	\$ 0.125
<u>Termoformado</u>		
Acrílico	2.807	0.351
Poliétileno alta densidad	2.646	0.333
Polipropileno	2.775	0.301
Poliestireno alto impacto	1.796	0.202
ABS	2.832	0.214
PVC rígido	4.884	0.198
<u>Moldeo por soplado</u>		
Poliétileno alta densidad	0.817	0.246
Poliétileno baja densidad	0.814	0.240
<u>Moldeo por inyección</u>		
Acetal	2.531	0.338
Policarbonato	2.531	0.276
Polipropileno	2.951	0.324
Poliestireno alto impacto	0.728	0.275

	Costos de:	
	Manufactura por unidad	Conversión por unidad
ABS	\$ 1.285	\$ 0.339
<u>Premix</u>		
Poliester	1.762	0.571
<u>Preformado</u>		
Poliester	2.092	0.688
<u>Rociado</u>		
Poliester	3.220	1.765
<u>Espumas</u>		
Espuma de estireno	0.408	0.139
Espuma de uretano:		
flexible	0.756	0.312
rígida	0.753	0.312

Tabla 18.

La tabla cubre el mismo pequeño recipiente que vemos en la figura 46, un artículo muy sencillo. No dice nada del diseño u otra cosa, esto es, no hace nada para la mente del diseñador, pero permite comparar un número de procesos diferentes.

Comenzaremos con la técnica con la que mayormente nos interesa, moldeo rotacional con polietileno de alta densidad. Este proceso salió con un costo total de manufactura, - incluyendo material \$ 0.793 (9.91 pesos) y un costo de conversión de \$ 0.125 (1.56 pesos) por unidad.

Estas cifras hicieron al moldeo rotacional el mas-

barato de la lista.

Para producir los otros artículos los costos del termoformado acrílico fueron \$ 2.807 (35.00 pesos) de los cuales \$ 0.351 (4.38 pesos) fueron para conversión. Los costos del termoformado de polietileno de alta densidad fueron \$ 2.646 (33.10 pesos) de los cuales \$ 0.333 (4.10 pesos) fueron los costos de conversión. Los costos de termoformado de polipropileno fueron \$ 2.775 (34.62 pesos) con costos de conversión de \$ 0.301 (3.75 pesos). El costo de termoformado de polietileno de alto impacto es \$ 1.796 (22.37 pesos) con un costo de conversión de \$ 0.202 (2.52 pesos). Para ABS es \$ 2.832 - (35.37 pesos), con un costo de conversión de \$ 0.214 (2.65 pesos) por unidad. Para PVC rígido, el costo de termoformado es \$ 4.884 (61.00 pesos) con un costo de conversión de \$ 0.198 (2.48 pesos).

En el moldeo por soplado, el polietileno de alta densidad salió aproximadamente con \$ 0.82 (10.20 pesos), con \$ 0.25 (3.08 pesos) de conversión y el polietileno de baja densidad con \$ 0.61 (10.15 pesos) y con \$ 0.24 (3.00 pesos) de conversión.

Debe recordarse que este estudio, sin embargo, de un artículo con el mismo volumen de resina en pulgadas cúbicas, esto es, la misma cantidad de material, no el mismo peso del material, de tal manera que el efecto de la densidad puede controlar el precio.

En el moldeo por inyección, el acetal salió con -

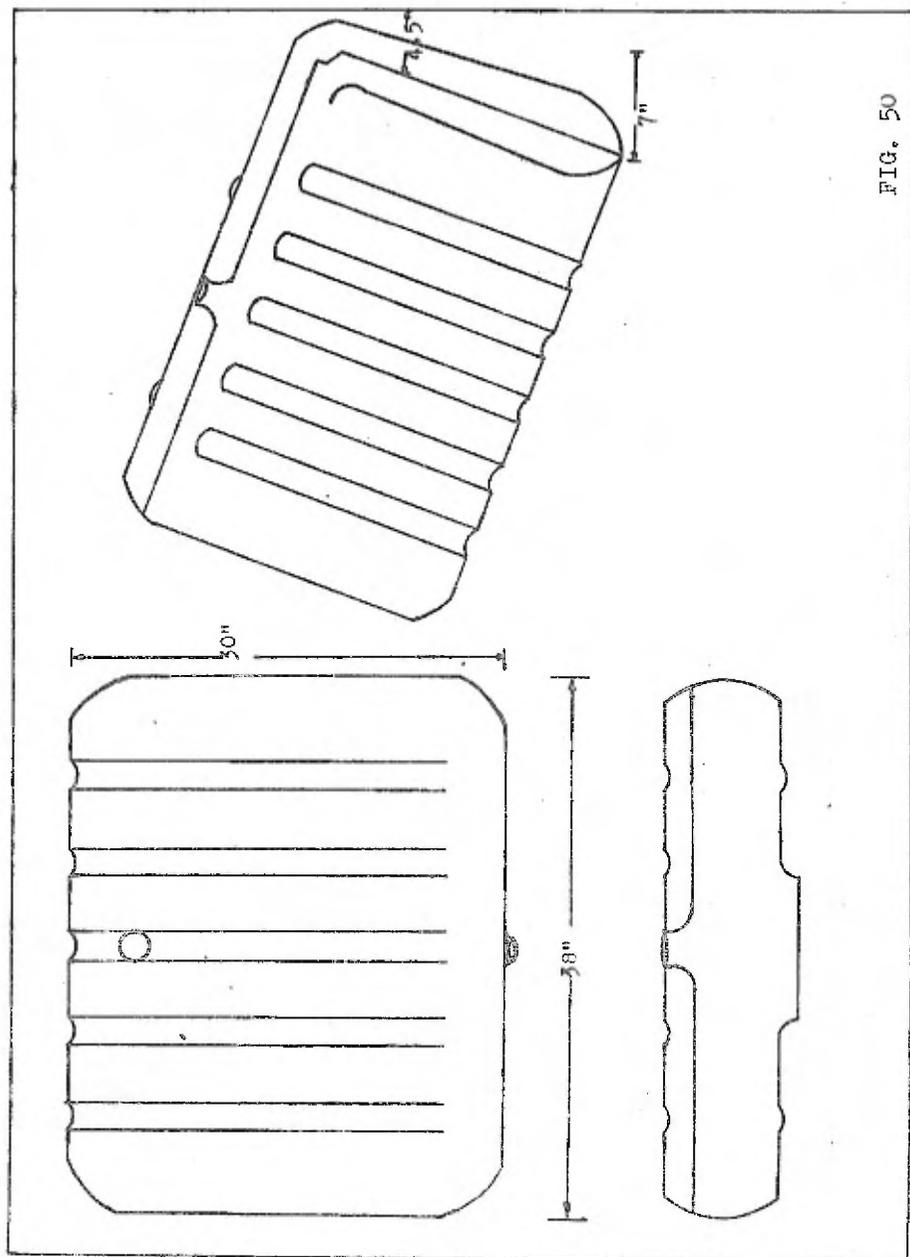
\$ 2.531 (31.60 pesos) con un costo de conversión de \$ 0.338 (4.23 pesos); el policarbonato también a \$ 2.531 (31.60 pesos) con un costo de conversión de \$ 0.324 (4.05 pesos), poliestireno de alto impacto a \$ 0.728 (9.10 pesos) con un -- costo de conversión de \$ 0.275 (3.45 pesos); y ABS a \$ 1.285 (16.10 pesos) con un costo de conversión de \$ 0.339 (4.25 - pesos)

En poliéster premezclado: el costo es \$ 1.762 -- (22.00 pesos) con un costo de conversión de \$ 0.571 (7.15 - pesos). Poliéster preformado con aire \$ 2.092 (26.00 pesos) con un costo de conversión de \$ 0.688 (8.33 pesos). Poliester rociado \$ 3.220 (40.30 pesos) con un costo de conversión de \$ 1.760 (22.10 pesos).

Liendo a alguno de los materiales baratos como - las espumas de uretano flexibles o rígidas, ambas están en el rango de \$ 0.75 (9.45 pesos) con \$ 0.30 (3.90 pesos) de costo de conversión.

El significado de estos datos es de que el moldeo rotacional del polietileno lineal tiene un costo de conversión que es mas bajo que en los otros procesos, al menos para esta forma simple. En la práctica actual, mientras mas complicada sea la forma, el moldeo rotacional aparece como el mas favorable.

La figura 50 muestra un tanque de gasolina teórico; es puramente una concepción artística de tamaño y forma



aproximados. Las dimensiones son 91.2-72-16.8 cm (38-30-7 pulgadas). Se calcula que el tanque puede soportar 70 lt. - (18 galones). Tiene un mínimo espesor de pared de 25 cm (1/10 de pulgada).

Se hizo un estudio de costos de tales tanques de gasolina por moldeo por soplado y manufactura de acero así - como moldeo rotacional y se dará un análisis de costos comparativos de los tres procesos, comenzando por el soplado.

La tabla 19 muestra los datos del moldeo por so--plado:

Proceso: Moldeo soplado-máquina simple

Objeto: Tanque de gas 0.25 cm. (0.100 pul.) mínimo espesor  
de pared 91.2 - 72 - 16.8 cm. (38 30 7 pul.)

Cantidad: 500,000

Material: Polietileno natural, 0.096 de densidad, 0.2 índice de fusión.

7 Kg (14 lb.) 5% desperdicio y variables de peso

<u>Capital en equipo</u>	<u>Costo</u>	<u>Vida</u>	<u>Amortización/año</u>
Máquinas de moldeo soplado (4)			
17.2 cm. (6 pul.) extrusor, 175 hp.			
122 cm. 152 cm. 14 Kg. (48 pul. 60 pul. 30 lb.) acumulador			
a \$120,000	\$480,000		

<u>Capital en equipo</u>	<u>Costo</u>	<u>Vida</u>	<u>Amortización, año</u>
Instalación e Ingeniería	96,000		
Enfriadores por molde	10,000		
Empaquetadores (4)	20,000		
Máquinas molidoras	10,000		
Equipo de almacenamiento	30,000		
Equipo auxiliar	<u>25,000</u>		
Total	\$671,000	10 años	\$67,100
Moldes (4)	32,500	2 años	<u>16,250</u>
			\$83,350/año

$$\frac{83,350}{6000 \text{ hr}} = \$13.89 \text{ hr.}$$

### Velocidades de producción

Ciclo de 2 min. = 30/hr, 85% de eficiencia = 25 1/2 hr.  
Total 102 hr.

25.5 hr 6000 hr = 153,000 unidades/año/máquina. Total  
612,000/año.

peso = (9 Kg.) 18.7 lb. Total de plástico requerido = (230 kg  
/hr.) 561 lb/hr.

Estimación de extrusor (425 Kg/hr.) 560 lb/hr.

### Trabajo requerido

4 operadores \$2.50 = \$1.00/hr. 4/10 capataz a \$5.00 = \$2.00/hr.

1 molidor/muchacho de piso 4/10 inspect. \$3.50 = 1.40/hr.

\$2.00 = 2.00/hr. 4/10 mecánico \$4.00 = 1.60/hr.

\$12.00/hr. 4/10 ayudante  
de mecánico \$2.50 = 1.00/hr.

\$6.00/hr.

Trabajo combinado	\$ 18.00/hr.
Beneficios (30%)	<u>5.40/hr.</u>
Costo total de trabajo	\$ 23.40/hr.

Utilidades por máquina

Motor extrusor	175 hp	
Bombas hidráulicas	50 hp	
Unidad refrigeradora	<u>25 hp</u>	
	250 hp	0.8 Kw/hp = 200 Kw.
		0.01625/Kw \$3.25/ hr.
Agua de enfriamiento y aire comprimido		<u>0.25/ hr.</u>
		\$3.50/ hr.
		\$3.50 4 = \$14.00/ hr.

Manufactura superiorAdministración

1 Administrador	\$15,000/año	
1 Ingeniero	12,000/año	
1 Recibidor de embarques	7,500	
1 Ayudante	4,000	
2 Empleados	<u>10,000</u>	
	\$48,500	4,10 = \$19,400/año \$19,400/año

Renta (por máquina)

Manufactura	4.000 ft <sup>2</sup>	a 1.50 = \$6.000/año
Almacenamiento	6.000 ft <sup>2</sup>	a 1.00 <u>6.000</u>
		12.000/año \$12.000/año

Reparaciones, Mantenimiento, etc.

5% del costo de equipo \$24.000/año

Impuestos y seguros

3% del costo de equipo \$14.400/año

Gastos diversos

Teléfono, etc. \$20.000/año

\$89.800/año
$$\frac{89.800}{6000 \text{ hr}}$$

\$14.97/hr.

Cálculo del Costo

Material \$3.23/uni.

Amortización \$13.89/hr.

Trabajo total 23.40/hr.

Utilidades 14.00/hr.

Manufactura superior 14.97/hr.

Costo total de operación \$66.26/hr.

Costo total de fabricación  $\frac{66.26}{102} = \$0.65$  $\frac{0.65}{102} =$   
\$3.88/uni.

## tabla 19

Se pensó en usar un extrusor de 14.4 cm (6 pul.) - con rodillos de 115 por 144 cm (45 por 60 pulgadas) y un acumulador de 13.6 Kg. (30 lb.). Ello costó cerca de \$ 120,000. Se necesitaron cuatro de ellos para el nivel en que se pensó operar, el cual era 500,000 unidades anualmente en una planta capaz de producir cerca de 2,500,000 unidades o cerca del 20% de la capacidad de la planta.

Los gastos generales es un factor importante en este sistema de conversión de plásticos, como se necesita una cierta cantidad de ayuda técnica o supervisión, se debe adquirir de donde sea. Si no se tiene una organización lo suficientemente grande para manejarla, entonces se puede hacer siendo un maestro en todo y tener un compañero que pueda hacer los diversos papeles. Bajo tales condiciones, el ingeniero es -- además el hombre de control de calidad, y el encargado de operación. El podrá tomar decisiones sobre la contratación y -- despido de personal y otros asuntos de esta índole. La mayoría de los negocios no pueden operar así. El nivel de operación de una fábrica de diez máquinas son las condiciones de gastos generales de este estudio.

De las cuatro máquinas para moldeo por soplado fueron \$ 480,000 los costos de instalación del 20% de ello son \$ 96,000. De los moldes serán \$ 10,000; cuatro ensanchadores significarán una inversión de \$ 20,000. Una banda de combinación sierra y molienda se requiere para deshacerse de las rebabas, costará \$ 10,000. El manejo de las partículas y el almacenaje del equipo y máquinas costará \$ 30,000. El equipo diverso para llenar los vagones de la banda levantadora, costará \$ 25,000. Esto suma \$ 671,000.

Se necesitan cuatro moldes, a un costo total de -- \$ 32,500. El equipo se amortiza a 10 años. La mayoría de la gente quiere amortizar a los 5 años por que es bueno para los

impuestos, pero no es un acercamiento práctico para la vida y la longevidad de las máquinas.

Además se necesitarán 2 años para la amortización de las herramientas, porque cuando uno se hace de herramientas para un año se pueden usar otros años las piezas de repuesto. Se piensa por ello en suplir herramientas cada dos años, si duran ese tiempo. En el moldeo por soplado las herramientas si duran ese tiempo.

Considerando todo esto, salimos con 13.89 por hora para la operación. Regresando al costo de material; es de -- 3.23 por unidad. La velocidad de producción es de dos minutos por ciclo aunque en las industrias se encuentran muchas-- controversias en esta materia.

Se oyó hablar de velocidades de 2.5 o mas minutos por ciclo. Al hablar con aquellos que están mas orientados hacia producción o venta de estas cosas, se oye de 1.75 o aún 1.5 minutos por ciclo. Mas bien los últimos valores resultan de utilizar CO<sub>2</sub> para enfriamiento y cosas de esa naturaleza.-- Se usaron ciclos de 2 minutos con agua refrigerada para enfriamiento.

Pensando en las velocidades de producción de la tabla se llegó a una producción total por hora para las cuatro máquinas de 102 partes, requiriendo 561 libras (250 Kg.) de plástico. La capacidad del extrusor de 6 pulgadas (15.2 cm.) es 850 libras (425 Kg.) por hora. Entonces el sistema tiene la suficiente potencia extrusora.

En esta operación usamos un operador por máquina. Se necesita un muchacho que ande alrededor recoja las rebabas y los desperdicios y los eche en el molino para deslucarse de ellos. Añadimos cantidades adecuadas para capataz, inspector, mecánico y ayudante; se terminó con un costo total de \$ 23.40 por hora de labor.

Las utilidades vienen a ser \$ 14.00 la hora. Esto incluye un motor extrusor de 175 hp, bombas hidráulicas de -- 50 hp, una unidad refrigerante de 25 hp, además una entrada para agua de enfriamiento y aire comprimido.

Para la administración se puso un gerente, un ingeniero, un jefe de tráfico, un ayudante y dos dependientes. -- 4/10 de esto se cargó al trabajo haciendo un total de \$ 19,400 por año.

Para la renta, no es muy generoso, pero es suficiente de 4000 ft<sup>2</sup> para manufacturar y 6000 ft<sup>2</sup> para almacén. Si se va a hacer una parte así se necesitara algo de almacen, pero no se pueden hacer artículos para inventario, debemos hacer y mandar. La renta sumo \$ 12,000 al año.

Reparaciones, mantenimiento y repuestos al 5% del costo del equipo se convierte en \$ 24,000 al año.

Para costos de impuestos y seguros se toma 3% de los costos del equipo; sumando hasta \$ 14,400 anualmente. Varios gastos como teléfono, artículos de oficina, lápices, papeles y cosas así son \$ 20,000 al año.

Estas cifras dan los siguientes cálculos de costos para moldeo por soplado. Los costos por unidad de material son \$ 3.23; los costos por hora son: amortización \$ 13.89; -- trabajo total \$ 23.40; utilidades \$ 14.00; gastos generales - \$ 14.97. Esto da un costo total de operación de \$ 66.26 por hora para la producción de 102 partes, o \$ 0,65 por unidad. - Por lo tanto el costo total de producción es \$ 3.88 por pieza.

Una corrida similar del costo unitario para moldeo rotacional, en la misma base, da \$ 3.72, un poco mas bajo que el costo por unidad en moldeo por soplado, este calculo se -- muestra en la tabla 20.

Proceso: Moldeo rotacional - 3 brazos - 88 pul (3 máquinas)

Objeto: Tanque de gas .254 cm. (0.100 pul.) mínimo de espesor de pared 91.2 - 72 - 16.8 cm. (38 30 7 pul.)

Cantidad: 500,000

Material: Polvo de polietileno lineal, 0.96 de densidad.

6 Kg. (12 lb.) 3.5% 12.4 lb. (6.2 Kg.)

<u>Capital en equipo</u>	<u>Costo</u>	<u>Vida</u>	<u>Amortización</u>
Máquinas de moldeo rotacional (3)			
3 brazos - 68 pul.			
\$ 46,000	\$ 138.000		
Instalación (20%)	27.600		
Agua de refrigeración	5.000		
Pesadores y alimentadores	5.000		
Equipo de manejo	7.500		

<u>Capital en equipo</u>	<u>Costo</u>	<u>Vida</u>	<u>Amortización</u>
Banda sierra y molienda	\$ 10,000		
Equipo auxiliar	<u>10,000</u>		
	\$ 203.100	10 años	\$ 20.310
Moldes (36 a \$ 1.000)	36.000	2 años	<u>18.000</u>
			<u>38.310</u>
			<u>6.000</u> = 6.39/hr

Velocidades de producción

Ciclo de 21 minutos = 8.6 ciclos por hora = 103 unidades/hr

85% de eficiencia = 88 unidades/hr

88 x 6,000 hr = 528,000 unidades/año

Trabajo requerido

3 operadores 2.50/hr = \$ 7.50/hr 3/10 capataz 5.00 = \$ 1.50/hr

3 ayudantes 2.00/hr = 6.00/hr 3/10 inspector 3.50 = 1.50

\$ 13.50/hr 3/10 mecánico 4.00 = 1.20

3/10 ayudante

de mecánico 2.50 = 0.75

\$ 4.50/hr

Trabajo combinado 18.00

Beneficios (30%) 5.40

Costo total de trabajo 23.40/hr

Utilidades por máquina

Gas 1,500,000 Btu,s = 1,500 ft<sup>3</sup> gas; a 60%

= 900 ft<sup>3</sup>/hr a 7 c/100 ft<sup>3</sup> = \$ 0.63/hr

Electricidad - 14 (0.8 Kw/hr) = 11.2 Kw a \$ 0.01525 = 0.18

Utilidades por máquina

Agua 10 gal/min = 480/hr a 8c/1000 gal	=	\$ 0.04/hr
		\$ 0.85/hr
0.85x3 =		\$ 2.55/hr

Manufactura superiorAdministración

1 Administrador	\$ 15.000/año
1 Ingeniero	12.000
1 Recibidor de embarques	7.500
1 Ayudante	4.000
2 Empleados	<u>10.000</u>
	\$ 48.500 3/10 = \$14. 55/año \$14,550/año

Renta (por máquina)

Manufactura	6,000 ft <sup>2</sup> a 1.50 = \$ 9.000/año
Almacenamiento	6,000 ft <sup>2</sup> a 1.00 = <u>6.000</u>
	\$15.000/año \$15,000/año

Reparaciones, mantenimiento, etc.

5% del costo del equipo	\$10,155/año
<u>Impuestos y seguros por máquina</u>	\$ 6,093/año
<u>Gastos diversos</u>	<u>\$10,000/año</u>
	\$55,798/año
$\frac{55,798}{6,000} = 9.30$	\$ 9.30/ hr

Calculo del costo

Material	\$ 3.22/unl
----------	-------------

	<u>Calculo del costo</u>	
Amortización	6.39/hr	
Trabajo total	23.40/hr	
Utilidades	2.55/hr	
Manufactura superior	<u>9.30/hr</u>	
Costo total de operación	41.64/hr	
	$\frac{41.64}{88} = 0.47$	<u>0.47</u>
		\$ 3.69/unf

Tabla 20

Se pensó en una máquina de tres brazos, de giro de 220 cm (88 pul), de moldeo rotacional. Primero se trató con una máquina de 250 cm. (100 pul.), pero este artículo es mejor producirlo con dos tanques en cada lado de la araña de una máquina de giro de 220 cm. (88 pul.).

El tanque de gasolina con un mínimo espesor de pared de .25 cm. (1/10 de pul.) tendrá un peso de 6 Kg (12 lb.). El peso es mas bajo que en moldeo por soplado en este caso, porque en rotomoldeo no hay áreas pesadas para el sacado y variables de distribuciones de pared que tiene el moldeo por soplado.

El material en polvo negro que usamos para rotomoldeo, dicho sea de paso, cuesta \$0.26 la libra, comparado con \$ 0.22 la libra para polietileno en forma de partícula que usamos en el moldeo por soplado. El costo del material por unidad es \$ 3.22 casi exactamente el mismo que el moldeo por soplado.

Se llevaron tres máquinas de rotomoldeo de tres - brazos para hacer el trabajo; costaron \$ 46,000 cada una, un total de \$ 138,000. La instalación al 20% es \$ 27,600, refrigeración de agua \$ 5,000; artículos para pesar y alimentar % 5,000, equipo para manejar los moldes para meterlos y sacarlos (los moldes no son ligeros) \$ 7,500.

Mas aún, se necesitó una banda de sierra y molienda para deshacerse de rebabas de \$ 10,000, equipo variado, - etc, \$ 10,000.

De nuevo, amortizando el equipo a 10 años, se obtuvo \$ 6.39 la hora para el capital de amortización del equipo.

Para el trabajo, se usó un hombre y un ayudante en cada máquina, 3/10 de capataz, inspector, mecánico y ayudante de mecánico. Con margen de beneficios, el costo total de trabajo fue \$ 23.40 la hora.

Las utilidades salieron de \$ 2.55. La mayoría de esto es gas, porque cada unidad tiene un gasto de 1500,000 de pies cúbicos de gas por hora. Actualmente las máquinas - consumen cerca del 60% de su capacidad. Existe una tolerancia para agua y electricidad.

Tres decimos de los gastos de la administración - total, se cargan a tres máquinas repasadora de un total de - diez. Se puede entrar en toda clase de argumentos de como - colocar los costos indirectos y de administración. Debemos - lograr un acercamiento, y este es el que se usa:

Resultado \$ 14.55/año.

En la renta, se necesita mas espacio que en el moldeo por soplado. Se usarón 6,000 pies cuadrados para manufactura. Esto es casi el doble del tamaño de la máquina y se --volvieron a usar 6,000 pies cuadrados para almacenaje de materiales crudos. No se pueden almacenar muchos productos acabados de este tipo.

Renta total \$ 15,000/año.

Las reparaciones y el mantenimiento es el mismo que en el moldeo soplado, el 5% de costo del equipo \$ 10,155/año. Impuestos y seguros es el 3% del costo del equipo \$ 6,093. --Gastos varios son \$ 10,000/año. Todo esto se suma y da \$9.30 la hora de gastos generales.

De nuevo, el cálculo total de gastos generales en base a una hora fue de \$ 6.39; trabajo total \$ 23.40, utilidades \$ 2.55 factor de gastos generales \$ 9.30, haciendo un total de \$ 41.64 para dividirse por 88 unidades de producción --por hora. Esto da un total de \$ 0.47 por unidad. Costo total de material de \$ 3.22 mas \$ 0.47 de costo de conversión --dió igual a \$ 3.69 costo de producción por unidad.

Estos son simplemente los gastos de la fabrica. El artículo tiene que llevarse lejos de la máquina por una banda. Estas cifras no toman en cuenta que se va a hacer con el producto. Si se va a empacar, en el almacén, enviar en carro o--se va a mandar a un edificio contiguo para ensamblarse.

Cuando el tanque de gasolina se hace de acero, uno

de los factores significativos a considerar es que los costos de manejo de los recipientes de gasolina serán considerablemente mas altos que los gastos de manejo de artículos iguales, nechos de plástico. Esto puede contar para los acercamientos de costo de manufactura con acero.

La tabla 21 muestra los cálculos cuando se trabaja con acero.

Proceso: Sellamiento de acero.

Objeto: Tanque de gas de 70 lt. (18 gal.), 91.2-72-16.8 cm.-  
(38 30 7 pul.)

Cantidad: 500,000 unidades

Material: 22 calibración estañado blanco (0.031) 23.42 lb. de producto 15% de desperdicio = 26.93 lb. a.10/lb =  
\$ 2.693/uni.

<u>Capital en equipo</u>	<u>Costo</u>	<u>Vida</u>	<u>Amortización</u>
Prensas hidraulicas de 500 toneladas, 75 hp (2)	\$ 135.000		
Equipo eléctrico de unión	150.000		
Cizalla de presión (2)	52.000		
Probador de tanque y accesorios	75.000		
Prensa hidraulica	20.000		
Varios	<u>35.000</u>		
	\$ 457.000	10 años	\$ 46.700
	$\frac{46.700}{6.000} = 7.78$ hr	$\frac{7.78}{126} = 0.062$ /uni	0.062/uni
Herramienta	\$ 200.000	2 años	$\frac{100.000}{500.000} = 0.20$ /uni

Velocidad de producción

Ciclo de 20 seg = 3/min = 180/hr, 70% de eficiencia = 126/hr

Trabajo requerido

1 material crudo	1/5 capataz a 10.000 =	\$ 2.000
2 alimentadores de presión	1/5 inspector 10.000 =	2.000
2 alimentadores de lavado	1 empleado	<u>5.000</u>
2 costureros de carga		\$ 9.000
4 probadores de carga		
2 lavado caliente		
1 reparación		
14 4.000/hr = 56.000 hr a \$ 3.00		\$ 168.000
Trabajo combinado		177.000
Beneficios 30%		<u>53.100</u>
Costo total de trabajo		\$ 230.100

$$\frac{230.100}{500.000} = 0.460/\text{uni}$$

Utilidades

$$\$ 10.00/\text{hr} \quad \frac{10.00}{126} = 0.08/\text{uni}$$

Manufactura superiorAdministración

1 Administrador	\$ 15.000	
1 Ingeniero	12.000	
1 Recibidor	7.500	
1 Ayudante	4.000	
2 empleados	<u>10.000</u>	
	\$ 48.500	4/10 = \$19.400 \$19.400/año

Renta

Manufactura	10,000 ft <sup>2</sup>	a 1.50 =	\$ 15,000	
Almacenamiento	6,000 ft <sup>2</sup>	a 1.00 =	<u>6,000</u>	
				21,000/año \$21,000/año

Reparación y mantenimiento

5% del costo del equipo \$23,350/año

Impuestos y seguros

3% del costo del equipo \$14,010/año

Gastos varios

\$20,000/año

\$97,760/año

$$\frac{97,760}{500,000} = 0.196$$

0.196/uni

Cálculo del costo

## Material

Equipo	0.062/uni	
Amortización	0.200	
Trabajo total	0.460	
Utilidades	0.080	
Manufactura superior	<u>0.196</u>	
Costo total de operación	0.998/uni	\$ 2.693
Costo total de fabricación		<u>0.998</u>
		\$ 3.691/uni

Tabla 21

Para hacer un tanque de gasolina de acero, igual--

mente, nos basamos para los cálculos en la producción anual de 500.000 unidades, y de nuevo en una fábrica que sea como de 5 veces el tamaño necesario para sacar esta producción,--- o sea, la capacidad anual de 2,500.000 unidades. El mate--- rial es de calibración 22, estañado blanco, el cual es 31/1000 de pulgada mas grueso. El producto terminado pesa 23.42 lb. Las placas usadas son de 26.93 lb. de material el cual a --- \$ 0.10 la lb., da \$ 2.693 de material por unidad.

El costo del material no es fácil de bajar. El material crudo, de paso son hojas de acero en blanco o planas cortadas al tamaño, no de acero enrollado. Se cree que es un costo adecuado.

Se han visto cifras menores de costos de material. De hecho se publicó una, en una revista de una marca, tan ba ja como \$ 0.05 ó \$ 0.06 la lb. Sin embargo no se pueden com prar placas de esos precios.

El equipo necesario para esta operación es: 2 - prensas hidráulicas de doble acción de sacado profundo. La abertura o dado debe primero bajar, agarrar en el bloque y entonces estampar. El costo es \$ 135.000.

Se requiere una unidad de un tipo tal que tome dos mitades y las una eléctricamente, luego la voltee y una del otro lado, yendo en angulos rectos. Esta es una unidad muy-compleja por lo cual se le destinan \$ 150.000.

Se requiere un tanque de prueba completo con sus-

accesorios. Cada tanque de acero tiene que sumergirse en una instalación y probarse bajo presión. Se requiere de una pequeña prensa hidráulica de doble acción para hacer la abertura del medidor. La abertura no puede hacerse en el proceso de estampado.

Cada tanque además tiene que lavarse entre la operación de soldadura y la de doblado para quitarle el lubricante de la abertura.

Como última etapa de producción, cada tanque tiene que lavarse por adentro químicamente por una acción de rociado y volteado de arriba a abajo. Luego se aleja del departamento en una banda.

Todo este equipo cuesta \$ 46.700 de nuevo, se usa-depreciación a 10 años.

La herramienta aquí es diferente, va de un mínimo de \$ 125.000 a un máximo, probablemente en el rango, de \$250.000 dependiendo del artículo y de todas las cosas que van con el. Se usó \$ 200.000 de costo de herramienta para reflejar la situación que existe en la fabricación de un tanque de gasolina de acero. Se estimaron dos años de amortización para ser consistente con los procesos plásticos.

Pero francamente, se duda que estas herramientas - puedan durar, especialmente las de estampado, por lo tanto se cree que se deba adicionar de \$ 20.000 a \$ 30.000 al año para reponer las herramientas del estampado que probablemente se gasten en medio millón de estampados.

Con estas cifras, se tiene una amortización total de \$ 0.062 por unidad para el equipo y 0.20 para la herramienta.

Para la velocidad de producción se usa un ciclo de 20 seg., esto es una pieza cada 20 seg. de esta unidad, o 3 - por minuto, 180 por hora. Con una eficiencia de 70% en la velocidad se tiene una sacada de 126 unidades por hora. Eso -- sirve para 4000 horas o dos cambios.

El trabajo requerido es un hombre para abastecer - material 2 alimentadores para las prensas, 2 alimentadores para el lavado de tanques, 2 para llenar el soldador, 4 para -- llenar las pruebas e inspeccionar, 2 para el baño caliente y para la banda alimentadora, y uno para reparar soldadura. Esto hace un total de 14 gentes. Multiplicados por 4000 horas, da 56.000; a \$ 3.00/hr tenemos un total de \$ 68.000 para trabajo. Los gastos generales se fijaron de igual manera que en los procesos plásticos.

El costo del material es \$ 2.693, amortización total es \$ 0.062, trabajo total, 0.460, utilidades 0.080, gastos generales de la fábrica 0.196, haciendo un costo total de manufactura de \$ 3.691 por unidad, practicamente igual que la unidad rotomoldeada.

Se tenían interferencias en que el acero es mas barato que esto pero además las había indicando que es mas caro. De cualquier modo esto implica que el rotomoldeo tiene una -- gran oportunidad de competir con el acero. Mientras mas com-

plicado sea el diseño se obtienen mas beneficios del rotomoldeo.

La tabla 22 es una yuxtaposición de los costos de producción del tanque de gas por estas tres técnicas discutidas.

Objetos producidos/hr	Moldeo Soplado 102	Moldeo Rotacional 88	Sellado de acero 126
Material	\$ 3.230	\$ 3.220	\$ 2.693
Amortización	0.136	0.073	0.262
Trabajo	0.230	0.266	0.460
Utilidades	0.137	0.029	0.080
Superior	<u>0.147</u>	<u>0.106</u>	<u>0.196</u>
Costo total	\$ 3.880	\$ 3.694	\$ 3.691

Tabla 22

Una de las cosas que puede hacerse para acelerar el uso del moldeo rotacional es usar máquinas de cuatro brazos. La mayoría de las máquinas comerciales tienen tres brazos. Si se usa una máquina con cuatro o mas brazos, se pueden obtener ciclos mas rápidos.

Si además se acelera el enfriamiento usando CO<sub>2</sub> - por dentro, y teniendo eficiencia en el enfriamiento externo, se podrá obtener una producción doble. Sin embargo, se requiere un trabajo especial en la estación de descarga.

Haciendo cálculo del artículo mostrado en la figura 51 llegamos a un empate entre los costos de moldeo rotacional y moldeo por soplado.

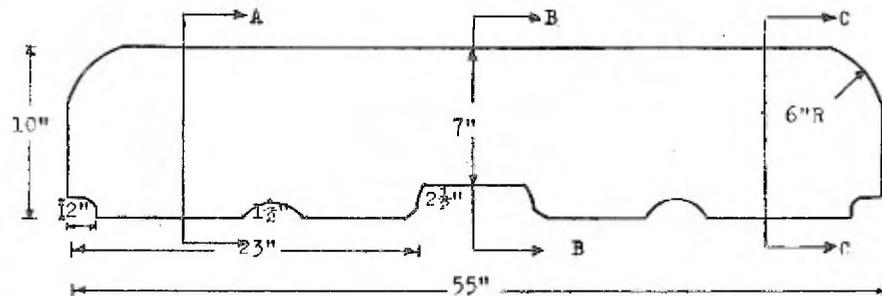
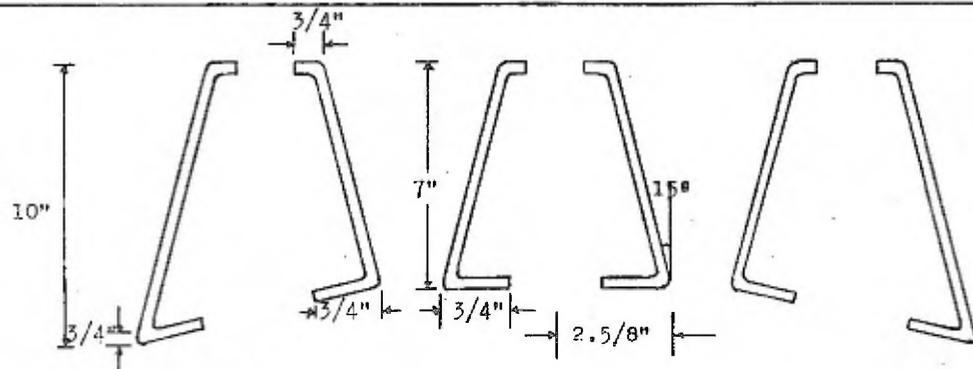


FIG. 51

El artículo se hace con dos partes para cada cavidad del molde, en ambas técnicas de proceso. Existe una porción aislada en la pieza rotomoldeada entre las dos partes.

En el moldeo por soplado, las partes tienen que cortarse con una sierra. Se usa una máquina doble, pero desgraciadamente la industria no quiere hacer máquinas dobles de un tamaño tan grande.

Los dos fabricantes de máquinas de moldeo por soplado lo consideraron impráctico y antieconómico. Piensan que es mejor hacerlos en una máquina simple.

Las cifras de costo total de este artículo fueron:

	Moldeo por soplado	Moldeo Rotacional
Material	\$ 0.50/uni	\$ 0.55/uni
Tipo de máquina	0.12	0.11
Trabajo acabado	0.66	----
Herramienta	<u>0.10</u>	<u>0.12</u>
	\$ 0.78/uni	\$ 0.78/uni

Tabla 23

Esperamos que el artículo moldeado por soplado compita con el moldeado rotacionalmente en una base de costos -- aun cuando se trabaje en una máquina simple.

Comparación entre los procesos de inyección soplado y rotacional

Esta comparación no ha sido objeto de mucho estudio ya que cada proceso tiene un campo en el cual es mejor y para

el cual se diseñó.

Aunque es difícil comparar estos tres procesos limpiamente, no obstante por selección de un estudio de objetos convenientes a todos los procesos y no a uno en particular, es posible comparar los costos.

Estos son los escogidos:

Objetos	Espesor de pared mills	Peso en lb.	
		Inyección-Rotacional	Soplado
1 galon	30	0.23	0.25
5 galones	60	1.34	1.48
20 galones	90	5.35	5.89
55 galones	90	9.50	10.50
250 galones	200	48.7	53.60

Tabla 24

En el estudio se supone que se usó un polietileno de baja densidad de índice de fusión de 5.0 para el material para inyección y moldeo rotacional en tanto que un índice de fusión de 1.00 se usó para soplado.

Las partes se comparan en base a igual resistencia. Ahora esto es muy importante por que cuando tratamos del proceso de moldeo soplado mucho del plástico se resbala en secciones de espesor relativo del fondo a la parte superior y no en la pared donde es necesario. Entonces en partes de igual mínimo de pared el objeto moldeado soplado puede pesar 30-100% mas que los objetos moldeados por inyección o rotación. El -

peso del artículo moldeado por soplado puede reducirse por un programa de control en el ciclo de tiempo, claro con un costo adicional.

Las variaciones en el espesor de pared se compensan parcialmente por la resina de mayor viscosidad que normalmente se usa. Para el propósito de este estudio, asumimos -- que los objetos moldeados por soplado pesan aproximadamente 10% mas que las partes moldeadas por inyección o rotacional. El objeto moldeado por soplado pesa 0.25 lb. comparado con el 0.20 lb. para los objetos moldeados por inyección y rotación. En muchos casos esta suposición no afecta críticamente el costo comparativo en el estudio, como se verá después.

Es obvio que los costos de producción dependerán -- en gran parte de el moldeador y los niveles de producción que consiga para su equipo. Para hacer una comparación limpia -- entre los procesos escogemos ciclos y niveles de producción -- los cuales presenten los mejores promedios de un moldeador típico sin especiales facilidades de ingeniería que esperemos -- obtener.

Estas tasas de producción, especificaciones de la máquina y número de corridas y cavidades por máquina son dados en la tabla 25.

Objeto	Proceso de moldeo	Nivel de producción	Cavidades por máquina	Horas de producción	Especificación de máquina
Recipiente con tapa de 1 galon	Inyección	Bajo	1	72	225 ton.-60 oz presión

Objeto	Proceso de moldeo	Nivel de producción	Cavidades por máquina	Horas de producción	Especificación de máquina
		Alto	4	258	450 ton.-160 oz presión
	Soplado	Bajo	3	600	2.5 pul extrusor- presión con acumulador
		Alto	8	1600	3.5 pul extrusor- presión dual con acumulador
	Rotacional	Bajo	24	144	25 pul 6-máquina espigas
		Alto	200	1000	78 pul 3-máquina espigas
Recipiente con tapa de 5 galones	Inyección	Bajo	1	60	350 ton- 160 oz presión
		Alto	4	206	600 ton- 65 oz presión
	Soplado	Bajo	2	120	2.5 pul extrusor- presión
		Alto	4	240	4.5 pul extrusor- presión dual
	Rotacional	Bajo	12	55	25 pul 6 espigas
		Alto	90	360	78 pul 3 espigas
Recipiente con tapa de 20 galones	Inyección	Bajo	1	48	450 ton- 60 oz presión
		Alto	2	96	800 ton- 140 oz presión
	Soplado	Bajo	1	40	3.5 pul extrusor- presión
		Alto	2	90	4.6 pul extrusor- presión dual

Objeto	Proceso de moldeo	Nivel de producción	Cavidades por máquina	Horas de producción	Especificación de máquina
	Rotacional	Bajo	6	24	36 pul 3 espigas
		Alto	24	85	75 pul 3 espigas
Recipiente con tapa de 55 galones	Inyección	Todos	1	27	1200 ton-160 oz presión
		Soplado	Bajo	1	15
	Alto		2	60	6 pul extrusor presión dual
	Rotacional	Bajo	3	12	36 pul 3 espigas
		Alto	18		75 pul 3 espigas
	Recipiente de 250 galones	Inyección	Todos	1	15
Soplado			Todos	1	12
Rotacional		Todos	3	9	75 pul 3 espigas

Tabla 25

## Ciclos selectos y niveles de producción

El primer ejemplo muestra un recipiente con tapa de 1 galón. En las especificaciones de manufactura se han tomado dos niveles de producción diferentes para este objeto particular. El objeto en este estudio se moldea a niveles de producción, desde 10.000 objetos por año a 10.000.000 por año. Al bajo nivel de 10.000/año tenemos un equipo de baja producción.

Para baja producción en moldeo por inyección, en consecuencia, podemos tener solo una cavidad por máquina y un número de horas de producción de 72 partes/hora. Con alta producción tendremos 4 cavidades por máquina y 250 de producción por hora.

Al tener un recipiente con tapa moldeado por inyección reducimos la producción alrededor de la mitad que si tuvieramos un recipiente abierto. Esto es muy importante porque al hablar de un simple recipiente abierto el cual podamos sacar del molde sin curvas de retención, el moldeo por inyección puede lograr cualquier cosa en estos objetos a alta producción.

#### Especificaciones de producción

Producto de 1 galon

Proceso rotacional

Nivel de producción	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000
Cavidades/ máquina	24	24	24	24
Peso/ objeto			0.230	
Desechos 2%			0.005	
Material neto/ objeto			0.235	
Peso de material/ año	2,350	23,500	235,000	2,350,000
Ciclo de tiempo (min)	10	10	10	12
Producción/ hora	144	144	144	1000
Horas/ año	70	695	6950	10,000
Eficiencia de producción	60	70	90	90

Nivel de producción	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000
Horas de producción	86	101	130	900
Horas máquina/ año	116	990	7700	11100
Número de máquinas requeridas	1	1	1	2
% de utilización de 6000 hr/ año	1.9	16.5	128	92.5

Tabla 26

## Inversión

Producto 1 galón

proceso rotacional

	10.000 a 1.000.000	10.000.000
Máquina moldeadora	21.500	(2) 80.000
Secador y pesador	2.000	3.500
Recogedor de desperdicios	1.000	3.000
Ventiladores	500	500
Grua	500	1.000
Equipo de transferencia	1.500	8.000
Equipo de almacenaje y varios	<u>500</u>	<u>3.500</u>
Costo neto de equipo	\$ 27.500	\$ 99.500
Instalación, ingeniería 50%	<u>13.500</u>	<u>49.500</u>
Costo de equipo instalado	\$ 41.000	\$149.000
Moldes \$ 150	3.600	30.000
Construcciones	70.000	150.000
Capital de trabajo =		
1 mes de operación y material crudo en almacén	<u>\$ 11.400</u>	<u>61.000</u>
Inversión total	\$126.000	\$390.000

Tabla 27

## Costos de manufactura

Producto de 1 galón

Proceso moldeo rotacional

Niveles de producción	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000
-----------------------	--------	---------	-----------	------------

Materiales crudos

Resina 21-1/\$0.02/lb.	\$05	5.050	50.500	505.000
Aditivos y color	20	200	2.000	20.000
Provisión	<u>30</u>	<u>300</u>	<u>3.000</u>	<u>30.000</u>
	555	5.550	55.500	555.000

Costos de operación

Trabajo directo- Opera dores \$ 2.50/hr	(1) 290	(1) 2.480	(1) 19.200	(2) 27.800
Ayudantes \$ 1.75/hr	(1) 175	(1) 1.480	(1) 11.600	(4) 33.400
Capataz, mantenimiento a \$ 3.75/hr	<u>(1/10)45</u>	<u>(1/10) 370</u>	<u>(1/10)2.900</u>	<u>(1/10)4.300</u>
	510	4.330	33.700	65.400
Trabajo indirecto y supervisión = 125%	635	5.420	42.000	81.800
Utilidades	<u>80</u>	<u>700</u>	<u>4.500</u>	<u>30.200</u>
	1.225	10.450	80.200	177.400

Inversiones relativas a costos

Depreciación- 5 años en planta 2 años en moldes	420	3.670	22.200	59.800
Recuperación de inversión	600	1.800	1.800	15.000
Impuestos federales	240	2.080	12.600	38.100
Impuestos estatales	540	4.720	28.600	78.500
	<u>40</u>	<u>350</u>	<u>2.100</u>	<u>4.500</u>
	1.840	12.620	67.300	195.900

	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000
costo total de manufactura	3.620	28.620	203.000	928.300
costo unitario	0.36	0.29	0.20	0.093

Tabla 28

Las tablas 26, 27, 28, muestran uno de los cálculos hechos para cada objeto estudiado, proceso y nivel de producción. El método de cálculo de los objetos estudiados es un cómputo del volumen de material en cada uno de estos objetos, añadiendo a estos el monto de desechos y entonces multiplicar este peso por tiempo de niveles de producción. Los desechos se definen como los materiales que no se pueden volver a usar, como los desperdicios y adornos contaminados, lo cual ocurre durante las purgas, cambios de color, arranque y parado. El nivel de desperdicios suponemos que será 1 a 2% para moldeado por inyección y de 2 a 3% para rotacional soplado.

El tiempo de producción requerido de horas de máquina se computa para los niveles de producción, las horas de producción teóricas, y la eficiencia de producción. Estas eficiencias son muy importantes para el estudio. La eficiencia de producción se usa para estimar la carrera del molde en tiempo, frecuencia de cambio de molde, tiempo de arranque y paro, masbajos ciclos en objetos de baja producción y períodos de bajo-trabajo de carga.

Estas eficiencias de producción se supone que serán de 90% para las tres operaciones de cambio, 80% para dos cam--

bios, 70% para un cambio y 60% para menos de un cambio. Las horas de máquina se usan para computar el número de máquinas de moldeo requeridas y el % de utilización de la planta, basado en las 600 horas-año. Esto será de 24 horas/día, cinco días a la semana y 250 días por año.

Los cálculos de inversiones de la tabla 27 muestran todo el equipo de moldeo y auxiliar pertinente el cual se enlistó y se da precio; 50% del costo neto de equipo se añade a la cuenta para el costo del flete, instalación, ingeniería, instalaciones útiles, cimientos, drenajes, etc.

Costos de edificios se basan en el área requerida para este tipo de operaciones e incluye el cuarto de moldeo, tienda, oficina, cuarto de casilleros y facilidades de almacenaje. El capital de trabajo se supone como un equivalente de gastos de un mes de operación y un mes suplementario de material crudo.

El costo unitario del objeto para cada proceso estudiado (tabla 28) es la suma del costo de material crudo, -- los gastos de operación y los gastos de inversión. Materiales crudos incluyen resinas, color, aditivos, materiales de empaque y otros gastos suplementarios. Con un material en polvo suponemos su costo 3.5% más que inyección y soplado en proporciones de moldeo.

En tanto que los precios esperados varían de acuerdo al volumen de compra particularmente para los grados de inyección suponemos que al moldeador le es posible comprar la -

Producción	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000
Moldeo por inyección				
Inversión	\$134,000		\$177,500	\$861,000
Material crudo	0.0473	0.0473	0.0473	0.0473
Gastos de operación	0.1448	0.1382	0.0450	0.0313
Capital e impuestos	0.7499	0.2825	0.0751	0.0485
	<u>0.9420</u>	<u>0.4680</u>	<u>0.1674</u>	<u>0.1271</u>
Costos de sellado 14/unidad				
Moldeo por soplado				
Inversión	\$201,000			\$701,000
Material crudo	0.0525	0.0525	0.0525	0.0525
Gastos de operación	0.0586	0.0484	0.0363	0.0182
Capital e impuestos	0.2778	0.0746	0.0411	0.0375
	<u>0.3889</u>	<u>0.1755</u>	<u>0.1299</u>	<u>0.1082</u>
Moldeo rotacional				
Inversión	\$126,000			\$390,000
Material crudo	0.0555	0.0555	0.0555	0.0555
Gastos de operación	0.1225	0.1045	0.0802	0.0177
Capital e impuestos	0.1840	0.1262	0.0673	0.0196
	<u>0.3620</u>	<u>0.2862</u>	<u>0.2030</u>	<u>0.0928</u>

Tabla 29

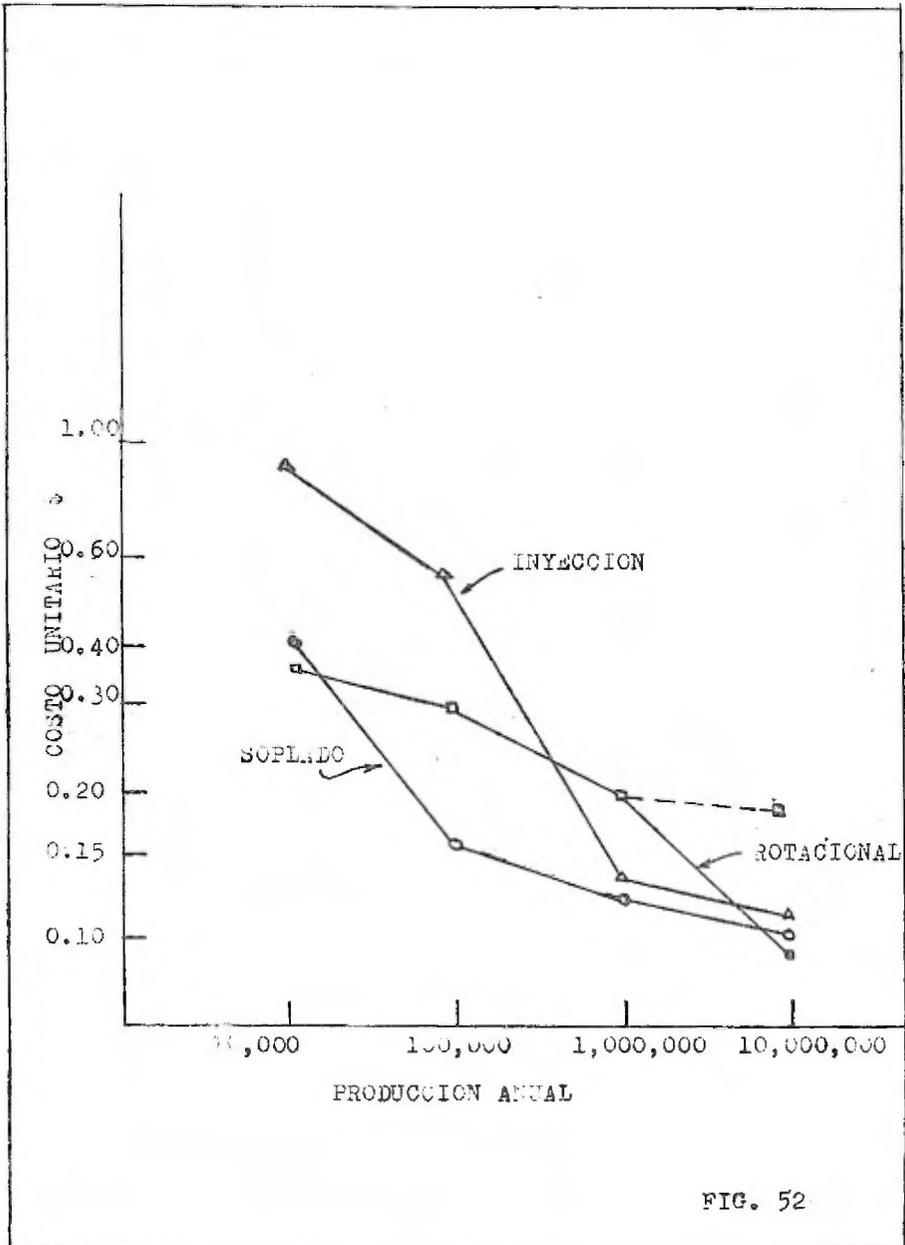


FIG. 52

resina al precio estandar, aún a bajos niveles de producción, por que sus compras para otros artículos hacen que su producción sea grande.

Los gastos de operación incluyen trabajo directo e indirecto, supervisión y utilidades. Gastos de renta sin embargo no se incluyen en este estudio particular. La razón de esto es que es una amplia variable con el tipo de producto, - mercado y volumen, el cual es imposible de incluir generalmente en un estudio de esta naturaleza. Nuestras utilidades y - costos de trabajo se basan en un promedio para la comunidad - industrial normal.

Estos costos por supuesto varían considerablemente con la localización.

Para el propósito de este estudio se ha supuesto - que tanto la localización y las facilidades, el trabajo y uti - lidades son los mismos para los tres procesos. Por lo tanto - no se toman en cuenta factores de destreza entre los tres pro - cesos, aunque sabemos que existen en algunos casos.

La inversión relacionada con gastos para la fabri - cación de nuestros tres artículos, incluye: depreciación, im - puestos, seguros y recuperación de la inversión.

La tabla 29 muestra un recipiente de 1 galón y el - costo comparativo de este para los tres diferentes procesos. - En el eje principal de la figura 52 tenemos el costo unitario en dólares y en el otro eje muestra producción anual en núme - ro de objetos 10.000; 100.000; 1.000.000; 10.000.000.

En el moldeo por soplado se puede ver, que baja muy rápido. El moldeo rotacional empieza un poco mas bajo, no mucho con respecto al soplado, luego a través de la línea y si continuamos usando equipo de baja producción nos quedamos arriba, cuando empezamos con equipo de alta producción por supuesto que baja considerablemente. En inyección el costo de los moldes y la inversión hecha es grande para objetos de baja producción, cuando elevamos nuestra producción, el costo se viene abajo en la misma región general que estamos hablando para los otros dos procesos.

El resultado mas sorprendente obtenido en este estudio es que el costo de un recipiente de un galón moldeado por el método rotacional es menor que el del objeto moldeado por soplado.

Obviamente el moldeo con equipo de alta producción, con muchos moldes, es necesario para estos objetos. El ciclo de tiempo es del orden de 30 veces mas largo que los de moldeo soplado. En este caso, el costo del molde para el proceso de moldeo rotacional es mayor que para moldeo soplado. El mayor factor contribuyente para el bajo costo, a parte de la baja inversión, es que el moldeo rotacional tiene menor costo de trabajo que el moldeo soplado y el de inyección, para este tipo de objetos.

Con moldeo soplado, los adornos y desperdicios recogidos se añaden al costo de operación, en tanto que en el mol-

deo rotacional esta función se minimiza. Todavía si se supone que el peso de los artículos es el mismo, el objeto rotomoldeado permanece como favorable en la comparación de costo con el objeto moldeado por soplado.

La tabla 30 y la figura 53 muestran el recipiente de 5 galones. El precio es virtualmente el mismo a través de los niveles, excepto para el moldeo por inyección en el cual es cerca de 25% mayor.

La tabla 31 y la figura 54 muestran el recipiente de 20 galones. El moldeo por inyección es el mas barato para hacer este objeto particular, aunque requiere un elevado capital en inversión y moldes mas costosos. Por supuesto a bajos niveles de producción nuevamente hablamos de altos costos.

El recipiente de 55 galones, en la tabla 32 y la figura 55, muestra que el proceso de moldeo rotacional es el camino de mas bajo costo para fabricar este objeto. Ahora, por supuesto los tambores de 55 galones se hacen por inyección y soplado a pesar del alto costo. Se hace usualmente a altas proporciones de producción, donde el costo no es crítico, y usualmente se hacen con resinas de polietileno de alta densidad o alta viscosidad que requieren un largo ciclo rotacional, o no es adecuado para fusión rotacional.

La tabla 33 y la figura 56 muestran el costo unitario para un tanque de 250 galones. Una vez mas la fusión rotacional tiene el costo mas bajo. El moldeo por inyección -- viene hacia abajo cercano al rotacional, aunque el costo a ba

Producción	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000
Moldeo por inyección				
Inversión	\$164,300		\$244,400	\$1,609,000
Material crudo	0.270	0.270	0.270	0.270
Gastos de operación	0.204	0.174	0.059	0.041
Capital e Impuestos	0.984	0.392	0.124	0.090
	<u>0.458</u>	<u>0.836</u>	<u>0.453</u>	<u>0.401</u>
Moldeo por soplado				
Inversión	\$216,000		\$293,000	\$1,601,000
Material crudo	0.297	0.297	0.297	0.297
Gastos de operación	0.243	0.208	0.115	0.038
Capital e impuestos	0.522	0.259	0.126	0.087
	<u>1.062</u>	<u>0.764</u>	<u>0.538</u>	<u>0.422</u>
Moldeo rotacional				
Inversión	\$135,000		\$226,000	\$936,000
Material crudo	0.322	0.322	0.322	0.322
Gastos de operación	0.323	0.242	0.059	0.052
Capital e impuestos	0.405	0.300	0.079	0.056
	<u>1.050</u>	<u>0.864</u>	<u>0.460</u>	<u>0.430</u>

Tabla 30

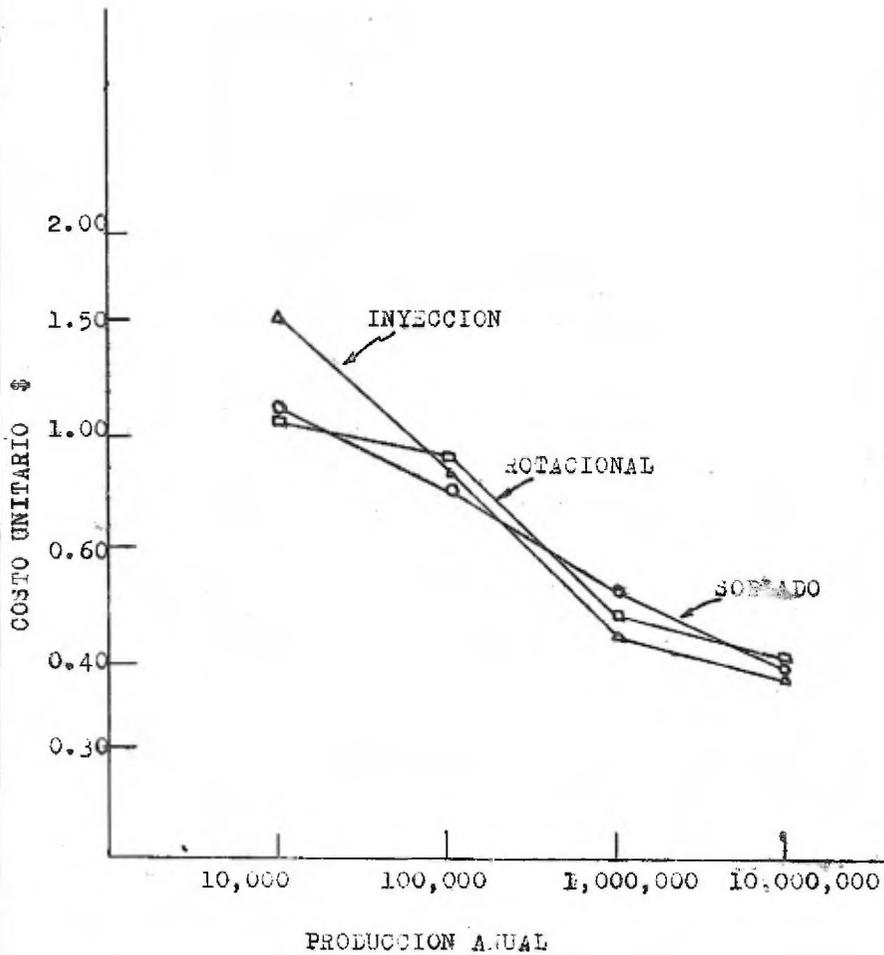


FIG. 53

Producción	10,000	100,000	1,000,000
Moldeo por inyección			
Inversión	\$235,000		\$651,000
Material crudo	1.110	1.110	1.110
Gastos de operación	0.266	0.193	0.115
Capital e impuestos	<u>2.574</u>	<u>0.697</u>	<u>0.375</u>
	3.950	2.000	1.600

Moldeo por soplado			
Inversión	\$223,000		\$590,000
Material crudo	1.220	1.220	1.220
Gastos de operación	0.459	0.359	0.173
Capital e impuestos	<u>1.311</u>	<u>0.661</u>	<u>0.327</u>
	2.990	2.240	1.720

Moldeo rotacional			
Inversión	\$133,000		\$395,000
Material crudo	1.315	1.315	1.315
Gastos de operación	0.630	0.491	0.157
Capital e impuestos	<u>0.865</u>	<u>0.584</u>	<u>0.228</u>
	2.810	2.390	1.700

Tabla 31

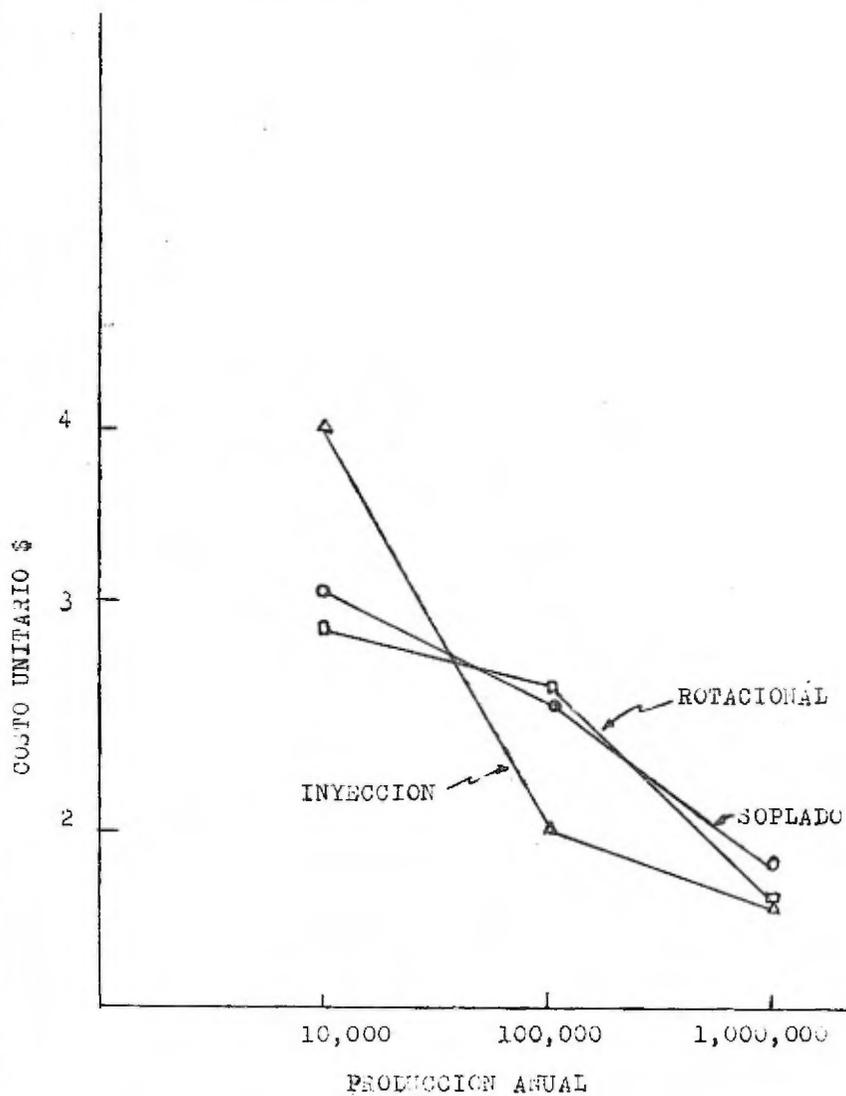


FIG. 54

Producción	10,000	100,000	1,000,000
Moldeo por inyección			
Inversión	\$421,000		\$2,169,000
Material crudo	1.820	1.820	1,820
Gastos de operación	0.680	0.450	0.270
Capital e impuestos	5.420	1.73	1.210
	<u>7.920</u>	<u>4.000</u>	<u>3.300</u>

Moldeo por soplado			
Inversión	\$351,000		\$1,274,000
Material crudo	2.010	2.010	2.010
Gastos de operación	1.350	1.200	0.360
Capital e impuestos	3.650	1.990	0.690
	<u>7.010</u>	<u>5.200</u>	<u>3.060</u>

Moldeo rotacional			
Inversión	\$135,000	\$262,000	\$634,000
Material crudo	2.180	2.180	2.180
Gastos de operación	0.990	0.300	0.230
Capital e impuestos	1.680	0.570	0.360
	<u>4.850</u>	<u>3.050</u>	<u>2.770</u>

Tabla 32

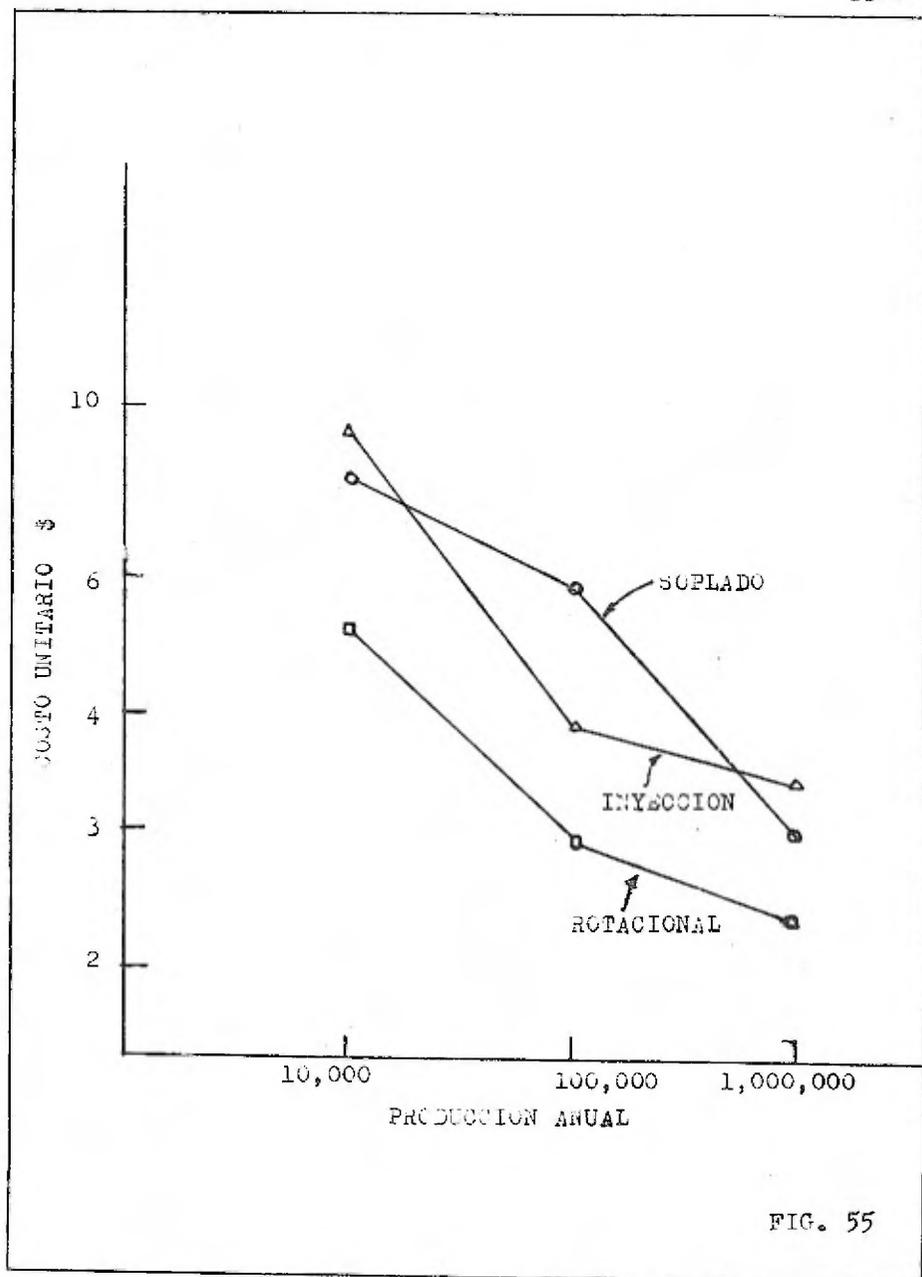


FIG. 55

Producción	10,000	100,000	1,000,000
Moldeo por inyección			
Inversión	\$635,000		\$635,000
Material crudo	9.600	9.600	9.600
Gastos de operación	1.440	1.550	1.490
Capital e impuestos	43.280	8.810	3.560
	<u>54.320</u>	<u>19.960</u>	<u>14.650</u>
Moldeo por soplado			
Inversión	\$463,000		\$800,000
Material crudo	10.600	10.600	10.600
Gastos de operación	2.720	2.140	1.990
Capital e impuestos	17.380	5.460	3.820
	<u>30.700</u>	<u>18.200</u>	<u>16.410</u>
Moldeo rotacional			
Inversión	\$227,000		\$388,000
Material crudo	11.450	11.450	11.450
Gastos de operación	1.950	1.660	1.360
Capital e impuestos	5.520	3.050	1.390
	<u>18.920</u>	<u>16.160</u>	<u>14.200</u>

Tabla 33

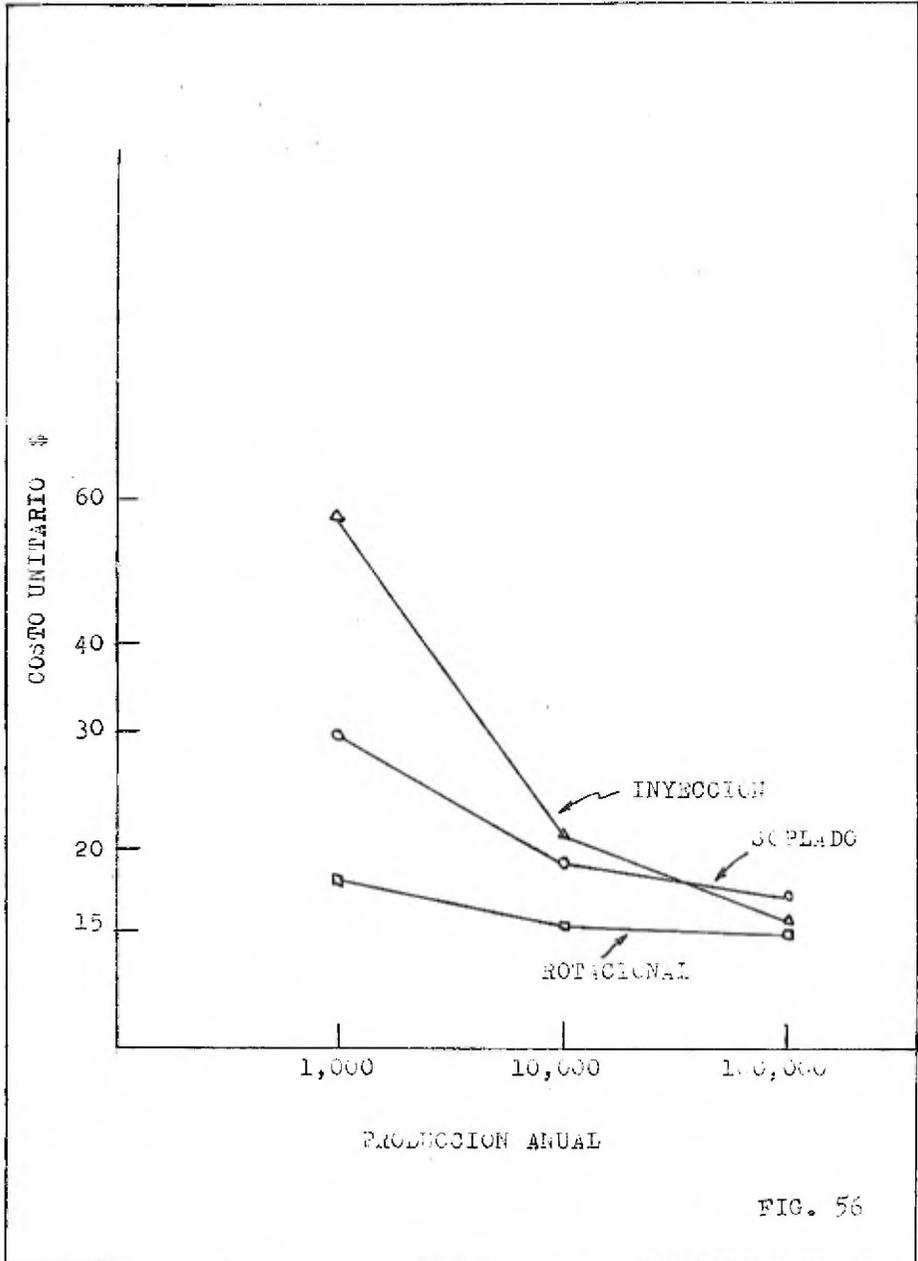


FIG. 56

Jo nivel de producción es alto, baja luego rapidamente. El moldeo soplado es mas caro.

Hay una duda en un objeto de este tamaño, y es si podemos empezar a moldear una cosa como esta por moldeo soplado, ya que pesa 5 lb.

Como podíamos esperar aquí la producción puede tener un mayor efecto en el costo del objeto que el proceso de producción. Esto es primario porque la inversión de costo de moldeo juega un papel importante en el costo a niveles bajos de producción, pero también se debe a las bajas eficiencias a estos niveles, particularmente con la alta capacidad e inversión en equipo asociadas para moldeo por inyección y soplado.

Por lo tanto, no debe sorprendernos que a bajos niveles de producción, el moldeo rotacional tenga los costos mas bajos por unidad, sin importar que objetos escoja. A la vez que el moldeo por inyección tiene los costos mas altos, entonces para carrera corta y moldeando portotipos, el proceso de moldeo rotacional es economicamente superior al moldeo por inyección o por soplado.

Hablaremos un poco sobre la flexibilidad del proceso de rotomoldeo. Las condiciones escogidas para estos estudios no son necesariamente las mas económicas para el proceso de moldeo rotacional.

Por ejemplo, el índice de fusión de la resina base escogida es menor que el óptimo para moldeo rotacional. -

Las paredes en los objetos mayores son relativamente anchas. Tampoco consideramos todos los factores subjetivos, que pueden ser importantes en el costo, aunque es mucho muy difícil ponerles un factor de precio.

Por ejemplo la resina de alto índice de fusión -- usualmente tiene menor fuerza de impacto y resistencia al rompimiento que resinas mas duras. Si podemos usarla sin embargo el tiempo del ciclo puede reducirse considerablemente para moldeo rotacional.

Si suponemos 50% menor el tiempo de ciclo en este estudio en base a resinas de mayor índice de fusión, y técnicas especiales de calentamiento el costo de recipiente de un galón puede ser 20% menor, el del recipiente de 5 galones 15% menos y los otros objetos de 10 a 12% menos.

Otros factores, como incremento de espesor de las paredes, el tiempo del ciclo se incrementa mucho menos con -- moldeo rotacional que con moldeo por inyección o soplado. Si queremos incrementar el espesor de pared en una parte moldeada por inyección necesitaremos hacer una modificación completa del molde. En fundido rotacional podemos vaciar mas resina en el molde y tomará un tiempo de ciclo un poco mayor para manufacturar el objeto.

Una de las claras ventajas de moldeo rotacional es en la manufactura de prototipos. En moldeo por inyección o soplado el costo de los moldes es usualmente demasiado elevado para permitir experimentaciones. El tiempo de máquina-

es también costoso, donde debemos parar la producción de otros objetos en una máquina particular en tanto que se cambian y el molde experimental se corre.

En moldeo rotacional el costo del molde es relativamente bajo y el moldeador puede modificar el molde con relativa facilidad si prevee lo que es necesario hacer. Es mas los moldes individuales pueden montarse y correrse en una araña de moldeo rotacional con otros moldes similares en tamaño; con esto un pequeño tiempo de producción en otros artículos se sacrifica. Nosotros podemos también esperar un menor tiempo de entrega en moldes rotacionales comparandolos con los de inyección y soplado.

Otra ventaja del fundido rotacional es la habilidad de moldear dos colores a un mismo tiempo en un solo brazo, o máquina simple.

Podemos también moldear con áreas abiertas y curvas pronunciadas y el carácter de libre estilo de las partes es -- también una ventaja en muchos objetos moldeados rotacionalmente.

Esto no quiere decir que todos los moldeadores por inyección y soplado tiren sus máquinas y compren máquinas de fusión rotacional. El estudio ciertamente enseña un cuadro -- alentador para fusión rotacional, pero hay que enfatizar que este proceso como cualquier otro no puede hacer bien todo trabajo. Es probable que no sea económico el uso de este proceso para objetos como botes detergentes de alta densidad o botes -

blanqueados. La alta estabilidad térmica requerida para este proceso también limita el número de resinas las cuales son susceptibles de procesarse sin degradación por el moldeo rotacional.

El método rotacional se esta investigando ampliamente para desarrollar y vencer sus limitaciones. En el futuro con mejores técnicas y equipo automático debemos de suponer - que veremos mayor variedad de artículos moldeados por este simple y económico proceso.

Las conclusiones de los diferentes estudios que sobre diversos artículos moldeados por las técnicas principales comparandolas entre si, nos permite llegar a lo siguiente:

1.- El moldeo rotacional no se limita a la producción económica de artículos a niveles de bajo volumen.

2.- En efecto pues muestra la promesa de ser uno de los métodos mas económicos para convertir el polietileno de alta densidad en base de toneladas a productos adecuados.

3.- Los productos hechos con polietileno de alta densidad por moldeo rotacional seguirán aumentando en tamaño y peso por unidad, en una mayor proporción que en el moldeo por inyección, por soplado, o termoformado.

4.- El moldeo rotacional tiene un potencial excelente en producir un tanque de gasolina plástico que sea servicial y económico. Su posición competitiva contra el tanque de acero la determinará el mercado.

Mientras sea mas complicada la forma del tanque de

gasolina mayores ventajas ofrece el moldeo rotacional.

5.- El moldeo rotacional encontrara una siempre creciente posición en la fabricación de muchos artículos especiales. Tanques grandes, sistemas de ductos complejos, recipientes grandes, la puerta total de un refrigerador, etc.

6.- El moldeo rotacional está en su infancia y puede convertirse en un flamante adolescente en un futuro cercano.

Estos estudios se realizaron con datos de los costos que tienen en E.E.U.U., pero son válidos ya que lo que tratamos de demostrar es que el rotomoldeo es mas económico en muchos aspectos que los otros métodos de moldeo, y así comparativamente hemos visto como varían. El rotomoldeo como es lógico en México tendrá diferentes costos, generalmente mas elevados, pero lo mismo ocurrirá con los otros métodos, ya que sus costos también se incrementarán y así la relación seguira vigente en nuestro medio.

En cuanto al moldeo de polietileno de alta densidad nos encontramos con el problema de que la materia prima la tenemos que traer de E.E.U.U. siendo los principales abastecedores la Union Carbide y U.S.I. esto logicamente aumenta nuestros costos pero al aumentar la producción de artículos de estas características y por lo tanto la demanda de materia prima, se nos ha informado en Petroleos Mexicanos que ellos comprarían el equipo necesario para poder producir esta resina y esto disminuiria nuestros costos pues serían menores los gastos de flete así como los de almacenamiento. Además sería una nueva fuente

de trabajo en el país a la vez que evitaría la salida de divisas.

Como es lógico suponer después de este estudio cuando los industriales mexicanos se den cuenta de las ventajas de este proceso aumentaran los artículos que por este método se saquen al mercado y se fabriquen en México. Varios de los artículos que son susceptibles de fabricarse aquí, y muchos de ellos ya se hacen en otros países, bajarían los costos de diferentes productos.

Además con las facilidades que se tienen para cerrar la frontera a artículos que vinieran del extranjero y se empiecen a fabricar en México, con una adecuada planeación futura se puede predecir que el rotomoldeo tendrá un gran desarrollo nacional en los próximos años.

Además el bajo costo de mano de obra en México así como otros importantes factores nos permiten que en algunos artículos logremos obtener menores costos que los que tienen en E.E.U.U. lo que nos permitirá salir a competir en el extranjero y exportar nuestros productos.

Así tenemos por ejemplo los tanques de gasolina para coche que probablemente se introduzcan en el mercado el año próximo nos da una gran perspectiva de exportación hacia E.E.U.U. ya que las empresas de ese país no se dan a basto a cubrir la demanda, lo que facilitaría la entrada de este artículo mexicano y así obtendríamos un ingreso de divisas mayor, cosa que tanto necesita el país, creando de paso mas fuentes

de trabajo para el obrero nacional.

También el programa de vivienda popular nos ha abierto un gran campo como es la fabricación de juegos de baño de polietileno incluyendo desde el tanque almacenador hasta todos los implementos internos necesarios. Esto ayudará en gran parte al bajo costo de las casas pues será mucho menor su precio que los habituales y tendrán las mismas características de estos y algunas de ellas mejoradas.

Así como estos tendremos en el futuro muchos otros artículos que serán obtenidos por esta técnica de fusión rotacional que por su aspecto económico se hace una de las más prometedoras y que mayor desarrollo tendrá en los próximos años en México.

BIBLIOGRAFIA:

1. PETROTHENE POLYOLEFINS... A PROCESSING GUIDE  
U. S. I. CHEMICALS  
3 ED. 1965.
2. MOLDEO DE POLIETILENO EN POLVO MICROTHENE  
U. S. I. CHEMICALS  
1 ED. 1963.
3. ROTATIONAL MOLDING OF MICROTHENE POLYETHYLEN POWDER  
U. S. I. CHEMICALS  
1965.
4. MICROTHENE POLIETILENO EN POLVO....  
FLEXIBILIDAD DE DISEÑO, ECONOMIA DE PRECESADO  
U. S. I. CHEMICALS  
1965.
5. SYMPOSIUM ON ROTATIONAL MOLDING  
U. S. I. CHEMICALS  
1963-1964.
6. POLYETHYLENE POWERS FOR ROTATIONAL MOLDING  
UNION CARBIDE  
1969.
7. SYMPOSIUM II ON ROTATIONAL MOLDING WITH LINEAR  
POWDERED POLYETHYLENE  
U. S. I. CHEMICALS  
1966.
8. POLYETHYLENE RESINS FOR ROTATIONAL MOLDING  
SCLAIR  
1971.
9. POLYOLEFIN PLASTICS  
MARLEX  
1965.
10. THE CHEMISTRY OF PETROLEUM HYDROCARBONS  
BENJAMIN BROOKS
11. APUNTES DE LA MATERIA DE PLASTICOS II  
QUIM. JULIO TERAN ZAVALETA.

12. ORGANIC CHEMISTRY  
MORRISON AND BOYD.
13. PHYSICAL PROPERTIES OF POLYMERS  
J. BEUCHE.
14. POLYMERS AND RESINS THEIR CHEMISTRY AND CHEMICAL  
ENGINEERING  
BRAGE GOLDING.
15. TESIS: ADELANTOS EN LAS TECNICAS DE FABRICACION  
DE ENVASES FLEXIBLES  
JUAN GUERRERO E.
16. TESIS: INTEMPERISMO EN PLASTICOS  
GUILLERMO ALCAYDE LACARTE.
17. MONOGRAFIA DEL ETILENO  
PALACIOS HAASE LUIS ISMAEL.
18. A GUIDE BOOK TO MECHANISM IN ORGANIC CHEMISTRY  
PETER SYKES 2 ED.
19. ORGANIC CHEMISTRY  
FRANK C. WHITMORE 2 ED.
20. A GUIDE TO UNDERSTAND BASIC ORGANIC REACTIONS  
R. C. WHITFIELD  
1966.