

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE QUIMICA

**“REDUCCION DE PESO DE UNA CAJA DE
ACUMULADOR CON MATERIAL PLASTICO”**

318

José Guillermo Salcedo Fernández

INGENIERO QUIMICO

1 9 7 4



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.

Tesis
AÑO: 1977
FECHA: 1977
PROC. ~~200~~ 292



QUIMICA

Jurado asignado según el tema.

PRESIDENTE: prof. JULIO TERAN ZAVALETA
V O C A L : " ENRIQUE VILLARREAL DOMINGUEZ
SECRETARIO: " FERNANDO ITURBE HERRAN
1er. SUPLENTE: " MARGARITA GONZALEZ TERAN
2do. SUPLENTE: " ALFREDO R. BARRON

LUGAR DONDE SE DESARROLLA EL TEMA: FACULTAD DE QUIMICA.

SUSTENTANTE: JOSE GUILLERMO SALCEDO FERNANDEZ.

ASESOR DEL TEMA: prof. JULIO TERAN ZAVALETA.

Con todo cariño y agradecimiento eterno
a mis padres
que me han dado su apoyo y ejemplo.

A mis hermanos.

Al Sr. Quím. Julio Terán Z.,
con sincero afecto en reconocimiento
a su valiosa ayuda y orientación.

INDICE.

INTRODUCCION.

- A) SELECCION DEL MATERIAL
- B) PROPIEDADES DE LA RESINA
- C) SELECCION DEL PROCESO
- D) MAQUINARIA
- E) MOLDES PARA ROTOMOLDEO
- F) DISEÑO DEL MOLDE
- G) EXPERIENCIAS EN LABORATORIO CON PLASTICO ESPUMADO
- H) METODOS DE PRUEBA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DE
LAS RESINAS
- I) EXPERIENCIAS CON PLASTICO COMPACTO
- J) ECONOMIA
- K) CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION.-

Debido a la necesidad de utilizar, en un futuro no muy lejano, un automóvil eléctrico, es de suma importancia obtener acumuladores cada vez menos pesados conservando su potencia original. Es por ello que el objetivo de este trabajo fué reducir el peso de la caja de un acumulador por medio de materiales plásticos ligeros.

Se substituyó la actual vulcanita de las cajas de acumuladores por plásticos compactos ligeros, - con el objeto de abatir el peso de las cajas la mayor cantidad posible, conservando las resistencias físicas, mecánicas, eléctricas y químicas equivalentes a la vulcanita pero con menor espesor de pared.

Además, para reducir todavía más el peso alcanzado con los plásticos compactos, se ensayaron plásticos espumados reforzados con tela de fibra de vidrio al exterior así como en las paredes internas, tratando de conservar con el mismo espesor de pared de las cajas de vulcanita, sus equivalentes resistencias físicas, mecánicas, eléctricas y químicas.

Se evaluaron todos los resultados obtenidos experimentalmente, señalando aquellos materiales que -

3.

fueron significativos en el abatimiento del peso y el costo de las nuevas cajas.

Selección del material.-

Para la selección del material plástico que ha**br**ía de ser utilizado en la fabricación de la caja de un acumulador, se hizo un estudio entre los plásticos más - ligeros con el fin de escoger los más apropiados para éste trabajo.

Varios factores fueron tomados en cuenta, como: propiedades físicas, químicas y eléctricas de la resina, procesabilidad, producción nacional, costo, etc..

Los plásticos mejores en primera instancia, - fueron:

- compactos: Polietileno baja densidad (FX-18400 G).
 Polietileno alta densidad (SCLAIR 8707).
 Polipropileno (PRO-PAX 7423).
 Nylon (DURALIDA - 200).
 Poliestireno super alto impacto (HI-180).
- esumados: Poliestireno expandible (STYROCOR).
 Espuma rígida de poliuretano.

El polietileno es un polímero con muy buenas propiedades de moldeo, de bajo peso específico y existe en dos diferentes densidades, cada tipo presenta propiedades especiales y es posible hacer mezclas de los dos tipos obteniéndose polietileno con mediana densidad. Esta resina es de bajo costo y producción nacional (el de baja densidad solamente).

El polipropileno es un polímero que tiene características muy semejantes y hasta superiores en algunos aspectos al polietileno, sólo que tiene la desventaja de ser un producto de importación.

Los polímeros de nylon, son poliamidas termoplásticas cuyas propiedades las colocan muy alto en la lista de los plásticos; los artículos moldeados con estas resinas son fuertes y mantienen su forma a elevadas temperaturas, resisten el ataque de los ácidos.

En general, cuentan con muy buenas propiedades por lo que serían buenos materiales para la obtención del artículo deseado, sin embargo, sus precios son muy altos en comparación con los correspondientes a las dos resinas anteriores, esto impide que sean incluidas en el desarrollo de éste trabajo. Por ésta razón, de entre las resinas compactas se le dió mayor importancia al polietileno, el cual fué utilizado en todas sus den-

sidades, quedando en segundo término el polipropileno, sin perder por esto su importancia.

PROPIEDADES BÁSICAS DE LA RESINA.

Variación de las características del producto terminado según las propiedades básicas.-

Tres propiedades moleculares básicas: 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 muy poco por estos tres factores moleculares básicos.

Pequeñas variaciones en la densidad pueden ocasionar marcados efectos.-

Un polietileno de alta densidad es aquel en que un mayor porcentaje de moléculas están empaquetadas de una manera ordenada y el volumen de las áreas amorfas desordenadas es relativamente pequeño. En tanto que, las primeras resinas de petroteno tienen densidades desde 0.915 a 0.917 g/cc., las resinas que las sucedieron tienen densidades hasta de 0.948, y actualmente se producen resinas de petroteno de densidades considerablemente altas, arriba de 0.960.

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 lo 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 se muestran en la siguiente tabla:

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.

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 son preferibles, y otras en las que las de baja densidad son mejores. La tabla O da un bosquejo de algunas propiedades importantes para 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

Tabla O.-

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
punto de ablandamiento al calor		alta	más alta
esfuerzo permisible		alta	más alta
esfuerzo de tensión a la ruptura	más alta	alta	más alta
elongación a la ruptura	más alta	alta	
rigidez		alta	más alta
resistencia al encogimiento	más alta	alta	
resistencia al encombamiento	más alta	alta	
fuerza de impacto en película (rudeza)	más alta	alta	
resistencia a la fragilidad a bajas temp.	más alta	alta	
resistencia a esfuerzo de ruptura en medio amb.	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	(")
libertad al bac o bruma	alta	más alta	(")
brillo	alta	más alta	(")
extracción de película		alta	más alta
resistencia de película caliente a rasgaduras		alta	más alta
tiempo de ciclo de moldeo		poca	poca
(") no es aplicable a polietileno de alta densidad.			

es la segunda propiedad molecular básica.

El químico de polímeros distingue entre varios promedios de pesos moleculares, con limitaciones estos pesos se relacionan inversamente 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 y rotacional.

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. La distribución de peso molecular se llama angosta si la resina se compone en su mayoría de cadenas cercanas a la longitud promedio; se llama

ancha si la resina está formada de mayor variedad de longitud.

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 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 moleculares básicas a las propiedades esenciales de la resina.

Las tablas 1, 2 y 3 muestran como afectan las tres propiedades moleculares básicas 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.

Tal como se muestra en las tablas, dos propiedades moleculares básicas pueden tener efectos contrarios - en ciertas resinas o productos acabados, en tales casos - el uso final determinará cuales propiedades y consecuente

mente, cuales factores moleculares básicos son más importantes y cual resina de polietileno deberá usar el procesador así como el material 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 frutas 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 caseros, aceites o solventes.

Por consiguiente, las resinas de polietileno -

TABLA 1.- Muestra como afecta la densidad a las propiedades esenciales de la resina.

PROPIEDADES FISICAS

**SI LA DENSIDAD SE AUMENTA
DE 0.915 A 0.965**

viscosidad de fusión temperatura de ablandamiento dureza de superficie	alta muy alta alta
resistencia al bloqueo y pegajosidad en moldes resbalamiento o deslizamiento	alta alta
temperatura de sellado rango de temp. de sellado	alta angosta
fza de tensión permisible al frene a la elongación	muy alta lig. baja baja
resistencia a deslizarse	alta
rigidez al combee flexibilidad	muy alta baja
fuerza de impacto en película fuerza de razgadura en película	baja
resistencia a la fragilidad a bajas temperaturas resistencia al esfuerzo de ruptura en el medio ambiente	baja baja
propiedades ópticas: transparencia para deshacerse del bao o bruma brillo	alta " alta " alta "
velocidad de sacado u obtención	lig. alta
bordes y molduras adhesión a los substratos (física)	alta lig. baja
encogimiento a combarse propiedades eléctricas	alta lig. alta lig. alta

TABLA 2.- Efectos que causa el índice de fusión a las propiedades básicas de la resina.

PROPIEDADES FISICAS

SI EL INDICE DE FUSION SE
AUMENTA O EL PESO MOLECULAR
PROMEDIO SE DISMINUYE

viscosidad de fusión temperatura de ablandamiento dureza de superficie	baja baja lig. baja
resistencia al bloqueo y pegajosidad en moldes resbalamiento o deslizamiento	lig. baja no afecta
temperatura de sellado rango de temperatura de sellado	lig. baja angosta
fza de tensión permisible al freno a la elongación	lig. baja baja baja
resistencia a deslizarse	lig. baja
rigidez al combeo flexibilidad	lig. baja
fuerza de impacto en película fuerza de razgadura en película	baja
resistencia a la fragilidad a bajas temperaturas resistencia al esfuerzo de ruptura en el medio ambiente	lig. baja baja
propiedades ópticas: transparencia para deshacerse del bao o bruma brillo	alta alta alta
velocidad de sacado u obtención	muy alta
bordes y molduras adhesión a los substratos (física)	muy alta lig. alta
encogimiento combarse propiedades eléctricas	baja baja no afectan

TABLA 3.- Efectos de la distribución de peso molecular en las propiedades de la resina.

PROPIEDADES FISICAS	SI LA DISTRIBUCION DE PESO MOLECULAR SE HACE MAS ANGOSTA
viscosidad de fusión temperatura de ablandamiento dureza de superficie	alta lig. alta lig.
resistencia al bloqueo y pegajosidad en moldes resbalamiento o deslizamiento	
temperatura de sellado rango de temperatura de sellado	lig. baja angosta
fza de tensión permisible al freno a la elongación	lig. alta
resistencia a deslizarse	alta
rigidez al combeo flexibilidad	
fuerza de impacto en película fuerza de razgadura en película	
resistencia a la fragilidad a bajas temperaturas resistencia al esfuerzo de ruptura en el medio ambiente	lig. alta alta lig.
propiedades ópticas: transparencia para deshacerse del bae o bruma brillo	alta baja baja
velocidad de sacado u obtención	baja
bordes y molduras adhesión a los substratos	alta
encogimiento a combarse propiedades eléctricas	alta ne afectan

de mayor peso molecular se usan para fabricar garrafones, que se emplean como recipientes de ácidos o para botellas.

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 °F (190 °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. 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 cavidad dada, tal como un molde, o transformarse en alguna forma especial, como una película.

Resina 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 involucra consideraciones sobre las propiedades físicas y químicas de la resina, sino - las propiedades del polvo, tamaño de la partícula, forma y uniformidad.

La resina 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 estándar de una resina 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 flúidos, de la resina en polvo en el molde. El procedimiento estandard del ASTM D 1895-61T se usa para medir esta propiedad.

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

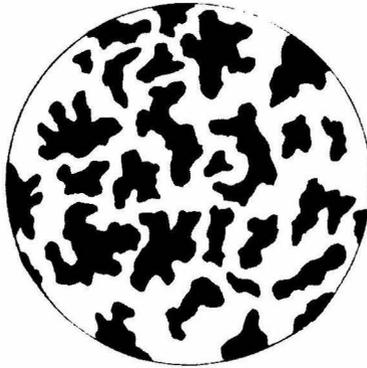
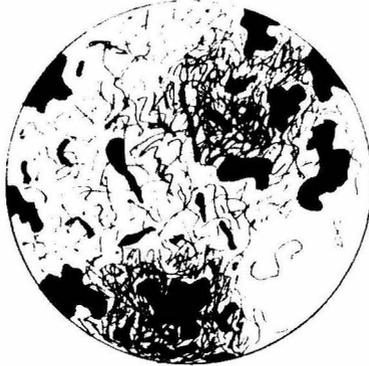
El tamaño de malla y la distribución de partícula se determinan normalmente pasando el polvo a - través de un tamiz estandard. El tamaño de malla se considera como el mínimo tamaño de tamiz por el que pase - el 95% o más del polvo. Debido a que ello influye en la facilidad para desparramarse y fundirse, 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.

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 facilmente el cual continuamente recubrirá la superficie interior. (los polietilenos en polvo tienen densidad aparente de cerca de 20 a 21 libras/ft³). Este aspecto distintivo ayuda a producir partes de espesor

de pared uniforme.

Las microfotografías de la figura 1 se usan en la inspección normal de la forma de la partícula. Las colas de aspecto de pelo en cada partícula de arriba decrecen la aceptabilidad de la resina porque la hace menos - fluída. Moliendas de esta naturaleza fueron producidas - durante los primeros días del moldeo con polvos. La figura de abajo indica la forma de la partícula excelente con una gran facilidad para desparramarse.



Polietileno de alta densidad pulverizado
retenido en una malla 60. Una molienda
como se muestra abajo es más apropiada
para moldeado.

fig. 1.

Selección del proceso.-

Existen varios procesos mediante los cuales se puede moldear un artículo termoplástico: por inyección, termoformado, por soplado, rotomoldeo. Estos procesos son unos de los más importantes y más ampliamente usados.

La selección del proceso más adecuado depende muchas veces de la pieza que se desea fabricar, por ejemplo, un objeto sin costuras hueco, que requiera espesor de pared uniforme será casi siempre rotomoldeado, debido a que requiere soldarse en el moldeo por inyección y 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 bisel de puerta de refrigerador será mejor si se termoforma.

Una pieza como la deseada en éste trabajo se puede obtener por todos estos procesos ya mencionados, sin embargo, el moldeo rotacional tiene un costo de producción más barato, ventaja primordial que permite superar a los demás. Por ésta razón el rotomoldeo fué el proceso escogido para la obtención de la caja de un acumulador. Existen además otras ventajas del proceso, las cuales serán tratadas más adelante.

Moldeo por rotación.-

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

Consiste de los siguientes pasos:

1. Una cantidad predeterminada de plástico en polvo - (según el peso deseado en el producto final) se carga en la cavidad de la parte inferior del molde.
2. Las mitades del molde se aseguran en su lugar. Para piezas totalmente cerradas, el molde está totalmente hecho de material conductor del calor. En el caso en que la pieza tenga uno o ambos extremos abiertos, el molde se cierra con tapas de materiales aislantes.
3. Los moldes cargados se ubican en un horno donde son calentados al mismo tiempo que se hallan en rotación sobre dos ejes perpendiculares entre sí. La Fi

gura 2 ilustra el principio de la rotación biaxial en forma esquemática.

Las temperaturas comunes en las estufas son de 205 a 370 °C. Las fuentes de calor pueden ser:

- a) Aire caliente
- b) Rayos infrarrojos (por gas o electricidad)
- c) Llama de gas directa
- d) Sal fundida

Lo que determina cual fuente de calor es preferible, es el equipo del que se dispone, los productos a fabricar y otras circunstancias.

4. El movimiento de rotación doble produce objetos huecos en cada una de las cavidades del molde. El plástico en polvo es distribuido en forma pareja para paredes de espesor uniforme. El peso y el espesor de las piezas moldeadas puede ser modificado mediante el incremento de la cantidad de polvo que se introduce en el molde.
5. Una vez que todo el polvo se ha fundido para formar una capa homogénea, el molde se enfría por inmersión en un tanque de agua o mediante rociado -- mientras todavía se halla en rotación.

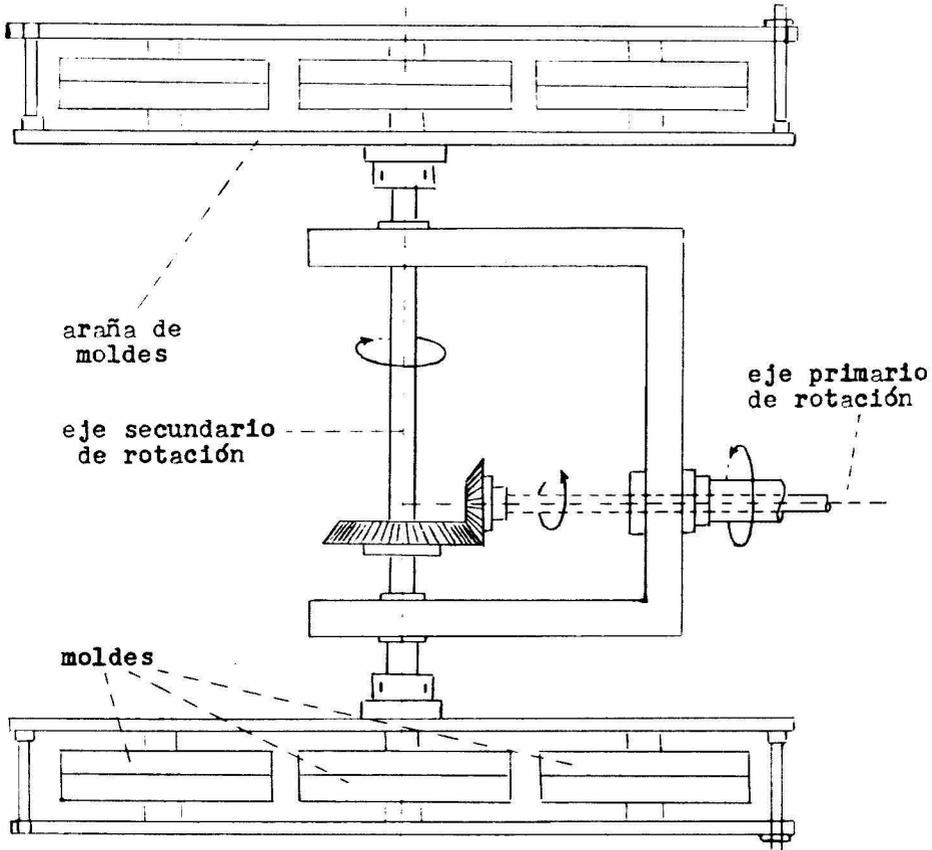


Figura 2. Ilustra esquemáticamente el sistema típico usado para obtener la rotación de los moldes en dos planos perpendiculares entre sí.

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 está hecho el molde.

Cuando se moldea un artículo nuevo, es recomendable abrir algunas piezas y examinar su superficie interior, para asegurarse que la misma 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 pueden ajustar entonces las condiciones del ciclo.

Maquinaria.-

El equipo rotacional con que se trabajó para la obtención de las cajas de acumulador es del tipo intermitente o por lotes. En esta máquina el horno es el centro de operaciones en el cual se llevan a cabo las tres eta-

pas del proceso que son:

- a) Carga
- b) Calentamiento
- c) Enfriamiento (que consta de dos partes: un ciclo de pre-enfriamiento o "pre-cool cycle" y baño de agua o "shower cycle").

En los controles de operación de la máquina existen tres relojes en donde se fija el tiempo deseado para cada etapa, ajustandose de esta manera las condiciones del ciclo de proceso. Con excepción de la carga y descarga de los moldes que se hace en forma manual, las demás etapas del proceso las realiza la máquina en forma automática siguiendo el ciclo de trabajo fijado.

La figura 3 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. En el centro de la flecha mayor se encuentra una estructura metálica sobre la cual va la flecha menor. En cada extremo de la flecha menor se localizan las plataformas de los moldes. El engranaje cónico rotacional doble que también está pegado a la flecha menor embona el engranaje cónico compuesto, el cual está

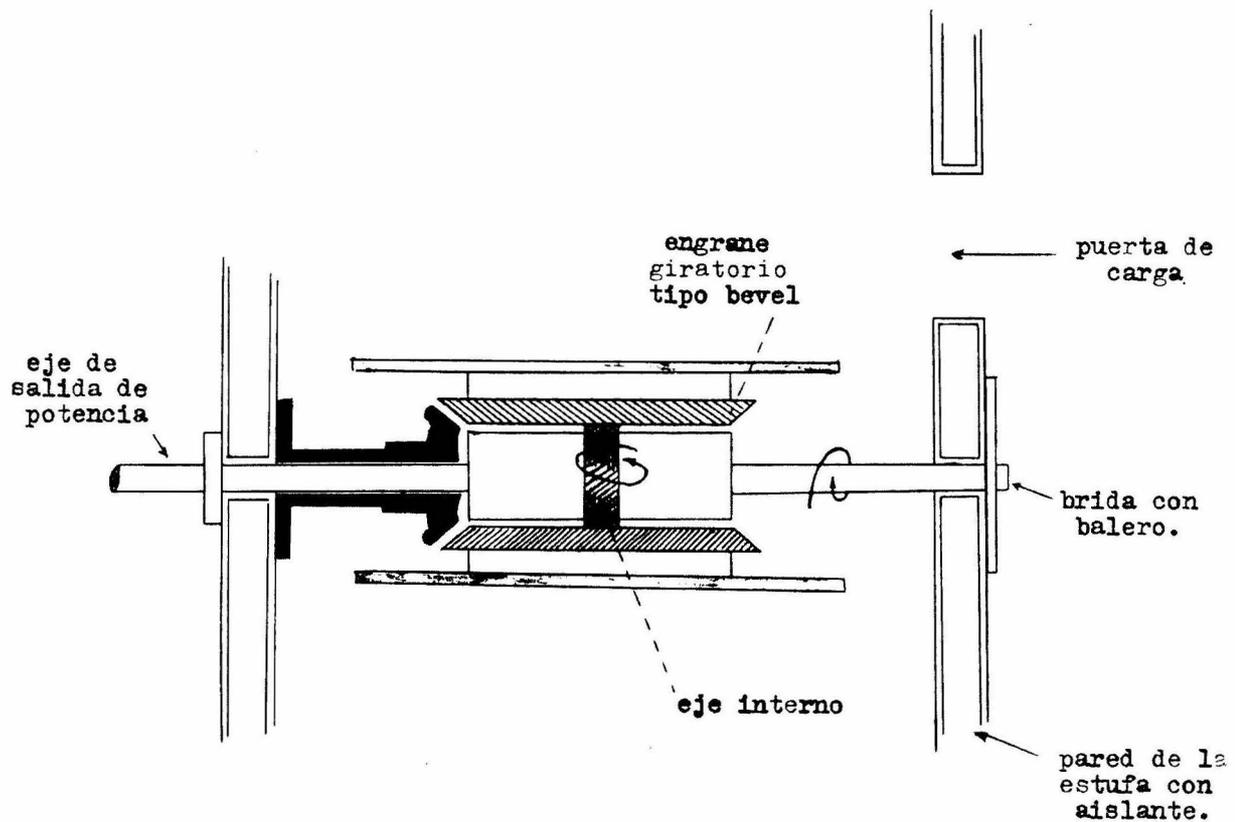


Fig. 3 ESTUFA DE ROTOMOLDEO.

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 rotación a la flecha menor.

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

Velocidad de rotación y relación de rotación (ratio).-

Des 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, también por selección 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 desbalan-

ceada causa que la resina fundida fluya hacia el área o áreas de mayor concentración de fuerza resultando así ar tículos 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 están a igual distancia del centro de gravedad (una esfera).

El moldeo rotacional no es un proceso de fundi ción 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 menor, se re

quiere una relación de aproximadamente 1:4.

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 y t = tiempo para completar el polvo un recorrido sobre la superficie del molde. Puede calcularse como sigue:

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

donde x viene de la ecuación (3) y M es la 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) será:

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

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

$$R = \frac{15}{4} \qquad \begin{array}{l} x = 15 \\ y = 4 \end{array}$$

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 que la configuración del molde, densidad del polvo y relación de rotación, están sujetas a variación considerable, se presenta ésta regla como un factor cualitativo.

Si se presentan grandes aberturas en áreas que están más cercanamente paralelas al eje menor de rotación, el grado de separación (θ) del recorrido del polvo debe reducirse.

El grado de separación (θ) se afecta por la relación particular empleada. Primero multiplicamos el numerador 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 (RPM. eje menor) son los números enteros menores posibles.

Entonces: cuando ambos, x y y sean números no-nes:

$$\theta = \frac{360}{x}$$

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 y relación que sea requerida para eliminar aberturas o regiones delgadas en el moldeo. Este 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.

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.

Carga.-

La carga y descarga de los moldes se efectúa en forma manual, una cantidad de resina en polvo previamente determinada es pesada exactamente y colocada en la parte inferior del molde, el cual ya debe estar perfectamente limpio y en sus paredes el silicón desmoldante aplicado.

Para facilitar la entrada y salida de los moldes a la estufa, enfrente de ésta existe una tarima provista de rodillos por la cual es fácil deslizar objetos pesados.

La carga y descarga de los moldes es un factor de tiempo importante en el proceso de rotomoldeo, de aquí que una entrada y salida a la estufa de acción rápida sea necesaria. Para esto se utiliza un marco de acero sobre -

el cual va soldado un ramal cíclico (ver fig. 4) llamado comunmente "araña para moldes" donde estos son asegurados, de ésta manera se obtiene una rápida acción en conjunto - donde solamente es necesario meter o sacar dos arañas para que el horno quede cargado o descargado según sea el caso.

Ya que la máquina cuenta con dos plataformas para moldes se deberá tener por lo menos dos arañas con la misma cantidad de moldes, o si se tienen moldes de diferentes tamaños, el peso de cada una de las arañas deberá ser igual para que el sistema este balanceado. Si se desea acelerar la producción se puede tener dos arañas más, así mientras un conjunto de moldes se está procesando, - la descarga, limpieza y carga de los otros moldes se puede estar haciendo.

La figura 4 muestra el sistema que es utilizado para asegurar la araña en la plataforma de moldes, ésta consta de unos rodillos por donde el marco es deslizado a la vez que va entrando en una serie de ángulos de acero - que lo traban. Una vez que el marco ha quedado totalmente sobre la plataforma de moldes se corren unos seguros que impiden que éste caiga cuando el sistema está girando.

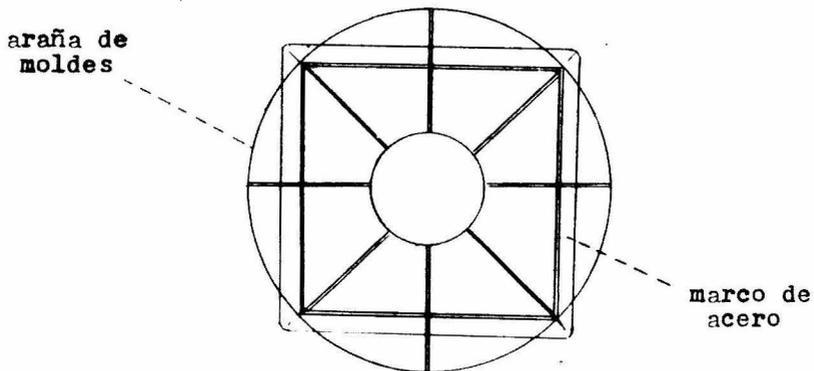
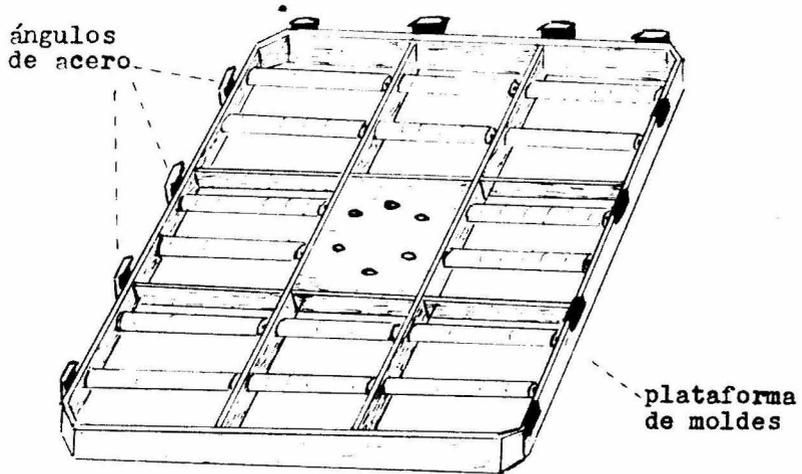


Figura 4. Muestra el sistema que es utilizado para asegurar la araña en la plataforma de moldes.

Ciclo de calentamiento.-

El aire caliente es el que se usa comunmente como fuente de calentamiento para moldeo rotacional. Es particularmente apropiado 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, la cual puede obtenerse por la precisa desviación de los ventarrones 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.

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.

El horno tiene un rango de temperaturas de 50. a 550 °C, en donde pueden escogerse las temperaturas más apropiadas y el tiempo que debe durar el ciclo, según sean las condiciones de obtención del artículo deseado.

Ciclo de enfriamiento.-

Este ciclo consta de dos partes: un tiempo de re-enfriamiento (pre-cool cycle) y otro tiempo de baño en agua (shower cycle).

El primero es un tiempo determinado en el que los moldes son enfriados lentamente por la acción del aire mientras el sistema sigue girando. En el segundo tiempo se logra un enfriamiento de los moldes rápido y uniforme mediante el rociado con agua, el que va aumentando paulatinamente hasta formar verdaderos chorros de agua, que bañan completamente los moldes.

Moldes para rotomoldeo.-

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 afectan por el molde.

Tanto el espesor del molde como el tipo de material usado en su construcción va a influir sobre las velocidades de calentamiento y enfriamiento del mismo, - por lo tanto, para tener uniformidad en estas es necesario que el espesor de la pared del molde también sea uniforme. Un requisito primordial del molde es resistir el calentamiento repetido y enfriamientos bruscos sin sufrir deformaciones o cambios apreciables.

Una de las ventajas del moldeo rotacional es - que se pueden usar moldes poco pesados de paredes delgadas que son más baratos y más fáciles de construir que - moldes utilizados en otros procesos como inyección, soplado, etc.

Entre los materiales más comunes que se utilizan en la construcción de moldes se encuentra la chapa de acero, el acero revestido con cobre, el aluminio fundido y el cobre electroformado.

De acuerdo a la información disponible hasta la fecha es recomendable que los moldes sean construidos con chapas de acero de calibre 16 a 18 (1.6 a 1.8 mm.) en cuanto sea posible. El acero inoxidable revestido con cobre - es más caro que la chapa de acero, pero en cambio provee mayor conductividad del calor al molde y al mismo tiempo conserva la resistencia estructural del acero.

El aluminio es relativamente barato y fácil de usar en la manufactura de moldes, sin embargo, está sometido a deformaciones y agrietamientos permanentes cuando se le somete sucesivamente a altas temperaturas. Los moldes hechos de aluminio no deben ser calentados a más de 230 °C.

La siguiente tabla enumera la conductividad térmica de metales usados en la fabricación de moldes para -moldeo rotacional.

$\text{g-cal/hr. cm}^2\text{-}^\circ\text{C. cm.}$	
Acero	31
Aluminio	148
Cobre	257

Es absolutamente esencial que no haya porosidad en las superficies internas de los moldes.

Los artículos moldeados con resina en polvo tienen cierta flexibilidad aunque no tanto como los artículos de vinilo, los cuales pueden ser retirados a través de aberturas estrechas en los moldes. En consecuencia, todos los moldes para el moldeo rotacional deben ser del tipo - partido por el medio. Es recomendable evitar diseños que contengan ángulos agudos, largas formas tubulares y curvaturas duras angostas y profundas.

El sistema de cerrado de los moldes debe ser de acción rápida y con una unión adecuada para prevenir que el agua entre al molde.

Diseño del molde.-

El molde con que se trabajó para la obtención de la caja del acumulador, fué diseñado con el fin de hacer una cierta cantidad de cajas, para recopilar todos los datos del proceso y por medio de los cuales observar el acabado y resistencia de las piezas. Sin embargo para un -

trabajo en gran escala, será necesario hacer un nuevo di seño del molde, en donde se tenga en cuenta la nueva for ma de proceso.

En el moldeo rotacional es posible obtener artículos cerrados de gran tamaño tales como esferas, cilindros, barriles, etc. Estas piezas debido a su estructura geométrica están libres de esfuerzos que les produzcan encombamiento. Pero en el caso de moldeo de artículos que contengan superficies planas el encombamiento es un serio problema; para evitarlo se utiliza una variación en la forma de moldear la pieza, la cual consiste en hacerlo ex teriormente.

Moldear exteriormente no es más que hacer que la pieza que uno desea producir tome la forma de la parte exterior del molde, lo cual es lo contrario a la forma normal de moldeo en donde la resina es colocada dentro de los moldes y ésta toma su forma interior.

En realidad todo el proceso en general es el mismo solamente la construcción del molde se verá afecta da por el cambio en la posición de la resina.

En el moldeo rotacional la resina es procesada dentro del molde, pero para moldear exteriormente es necesario tener un recipiente que contenga la resina, para

formar el recipiente se utiliza un contramolde que al momento de unirse al molde deja un espacio por donde circula la resina. Un espacio de dos pulgadas entre molde y contramolde permitirá que el plástico en polvo circule con facilidad a través de todas las partes del molde.

En la figura 5 se representan en forma esquemática todas las partes que constituyen el molde utilizado para la obtención de las cajas de acumulador.

El molde deberá tener en su parte exterior la forma del artículo que se desea moldear, con todos los refuerzos, remaches o partes soldadas en la parte interior. Para su construcción se utilizó lámina de acero inoxidable de poco espesor calibre 16 (1.6 mm.), con el fin de obtener una buena transferencia de calor y la resina funde con facilidad a través de todas las paredes del molde. No existe problema de deformación en las paredes del molde ya que la presión formada dentro de éste por desprendimiento de gases o la presión suministrada exteriormente es muy baja.

El contramolde se construyó también de lámina de acero inoxidable pero de mayor espesor, con el fin de obtener la menor cantidad de resina fundida en sus paredes.

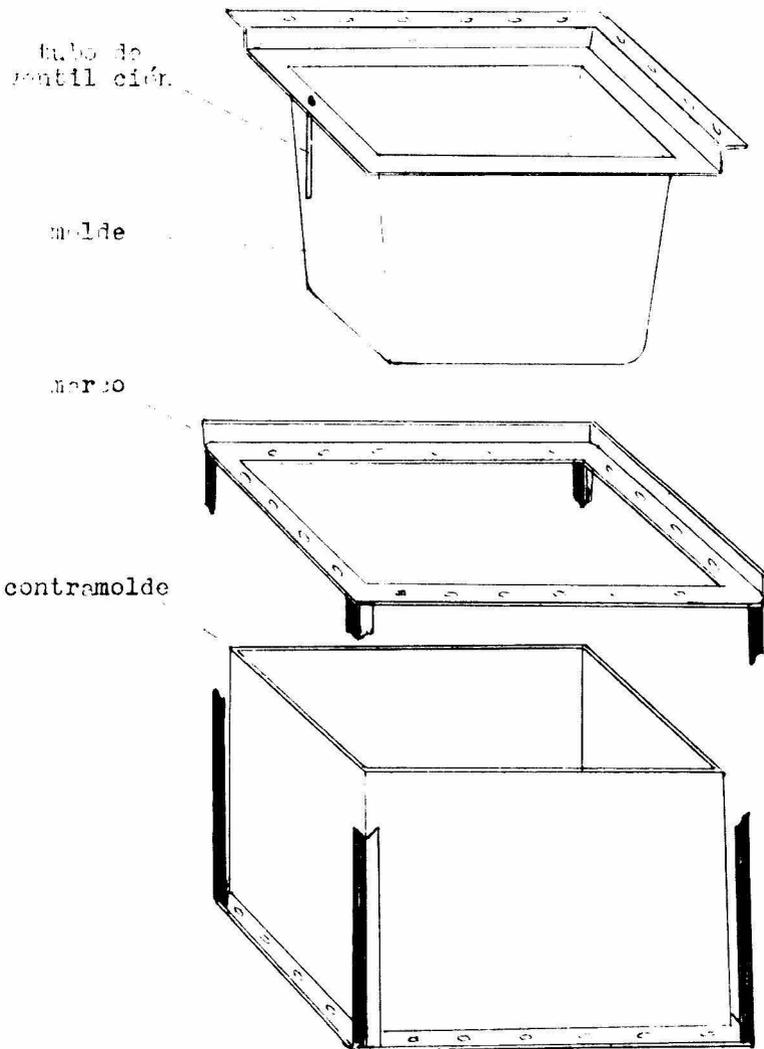


Figura 5. Representa en forma esquemática todas las partes que constituyen el molde.

El marco es una estructura metálica que sirve para afianzar el molde en la araña.

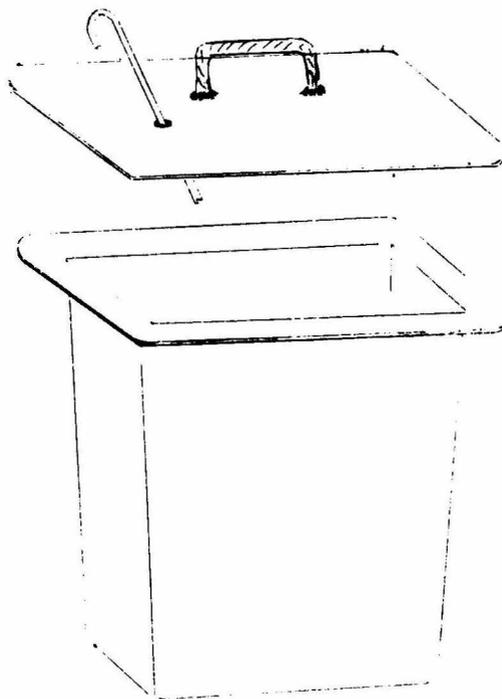
La figura 6 muestra un esquema del molde empleado para la obtención de las cajitas que forman las celdas del acumulador.

Ventilación del molde.-

Los respiraderos de los moldes deben usarse en el moldeo rotacional cuando sea posible. Sin un tubo de respiración 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 borbollón en la línea de unión de los moldes y después de enfriado se forma un vacío dentro del producto moldeado que produce encombamiento. Los tubos respiradores eliminan estas condiciones indeseables.

Respiradero de los moldes.-

Una ventilación adecuada es un factor muy importante en el moldeo rotacional y debe darsele considera--



Esquema del molde empleado para la obtención de las cajitas que forman las celdas.

fig. 6.

ción especial. la cantidad de ventilación depende de estos factores:

1.- Espesor de pared, mientras más delgada sea la sección es más importante la ventilación.

2.- La geometría de la parte. Las partes esféricas y cilíndricas son estructuralmente estables y por lo tanto a menudo no requieren ventilación. Partes con superficies planas largas, las cuales son menos estables y por lo tanto más dispuestas al combeo, siempre requieren ventilación.

3.- El tamaño de la parte. El orificio de ventilación debe diseñarse con la capacidad suficiente para proporcionar el volumen de aire que pasará por él.

4.- La densidad de la resina empleada. En el caso del polietileno la ventilación es menos crítica donde se usa baja densidad porque se encoge menos que el material de alta.

La ventilación o respiradero, que es un tubo de pared delgada, generalmente hecho de acero inoxidable o de teflón (resina de flúor 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, etc, 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.

Normalmente un solo tubo venteador se usa por molde.

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 evitar-

se, si una pieza plástica o de cualquier material que se produzca a alta temperatura y subsecuentemente 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 térmica de la resina. Para el petroteno es 0.000,28 pulgadas por pulgada (2.8 micras por cm.) por °C.

Además de las condiciones de moldeo, el encogimiento se afecta también por las propiedades 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 se tiene que trabajar con pocas tolerancias, en el diseño del molde debe tomarse muy en cuenta el inevitable encogimiento de la 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.

Agentes para desprender moldes.-

Existen comercialmente muchos agentes desmoldantes para dar el adecuado desprendimiento de la parte y el molde. Cuando se valúa y selecciona un agente desprendedor para hacer un trabajo, los factores tales como facilidad de pintado, aplicación y economía deberán de considerarse.

Si no se usan agentes desmoldantes, el producto moldeado puede extraerse difícilmente. Los agentes más ampliamente usados 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.

Un curado del molde es necesario cuando éste es nuevo, que consiste en aplicar silicón desmoldante en todas las paredes del molde y exponerlo abierto en el horno a cocción. De ésta manera se volatiliza el solvente y el agente desmoldante queda depositado sobre las paredes del molde.

Sin embargo, en ésta primera aplicación casi siempre queda un exceso de desmoldante, el cual se elimina después al ser absorbido por las primeras piezas de prueba que se moldean.

Objetos coloreados.-

Hay dos maneras de obtener artículos moldeados con color: 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. Existe otro método de adquisición de color mediante el pintado del objeto - rotomoldeado después de terminado. Pero para el caso de la pieza deseada en éste trabajo, cualquiera de los dos primeros métodos es más adecuado.

Hay pequeñas desventajas, particularmente en la operación de mezclado en seco. Si se usa un pigmento equivocado en éste, al moldear el 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 más de cien pigmentos de varias abastecedoras obteniendo una lista de 15 a 20 pigmentos que son convenientes para el rotomoldeo. Uno de los problemas que se han analizado es 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.

Otras ventajas del proceso.-

- 1.- Las partes están virtualmente libres de esfuerzos debido a que no se usa presión externa en el moldeo.
- 2.- No se producen desperdicios de resina, porque se usa el molde exacto del material.
- 3.- Se puede lograr espesor de pared uniforme. Las esquinas radiales tendrán mayor espesor que las paredes del artículo, para añadir fuerza donde más se necesita.
- 4.- Pueden producirse partes totalmente cerradas y huecas.

- 5.- Las partes no tienen líneas de unión.
- 6.- Muchas partes que no son factibles de hacer por otro proceso, pueden producirse economicamente por moldeo rotacional.
- 7.- Pueden moldearse con facilidad partes complicadas, rígidas con cortaduras, y que contengan inserciones de metal.
- 8.- Pueden moldearse a la vez dos o más materiales diferentes.
- 9.- Los moldes son más baratos que en los otros procesos y pueden ser de hoja de metal o de aluminio fundido.
- 10.- Pueden moldearse a la vez varios colores en la misma máquina.
- 11.- Es posible mantener la uniformidad del espesor dentro de un margen 5%. Las diversas técnicas para moldear polvos permiten obtener piezas con espesores del orden de 0.8 a 25 mm.
- 12.- 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.
- 13.- Se pueden moldear practicamente piezas sin limitaciones.

taciones de tamaño. El único factor a considerar es el límite práctico en el tamaño del molde y la resistencia de los ejes.

14.- No es necesario el calentamiento posterior del artículo para obtener una superficie lisa.

15.- El moldeo rotacional, es económico en muchos casos si se considera el costo por unidad. Se adapta fácilmente a métodos de producción continuos y de gran rendimiento, especialmente cuando se utilizan cavidades múltiples.

Experiencias en laboratorio con plástico espumado.-

Con el fin de reducir el peso de la caja de un acumulador un porcentaje mayor que el alcanzado utilizando diferentes plásticos ligeros compactos, se trabajó con plásticos espumados; el material usado fué espuma rígida de poliuretano y poliestireno expandible.

Ya que los plásticos espumados no cuentan con la resistencia de los materiales compactos, fué necesario reforzar con tela tupida de fibra de vidrio las pare

des de la caja, tanto en la parte interna como en la externa, lograndose obtener de ésta manera una pieza más consistente.

Después de varias experiencias realizadas con espuma rígida de poliuretano, se encontró que éste material no es el apropiado para obtener la caja de un acumulador, debido a la forma complicada de la pieza y ciertos problemas que se presentan:

a) Se necesita un molde completamente cerrado, de paredes de espesor muy grueso para resistir las grandes presiones producidas al esponjar el espumado. El diseño del molde se dificulta sobre todo si la pieza es de forma complicada.

b) Las paredes de gran espesor del molde hacen difícil su construcción y su costo muy elevado.

c) Los plásticos espumados de poliuretano tienen un gran poder de adherencia que hacen sumamente difícil la extracción de la pieza del molde.

d) El precio del material espumado es muy alto en comparación al precio de los plásticos compactos.

Con respecto a la espuma de poliestireno expandible, las primeras cajas hechas con este material no tenían la consistencia deseada, fué necesario aumentar la

cantidad de material empleado para la obtención de la caja. A medida que se fué aumentando el peso, se fueron logrando cajas cada vez más compactas pero también se fueron perdiendo propiedades como flexibilidad y bajo peso.

La caja obtenida con éste material fué desechada por resultar muy quebradiza y de peso muy alto, mayor aún que el de las cajas obtenidas con los plásticos compactos.

Métodos de prueba para determinar las propiedades de las resinas.-

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 de 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.

Densidad.-

La importancia de la densidad como una propiedad básica molecular que afecta casi a todas las propiedades físicas esenciales ya fué tratada extensamente. La densidad generalmente se determina en g/cc., se pesa una muestra de petroteno moldeada a presión a 23 °C primero en aire y luego sumergida en un líquido inerte (químicamente - inactivo) de densidad conocida. Este es el llamado método hidrostático (ASTM D 792-60T).

Este método se usa para determinar la 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.

El petroteno esta 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 período específico de tiempo. El indicador de índice de fusión consiste esencialmente de 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 se mantiene la temperatura a 190 °C (374 °F). El índice de fusión de la muestra es el peso en gramos, extruídos en 10 minutos.

Punto de fusión.-

Cuando el polietileno se calienta arriba de - 160 °F (70 °C), su cristalinidad decrece gradualmente, dando paso a un aumento en el porcentaje de volúmen 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 °F (190 °C) a la -
cual se determina el índice de fusión. Las resinas de pe-
troteno de alta densidad tienen puntos de fusión más al-
tos. Los puntos de fusión más altos ayudan a la disminu-
ción del tiempo en el ciclo de moldeo por inyección y el
aumento de la velocidad de producción para película so-
plada.

Punto de ablandamiento al calor.-

El punto de ablandamiento al calor (o tempera-
tura 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. de sección bajo una carga
de 1 gr. penetra 1 mm. en el artículo de polietileno. En
la prueba VICAT la temperatura de la muestra se aumenta
a velocidad constante.

Ninguna de las resinas existentes de petroteno,
deben calentarse arriba de 180 °F (82 °C). La temperatu-
ra de ablandamiento aumenta considerablemente mientras -

aumenta la densidad y ligeramente cuando disminuye el índice de fusión.

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 puede someterse y regresar después a su forma original cuando la fuerza se ha eliminado. La fuerza de tensión, también expresada en las mismas unidades, que romperá la muestra moldeada 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.

En los laboratorios estas tres propiedades, que están más o menos relacionadas entre sí, se verifican por los 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 cruzeta 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.

Dureza.-

La dureza es necesaria para muchos productos finales; 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.

Pruebas de resistencia para cajas de acumulador.-

Prueba de resistencia al ácido sulfúrico.-

Esta prueba consiste en determinar el cambio - de peso y dimensiones así como la profundidad de penetra ción del ácido sulfúrico en una muestra tomada de la ca- ja del acumulador que se desea probar.

El procedimiento consiste en sumergir la mues- tra totalmente en una solución de ácido sulfúrico a una temperatura de 27 °C durante un período de 28 días máxi- mo, posteriormente la muestra es retirada para lavarla y secarla perfectamente.

Se observa el peso y las dimensiones de la mues- tra y se mide la penetración que hubo de ácido en la mis- ma la cual no debe de ser mayor de 4 mm.

Prueba de resistencia a cambios bruscos de temperatura.

Esta prueba provee información de la resistencia de la caja de un acumulador a los cambios bruscos de temperatura, se utiliza como material de prueba toda una pieza completa.

La pieza es llenada completamente con ácido sulfúrico y se coloca en un refrigerador, el cual es mantenido a una temperatura de 0 ± 2 °F durante un período de 16 horas. Después de éste tiempo la pieza se pasa directamente a una cámara caliente que deberá tener una temperatura de 110-120 °F y permanecerá en ésta durante 5 horas.

Posteriormente se saca la caja de la cámara caliente y se deja reposar durante 3 horas a temperatura ambiente. Con esto se completa un ciclo de 24 horas; el número de ciclos mínimos que debe soportar la pieza sin sufrir agrietamientos debe de ser 10 ciclos.

Prueba de resistencia al impacto (método de caída libre de un peso)--

Consiste en medir la resistencia a la fractura

de una caja de acumulador sometida al impacto de un peso dejado caer libremente desde una altura determinada. El peso puede consistir de una esfera de acero de 2 ó 4 libras.

Para levantar la esfera de acero y hacerla caer se utiliza un mecanismo electromagnético. El procedimiento consiste en fijar la pieza en el área de impacto para después dejar caer la esfera desde diferentes alturas. Se debe evitar que la esfera golpee más de una vez la pieza de prueba, por lo que en caso de que la esfera rebote, debe ser sostenida.

Prueba de resistencia dieléctrica.-

La prueba de resistencia dieléctrica es una medida de la perfección estructural del producto. La muestra utilizada consiste de una pieza completa que deberá estar libre de daños.

La pieza se coloca entre los dos electrodos, se fija un potencial por cada mm. de espesor de la muestra - el cual generalmente es de 4,950 volts, pero este no debe exceder 30,000 volts. La duración de la prueba no debe ser mayor de 5 segundos.

Tablas de resistencia.-

Como se dijo anteriormente, las pruebas de las resinas hechas en laboratorio son una aproximación de lo que le sucede a un artículo plástico acabado durante su uso; los resultados de las pruebas nunca se duplican en los productos finales, pero nos dan una idea del comportamiento que estos tendrán y proporcionan una base para poder comparar entre un material y otro.

Las tablas 4, 5 y 6 presentan propiedades de las resinas utilizadas en la obtención de las cajas. En la tabla 7 están evaluados los resultados de las pruebas de resistencia de las cajas.

Experiencias con plástico compacto.-

Se trabajó en la construcción de la caja de la siguiente manera: se hizo un molde para obtener las celdas individualmente, de ésta manera puede variarse el número de celdas según sea la potencia del acumulador. El material utilizado para la obtención de todas estas celdas fué polietileno de baja densidad.

Para contener las cajitas que forman las celdas

Tabla 4.

Tabla de propiedades del polietileno alta densidad.-

propiedades	unidades	A.S.T.M.	valor
densidad	g/cc.	D 1505	0.950
resistencia a la tensión			
2"/min	PSI.	D 638	3,400
elongación			
2"/min	%	D 1248	1,000
resistencia a la flexión	PSI.	D 747	110,000
dureza	shore D	D 1706	D 62
índice de fluidez	dg/min	D 1238	5.5

Tabla 5.

Tabla de propiedades del polietileno baja densidad.-

propiedades	unidades	A.S.T.M.	valor
densidad	g/cc.	D 1505	0.920
resistencia a la tensión			
2"/min	PSI.	D 638	1,500
elongación			
2"/min	%	D 1248	850
resistencia a la flexión	PSI.	D 747	35,000
dureza	shore D	D 1706	D 52
índice de fluidez	dg/min	D 1238	5.1

Tabla 6.

Tabla de propiedades del polipropileno.-

propiedades	unidades	A.S.T.M.	valor
densidad	g/cc.	D 1505	0.903
resistencia a la tensión			
2"/min	PSI.	D 638	4,200
elongación			
2"/min	%	D 1248	700
resistencia a la flexión	PSI.	D 747	155,000
dureza	shore D	D 1706	D 94
índice de fluidez	dg/min	D 1238	6.5

Tabla 7.

Tabla de resistencias de las cajas de acumulador.-

propiedades	unidades	A.S.T.M.	valor
polietileno alta densidad.-			
resistencia al H ₂ SO ₄ conc.	70°F	D 543	S
	140°F	D 543	S
resistencia al impacto	ft lb/0.125in	D 1822	33
temperatura de ablandamiento	°F	D 1525	250
punto de fragi- lidad a baja temp.	°C	D 746	-70
polietileno baja densidad.-			
resistencia al H ₂ SO ₄ conc.	70°F	D 543	S
	140°F	D 543	S
resistencia al impacto	ft lb/0.125in	D 1822	38
temperatura de ablandamiento	°F	D 1525	195
punto de fragi- lidad a baja temp.	°C	D 746	-70

polipropileno.-

resistencia al H ₂ SO ₄ conc.	70°F	D 543	S
	140°F	D 543	S
resistencia al impacto	ft lb/0.125in	D 1822	35
temperatura de ablandamiento	°F	D 1525	305
punto de fragi- lidad a baja temp.	°C	D 1525	-75

S = resiste satisfactoriamente.

Tabla 7.

Tabla de resistencias de las cajas de acumulador.-

del acumulador, se construyó una caja mayor de paredes - más gruesas que le dan consistencia a todo el conjunto. La caja exterior se obtuvo de polietileno de varias densidades.

Debe recordarse que para este estudio todas las piezas fueron moldeadas con el mismo volúmen de resina en centímetros cúbicos, esto es, la misma cantidad de material, no el mismo peso de material. De esta manera es fácil observar el cambio producido por las diferentes densidades tanto en peso como en precio.

En la tabla 8 están resumidos todos los resultados obtenidos en la elaboración de las cajas.

De acuerdo a las tablas de resultados de las pruebas de resistencia, tanto de las resinas utilizadas en la fabricación de las cajas como de las cajas mismas, las piezas obtenidas con polietileno en todas sus densidades y con polipropileno, cumplen satisfactoriamente con los requerimientos que un recipiente de acumulador debe tener, como lo es: La formación industrial de las celdas, resistencia a los ácidos calientes, resistencia a la distorsión y el manejo duro de las personas. En algunas otras propiedades las nuevas cajas superan a las de vulcanita, por ejemplo, las piezas de polietileno baja densi-

Tabla 8.

		polietilene			polipropileno
		baja	mediana	alta	
densidad	g/cc	0.920	0.935	0.950	0.903
peso	g	1420	1432	1445	1394
precio	\$/Kg	13.74	13.86	13.99	13.66
costo	\$	19.51	19.84	20.23	19.10
costo de producción	\$	6.95	6.95	6.95	6.95
costo total	\$	26.46	26.79	27.18	26.05
reducción de peso	%	40	39.4	38.8	41.1
reducción de costo	%	11.8	10.7	9.4	13.17

El precio de la resina incluye el costo de pulverizado

Tabla de resultados obtenidos en la elaboración de las cajas. Todas las piezas fueron moldeadas con la misma cantidad de material, para observar el cambio producido por las diferentes densidades tanto en peso como en precio.

dad cuentan con una mayor resistencia al impacto, y la de mayor importancia, todas las cajas tienen menor peso.

En la tabla 8 están evaluados todos los resultados obtenidos experimentalmente, comparando las piezas de los diferentes materiales podremos seleccionar la caja óptima, que será aquella más significativa en el abastecimiento del peso y el costo de las nuevas cajas.

Aparentemente la pieza fabricada de polipropileno es la mejor de todas las cajas, ya que cuenta con el mayor porcentaje de reducción de peso y costo, sin embargo, hay que tener muy presente que todos los materiales utilizados para la elaboración de estas cajas de prueba fueron obtenidos a un precio menor que el actual. Debido a que el país se vio afectado por un período inflacionario todas las resinas aumentaron de precio, el polipropileno se afectó en mayor proporción que las resinas de polietileno, por ser un producto de importación. De esta manera, la caja óptima resulta ser la fabricada de polietileno baja densidad, que es la pieza que tiene peso y precio más cercano al polipropileno, y es un producto de producción nacional.

Sin embargo, cabe aclarar que el polietileno tiene una temperatura de ablandamiento inferior al poli-

propileno, por lo que las piezas fabricadas del primero se podrán emplear únicamente en automóviles de combustión interna que no lleven el acumulador cerca del motor, sino en un compartimiento aparte, donde no le afecte la temperatura.

Para el caso en que el acumulador deba ir en el lugar donde está el motor, será más conveniente utilizar el polipropileno ya que esta resina tiene una temperatura de ablandamiento relativamente alta.

Conclusiones.-

El desarrollo de éste trabajo se puede considerar positivo, ya que el objetivo principal fué alcanzado; se logró abatir el peso de la caja en un 40% aproximadamente, consiguiendo también una reducción en el costo de las piezas conservando sus resistencias físicas, mecánicas, eléctricas y químicas y lográndose algunas mejoras en ciertas propiedades.

Un punto de vital importancia, que también fué logrado, es la obtención de un artículo mucho más resis-

tente al mal trato y golpes bruscos, gracias a que las nuevas cajas poseen mayor resistencia al impacto, no obstante de tener paredes mucho más delgadas, lo cual viene a ser otra ventaja, porque manteniendo las dimensiones externas de la caja podemos aumentar las internas dando al fabricante mayor espacio para ácido que antes.

Otro aspecto realmente nuevo que se logró en éste trabajo, es la libertad para fabricar a nuestro antojo las celdas individualmente de la caja, dependiendo de la potencia del acumulador así como el número de placas; por ejemplo, para un acumulador de 6 volts será necesario hacer 3 celdas únicamente, mientras que para uno de 12 volts se necesitarán 6 celdas. Además, es posible obtener piezas cuyas cajitas que forman las celdas se fabriquen de un material cuyas propiedades sean mejores para el trabajo que estas desempeñan, y la caja mayor que contiene las celdas de otro material que presente mejores propiedades para resistir los esfuerzos mecánicos.

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 PROCESADO
U. S. I. CHEMICALS
1965.
5. POLYETHYLENE POWDERS FOR ROTATIONAL MOLDING
UNION CARBIDE
1969.
6. POLYETHYLENE RESINS FOR ROTATIONAL MOLDING
SCLAIR
1971.
7. POLYOLEFIN PLASTICS
MARLEX
1965.
8. PHYSICAL PROPERTIES OF POLYMERS
J. BEUCHE.
9. TESIS: FABRICACION DE RECIPIENTES DE POLIETILENO POR
EL METODO DE ROTOMOLDEO
JORGE CARABALLO CERTUCHA
BENITO GARCIA HERRANZ
CARLOS RANGEL BALBOA.
10. PROPATHEME POLYPROPYLENE POWDER, TECHNICAL DATA
I. C. I. PLASTICS DIVISION
1967.

11. PROPATHENE POLYPROPYLENE, PROCESSING PROPERTIES
AND TECHNIQUES
I. C. I. PLASTICS DIVISION
1971.
12. HERCULES PRO-FAX POLYPROPYLENE, MATERIALS GUIDE
HERCULES
1972.
13. POLYMERS AND RESINS THEIR CHEMISTRY AND CHEMICAL
ENGINEERING
BRAGE GOLDING.