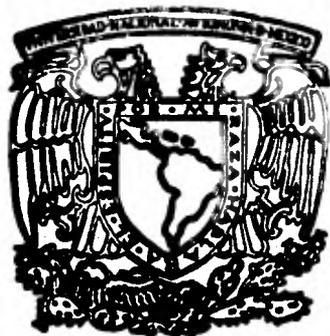


Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



**INVESTIGACION DE UN SUSTITUYENTE DEL
ASBESTO EN LA FORMULACION DE COMPUES-
TOS MOLDEABLES.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P R E S E N T A:

EFRAIN ADIN HERNANDEZ SANCHEZ

1 9 8 2



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

I N D I C E

- I.- Objetivo.
- II.- Introducción.
- III.- Historia.
- IV.- Materias Primas.
- V.- Proceso.
- VI.- Experimentación.
- VII.- Análisis de resultados.
- VIII.- Conclusión.
- IX.- Bibliografía.

I. O B J E T I V O

Como lo indica el título del presente trabajo, se trata de encontrar un material que sustituya al asbesto en la formulación de compuestos moldeables fenólicos.

El motivo del cambio es la elevada peligrosidad de este material para la salud de los trabajadores que lo manejan, tanto en el proceso de producción como en su uso posterior.

En la sección correspondiente a Materias Primas -específicamente en el renglón de Higiene y Seguridad- se bosqueja la toxicología del asbesto.

II. I N T R O D U C C I O N

En la actualidad los compuestos fenólicos tienen una gran variedad de usos, desde mangos para planchas y otros enseres del hogar hasta pistones para frenos de autos de carreras, pasando por switches eléctricos, tapas de distribuidores y cajas de control de corriente eléctrica.

De acuerdo al uso que se les vaya a dar, es la cantidad de asbesto que contiene la formulación, es decir, que en compuestos para uso general la carga de asbesto es mínima en tanto que es máxima en los compuestos usados como aislantes eléctricos con resistencia al impacto.

De lo anterior, se deduce que el asbesto es de los materiales más importantes en un compuesto, porque además de darle cuerpo le proporciona resistencia, tanto eléctrica como mecánica, haciéndose necesario que el sustituyente sea uno que lo supere en las cualidades antes mencionadas o al menos lo iguale.

III. H I S T O R I A

Según los descubrimientos del arqueólogo inglés Leonard Wooley, hace 50 siglos ya se conocían artículos de bisutería y objetos decorativos en Sumeria, hechos con resinas termoplásticas naturales del Medio Oriente, tales como la brea, goma laca, betún y copal.

También los egipcios conocían el proceso de laminación terciada de planchas de madera impregnadas con una solución hecha a base de brea, betún, copal, goma laca y aguarrás. Mediante compresión formaban partes más gruesas, las cuales eran utilizadas en la construcción de sarcófagos.

En las obras de los antiguos alquimistas, ya se hace referencia a mezclas de resinas naturales como vehículos y fijadores de lacas, esmaltes, pinturas y barnices; como ejemplo tenemos los "Siete Textos de Alquimia" de Hermes Trimegisto, "Los Trece Tomos de Quimurgia" de Raymundo Julio. Durante el Renacimiento se encuentran referencias en las obras de Paracelso.

Aquí en México, los indígenas tarascos ya tenían su arte a base de goma laca. A diferencia de los orienta-

les, los tarascos la hacían con el extracto protéico de un insecto que actúa como aglutinante fijador en los diferentes pigmentos que dan color a los diversos tipos de trabajos.

En 1872, Adolph Von Baeyer descubrió que la reacción entre fenoles y aldehídos es perfectamente posible, pues de la condensación de estos materiales, en presencia de ácido sulfúrico, obtuvo una sustancia blanca viscosa.

De igual manera, en 1893, G.T. Morgan obtuvo una sustancia resinosa de color ámbar, como resultado de la reacción entre el fenol y el formaldehído. Kleeber estudió los productos de condensación del fenol y el formaldehído en presencia de ácido clorhídrico, pero su producto fue poroso y no pudo hacer nada con él.

A. Smith trató de moderar la reacción con el uso de solventes, los cuales eran desalojados a 100°C. Lo que obtuvo fue una masa endurecida, totalmente inapropiada para moldeos precisos.

L. Brunner fue el primero en publicar una serie de intentos por utilizar comercialmente la reacción fenol-formaldehído para hacer un sustituto de la goma laca.

Usando catálisis ácidas, tal como oxiácidos orgánicos (ácido tartárico), demostró que la operación mecánica juega un papel importante en la determinación de las propiedades de la resina.

En 1909 apareció un artículo del Dr. L. H. Baekeland denominado "La síntesis, constitución y uso de la bakelita"; en este artículo revisó los intentos de sus predecesores en este campo. Probó que las temperaturas superiores a 100°C eran indispensables para una transformación rápida y completa de los productos de condensación del fenol con el formaldehído en el producto final insoluble e infusible con las propiedades deseadas, asociadas con lo que ahora nos es familiarmente conocido como bakelita.

Baekeland encontró que la condensación ácida favorece la formación de resinas sintéticas del tipo fusible (novolacas), en tanto que usando bases, se obtienen productos infusibles e insolubles.

El efecto práctico de los descubrimientos de Baekeland fue que la diferencia entre una reacción controlada y una no controlada abrió el camino para la comercialización exitosa de las resinas sintéticas.

IV. MATERIAS PRIMAS

En la fabricación de compuestos fenólicos moldeables, básicamente se usan resina fenólica, cargas (orgánicas o inorgánicas), lubricantes, pigmentos y agentes enlazantes.

a) Control de Calidad.

Como en cualquier proceso, la calidad del producto es un factor de gran importancia, por lo que es básico realizar un estricto control de calidad a la materia prima.

A continuación se mencionan las pruebas efectuadas a los materiales usados en compuestos moldeables.

Asbesto	Humedad y granulometría (% retenido en malla 12, 30, 40 y 200).
Lubricantes	Punto de fusión y número ácido.
Hidróxido de Calcio	Alcalinidad y granulometría - (malla 200 y 325).
Hexametilentetramina	Pureza, PH, cenizas.
Pigmento negro	Granulometría (malla 200 y - 325), volátiles y cenizas.
Resina fenólica	Punto de fusión y fluidez.

b) Higiene y Seguridad Industrial.

La mayor parte de los materiales usados no presentan gran peligrosidad y no se necesita de mucho equipo de seguridad para su manejo. El único y más dañino para la salud es el asbesto.

Toxicología del Asbesto. La lesión principal -- producida por el asbesto es una fibrosis difusa, que posiblemente comienza como un "collar" alrededor de las terminales bronquiales. Normalmente se requieren, al menos, de 4 a 7 años de exposición para que aparezca un grado serio de fibrosis. Aparentemente hay menor predisposición a la tuberculosis que en el caso de silicosis.

La inhalación prolongada puede causar cáncer en el pulmón, la pleura y el peritoneo. Experimentalmente ha producido cáncer en el peritoneo y en los intestinos.

Clínicamente, el signo más fuerte es la deficiencia en la respiración, cuya intensidad aumenta en forma -- gradual y frecuentemente asociada con una tos seca.

En la primera etapa, los signos físicos están ausentes o aparecen ligeramente; en etapas posteriores, pueden oírse estertores y en casos de estadía prolongada fre-

cuentemente hay ensanchamiento de los dedos de las manos.

En etapas avanzadas de la dolencia, los rayos "X" del tórax revelan una capa vidriosa y cambio granular, principalmente en la parte inferior de los pulmones.

Conforme progresa el mal, los alrededores del corazón llegan a quedar "velludos" y pueden verse parches irregulares de sombras moteadas. Se pueden encontrar "cuerpos de asbesto" en el espectro. En una autopsia, la pleura es adelgazada y con frecuencia se encuentran presentes placas fibrosas sub-pleurales adheridas.

Cuando el mal está muy avanzado, normalmente hay grandes áreas de fibrosis con cambios efisematosos en el ápice y en la base. Las paredes alveolares son adelgazadas y se encuentran los "cuerpos de asbesto".

V. P R O C E S O

En la fabricación de compuestos moldeables existen tres pasos fundamentales a saber:

a) Obtención de la resina.

a.1.- GENERALIDADES. Cuando se moldea un compuesto termofijo en los confines de un molde de acero endurecido, bajo calor y presión, se lleva a cabo una reacción que es irreversible. El compuesto moldeable cura en una masa insoluble, infusible y rígida.

Cada tipo de material termofijo se formula usando un tipo o tipos específicos de resina, cargas, pigmentos, catalizadores y a veces un acelerador.

Los compuestos moldeables se formulan usando una o más cargas, dependiendo del uso que se les vaya a dar. - Estas pueden ser: harina de madera, celulosa, borra, minerales, como la mica, tierras diatomáceas, asbesto, fibra de vidrio, etc.

Tipos de Materiales Termofijos: Fenólicos; Urea-Formaldehído; Melamina-Formaldehído; Melaminas-Fenólicas; Dialil ftalato; Alquidálicos y Poliéster.

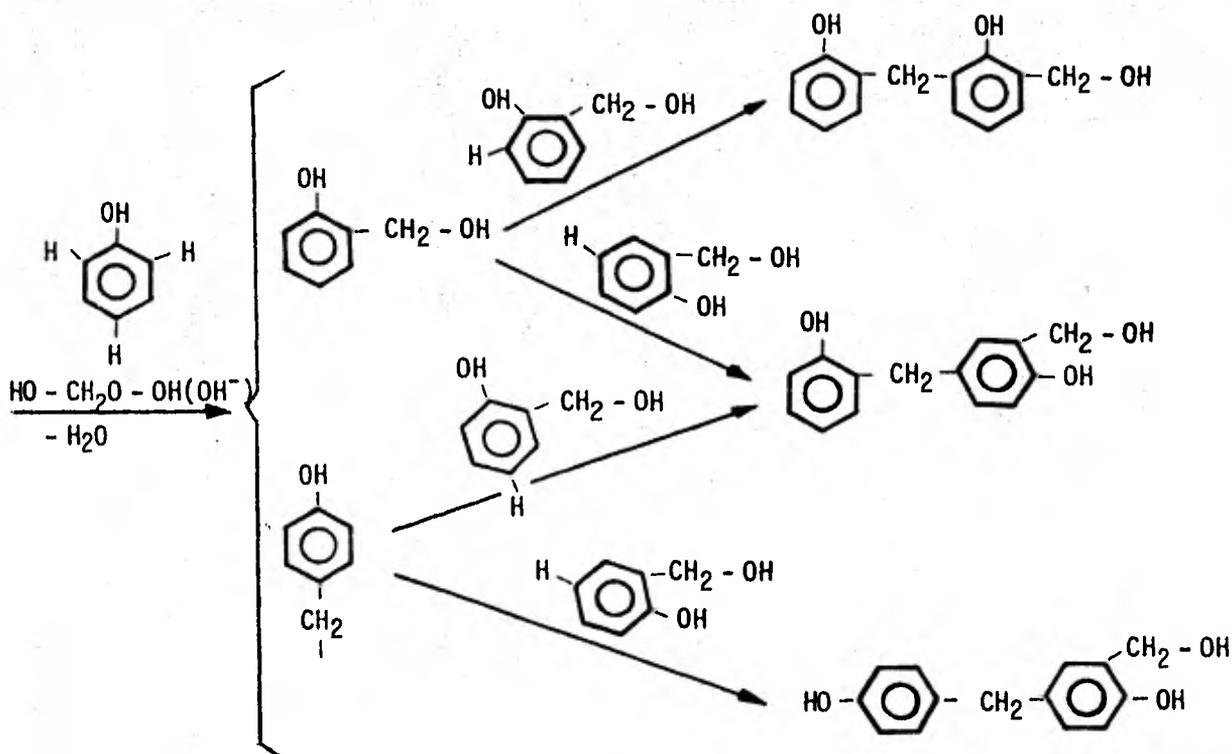
El presente trabajo se desarrolló con resinas del primer tipo, por lo que únicamente hablaremos de ellas.

RESINAS FENOL-FORMALDEHIDO.

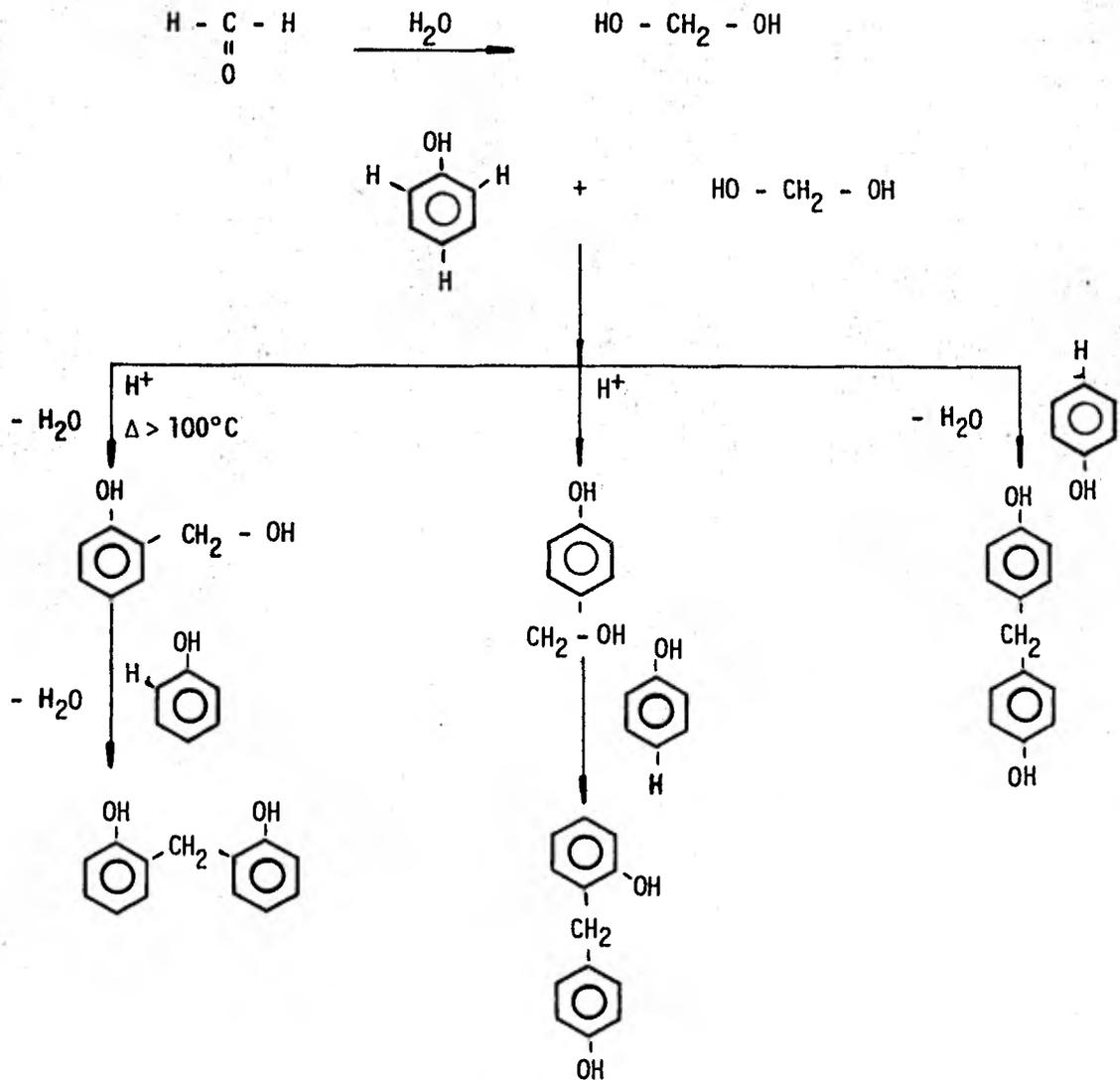
El sistema de resinas fenólicas se usa para producir una gama muy amplia de compuestos moldeables.

Dependiendo de las condiciones bajo las cuales se lleve a cabo la reacción, se puede producir resina de uno o dos pasos.

RESINAS DE UN PASO (resoles). - Es el producto de la condensación del fenol y un exceso del formaldehído (100% o más), en presencia de un catalizador básico, resultando una verdadera resina termofija.



RESINAS DE DOS PASOS (novolacas).- Se obtiene por la condensación del fenol con una cantidad insuficiente de formaldehído (84%), en presencia de un catalizador ácido, resultando una resina termofija. Para que la resina cure es necesario adicionar un agente endurecedor, tal como la hexametilentetramina.



El fabricar un compuesto con un determinado tipo de resina, presenta las siguientes ventajas y desventajas.

RESINAS DE UN PASO

VENTAJAS

libre de olor.
puesto que no se usa hexametilentetramina como catalizador, no hay desprendimiento de amoníaco, que pudiera atacar las placas de los switches eléctricos al estar herméticamente cerrados.
tiene aplicaciones en recipientes que contienen líquidos con alto contenido de humedad.

DESVENTAJAS

vida limitada en anaquel.
durante el almacenamiento no continúa polimerizándose.
más sensible al calor durante el período de moldeo.
puede experimentar encogimiento.

RESINAS DE DOS PASOS

VENTAJAS

vida indefinida en anaquel.
fácilmente moldeable.
buen curado.- no hay encogimiento.

DESVENTAJAS

olor a amoníaco.
el amoníaco puede atacar partes sumergidas.
puede causar ampolladuras.

a.2.- PRODUCCION DE LA RESINA. En un reactor provisto de camisa de vapor y agitador central de ancla, fig. 1, se cargan el fenol y el ácido sulfúrico y se calientan hasta 90°C; cuando se alcance esta temperatura se carga la solución de formaldehído poco a poco, para controlar la reacción; cuando termine la adición de formaldehído se deja a reflujo hasta que la reacción se haya completado. Se adiciona una solución de cal en agua y se inicia la deshidratación como paso final, la cual se controla con pruebas de la fluidez y el punto de fusión. Cuando estos valores estén dentro de los intervalos especificados por el departamento de control de calidad, se descarga en charolas de fierro.

b) Obtención de los gránulos.

Descripción del proceso: se cargan los materiales al molino de bolas y se deja girar durante cierto tiempo, suficiente como para que se muele la resina y se mezcle perfectamente con los demás componentes.

Se vacía la carga del molino a un transportador que lo pasa a la tolva de alimentación; ésta va dosificando la carga a los rodillos diferenciales que giran en sentido contrario, por cuyo interior circula vapor saturado, que están montados sobre ejes que se desplazan longitudinalmente hasta un máximo de separación y en su superficie,

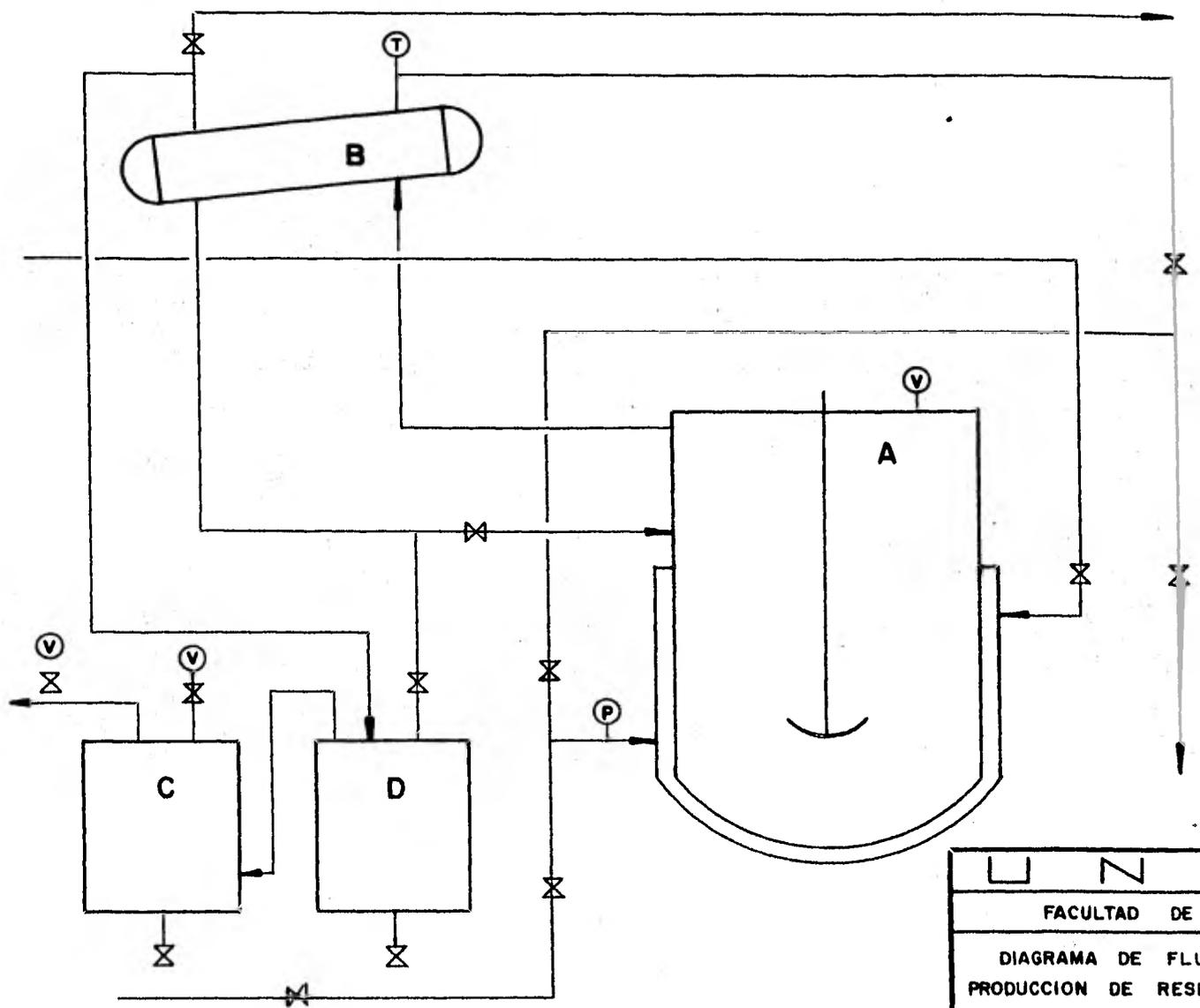


FIG.-1

UNAM			
FACULTAD DE QUIMICA			
DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PRODUCCION DE RESINA FENOLICA			
HERNANDEZ SANCHEZ EFRAIN A.		1982	

ambos, debido al calentamiento, van formando capas concéntricas de la formulación prepolimerizada. Cuando salen las láminas de los rodillos, se pasan por una cortadora y de ahí a un molino de martillos de dos pasos, de donde sale para pasar por una criba rotatoria. Aquí se hace una separación de partículas, las más gruesas van nuevamente al molino de martillos y las finas regresan a la tolva de alimentación. Cuando han pasado por segunda vez por la criba, se pasan a una tolva mezcladora y de ahí al envasamiento. Fig. 2.

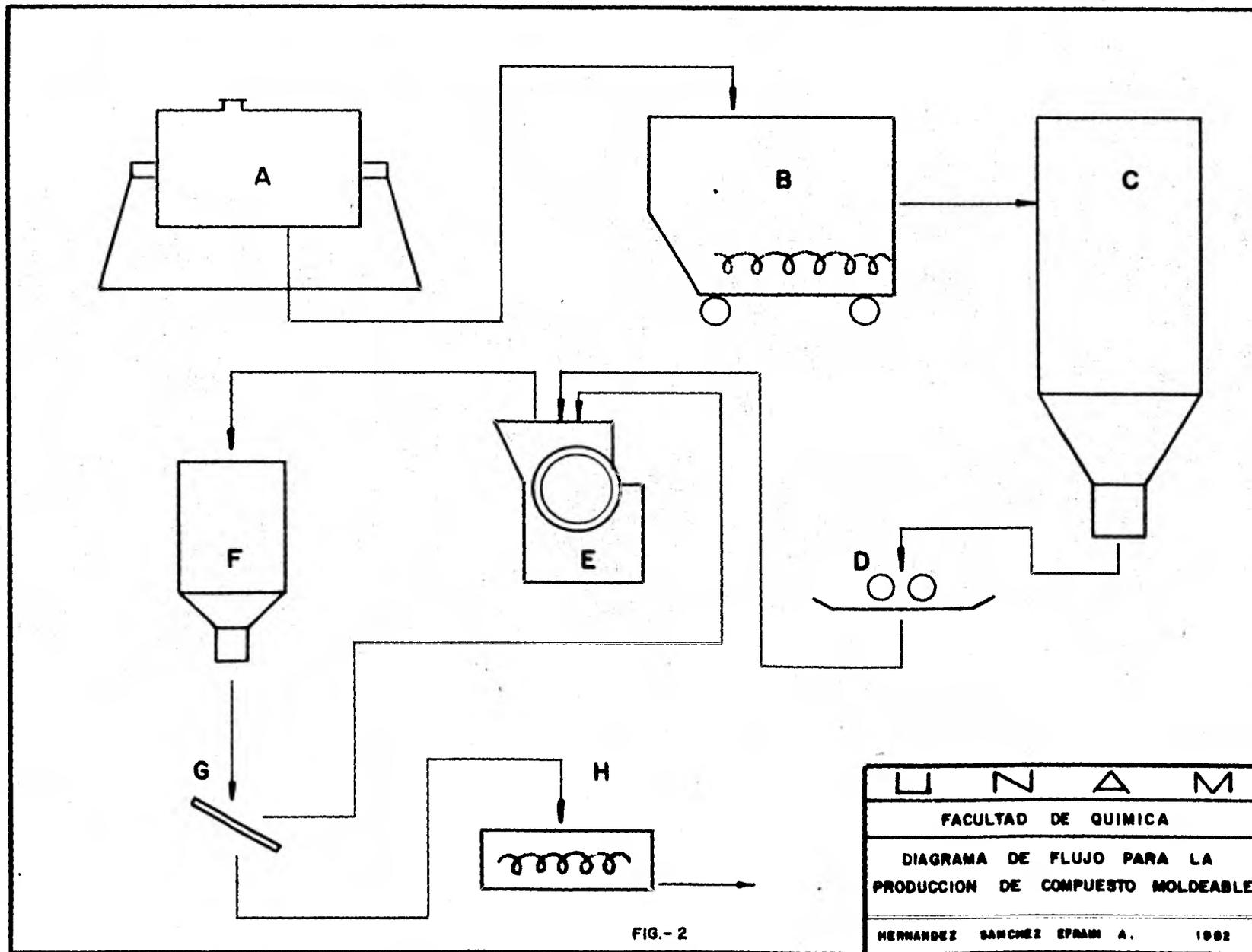


FIG.-2

c) Moldeo de los gránulos.

Cuando se tienen los gránulos se pueden pasar directamente a las tolvas de las máquinas de moldeo o, si se tiene el equipo disponible, se pueden hacer preformas, que son cilindros compactos de más o menos una pulgada de diámetro por una pulgada de altura y con un peso constante, que se colocan en las máquinas de moldeo para hacer los objetos deseados, por el método más conveniente.

Los compuestos fenólicos se suministran para diferentes usos, como por ejemplo:

De uso general

Resistentes al impacto

Resistentes al calor

Aislantes eléctricos

Especiales.

La mayoría de los compuestos fenólicos generalmente se moldean por cualesquiera de los tres métodos siguientes:

1. Compresión
2. Transferencia
3. Inyección.

c.1.- MOLDEO POR COMPRESION. Básicamente hay tres tipos de moldeo por compresión: a) manual; b) semi-

automático y c) automático.

a) Manual.- La producción de compuestos por moldeo manual está limitada a pequeñas partes, corridas cortas o trabajos de muestra.

b) Semiautomático.- El moldeo semiautomático consiste en unidades auto-contenidas, montadas en una prensa de compresión convencional. Se requiere de un operador para efectuar la secuencia de operaciones necesarias.

c) Automático.- En el moldeo automático los moldes son de diseño especial y están contruidos de tal manera que pueden ser adaptados a una prensa de compresión totalmente automática.

El método consiste, básicamente, en colocar la formulación, ya sea en polvo o en briquetas, dentro del molde hembra, fig. 3, alojado en la parte inferior de una prensa hidráulica; después se baja el molde macho que está en la parte superior, haciendo que el material se distribuya uniformemente en el espacio que queda entre ambas matrices. Se deja por un tiempo determinado, se abre la prensa y se extrae el material ya moldeado.

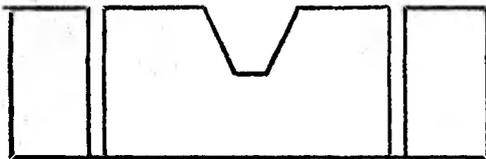
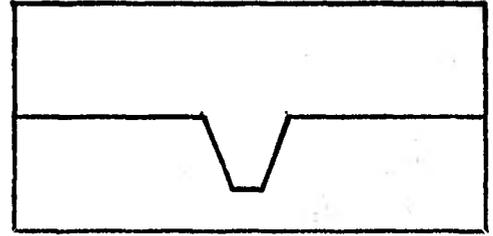
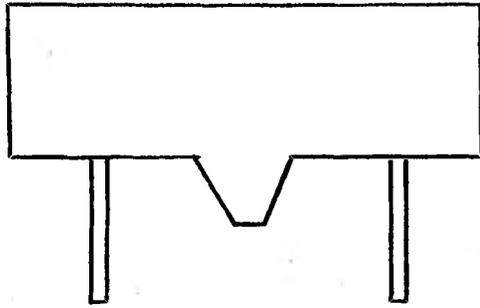


Fig. 3

Condiciones de moldeo.- Las condiciones apropiadas de moldeo son parte del estudio de ingeniería de procesos, por lo que solamente discutiremos los fundamentos básicos.

Temperatura de moldeo.- Los materiales termofijos pueden ser moldeados en un intervalo de temperaturas entre 150 y 200°C. El vapor es el medio de calentamiento más usado, aunque está siendo desplazado, ya que se tienen dificultades para alcanzar temperaturas de moldeo mayores de 170°C. También se puede usar aceite caliente, pero la tendencia es a usar elementos de calentamiento eléctrico.

Presión de moldeo.- La presión requerida para que el material fluya del molde, es la misma que se requie-

re para todos los materiales termofijos. Las excepciones son compuestos fenólicos, poliésteres y algunos especiales.

Un material de buena plasticidad a temperatura ambiente, no precalentado, requiere de 145 a 220 Kg/cm² sobre el área proyectada de relleno. Para partes de una pulgada de profundidad se requiere entre 43 y 50 Kg/cm² de presión adicional.

Un material precalentado en el rango 95-125 °C puede reducir la presión requerida hasta en un 50% de los valores antes sugeridos.

Tiempo de curado.- Es el tiempo para que un material termofijo endurezca o complete la polimerización. Depende de varios factores, entre los más importantes tenemos la temperatura del molde y del material.

Para alcanzar el tiempo óptimo de curado, la temperatura del material cuando se carga deberá ser la máxima. El precalentado puede hacerse con lámpara de infrarojo, precalentadores de radio de alta frecuencia o extrusores.

Dependiendo del tipo de material, el ingeniero de diseño deberá fijar la temperatura adecuada. La temperatura deberá ser menor para materiales de uso general.

Para determinar si el material ha curado completamente se le puede hacer la prueba del ampollado, que consiste en moldear el compuesto a diferentes tiempos de curado y determinar en cuanto tiempo desaparece el ampollamiento.

C.2.- MOLDEO POR TRANSFERENCIA.- Se aplica generalmente a los procesos de formación de artículos en un molde cerrado a partir de un material termofijo, que es llevado bajo presión y en estado plástico desde una cámara auxiliar.

Antes del desarrollo del moldeo por transferencia, los materiales termofijos se manejaban sólo mediante moldeo por compresión, por métodos adaptados del arte primitivo de hacer artículos de hules, encapsulados y composiciones de -- moldeo en frío.

El moldeo por compresión no permite fácilmente la hechura de artículos que tengan secciones intrincadas o paredes delgadas y frágiles. Para vencer estas dificultades el - moldeo por transferencia fue introducido por la Shaw Insulator Co., de New Jersey, en 1926. El proceso se llevó a cabo en una prensa convencional de una sola rama, con moldes de - tres piezas. Para promover el flujo se usó un compuesto especial con una fluidez rossi-peakes mayor de 21.

En las prensas americanas más comunes, la rama -- principal está unida al plato de la prensa inferior y opera hacia arriba. Cuando estas prensas son equipadas para mol--

deo por transferencia, las ramas auxiliares pueden ser montadas sobre el lado de las columnas, operando en ángulo recto, respecto a la columna y a la rama principal, o sobre la cabeza de la prensa, operando hacia abajo en dirección opuesta a la rama principal.

En 1956, se desarrollaron dos nuevas máquinas automáticas para moldeo por transferencia, una de ellas de pequeño tamaño y en posición horizontal, que usaba el material en polvo y moldes comparativamente baratos. La otra máquina es mucho más grande, con capacidad de 400 toneladas y muy rápida, diseñada para usar precalentamiento.

La máquina consta de una tolva, fig. 4, que contiene la formulación en polvo y mediante un dosificador va pasando a una cámara cilíndrica horizontal donde es reblandecida por el calor que producen las resistencias eléctricas colocadas en las paredes laterales.

Cuando la pasta está reblandecida, un pistón la empuja al interior de un molde cerrado, permaneciendo el tiempo necesario para que cure; se abre el molde y se extrae la pieza termofija.

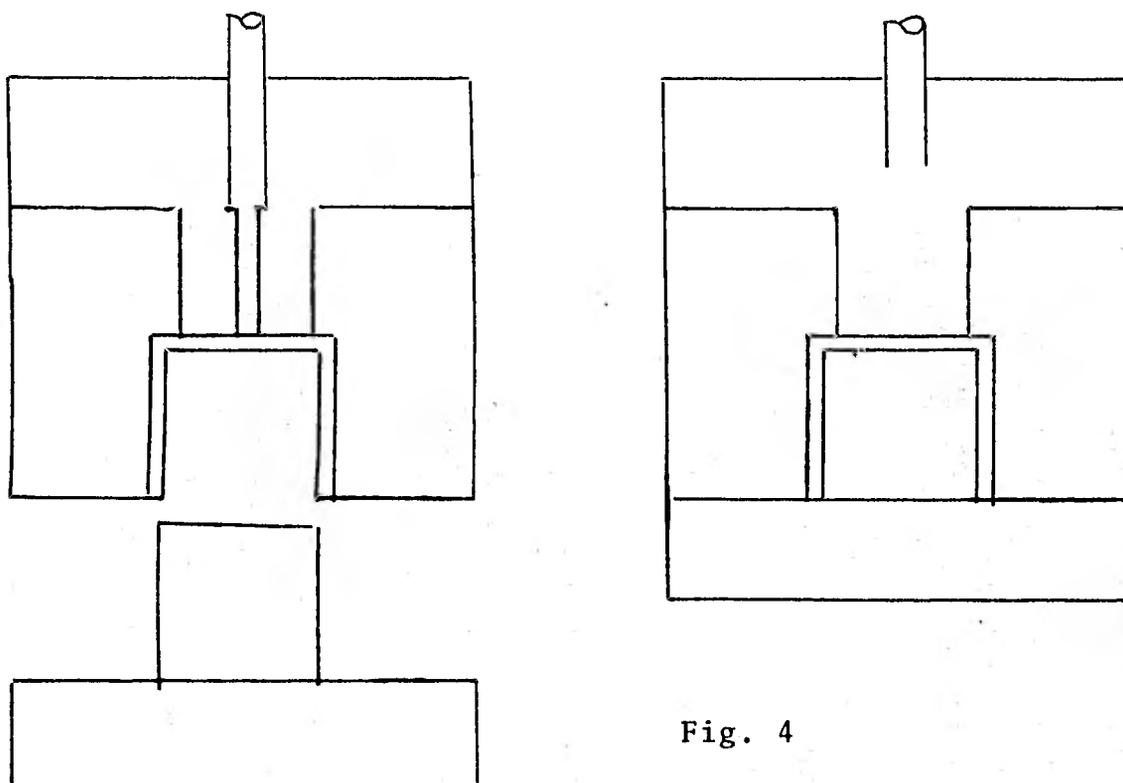


Fig. 4

Tipos de moldes.- Hay tres tipos de moldes usados en moldeo por transferencia:

A. El original o tipo vaso.- Utiliza un molde de tres platos. Para este tipo de proceso se necesita de un solo operador para quitar los desechos, limpiar el émbolo y el molde; cargar el material precalentado y abrir la prensa.

B. El molde de transferencia con émbolo y cubierta.- La operación puede ser automatizada si se le adapta un equipo capaz de cargar el material precalentado.

C. Los moldes de transferencia de émbolo de dos pasos son similares en construcción al de transferencia de émbolo, excepto que se requiere de un cilindro especial de

transferencia.

Condiciones de Moldeo:

Temperatura de moldeo.- Todas las superficies de moldeo que están en contacto con el material, deberán ser mantenidas en un intervalo de temperaturas entre 137 y 193°C. Estas temperaturas serán determinadas por el tipo de material usado, el diseño de las partes y el molde.

Presión de moldeo.- Cuando se emplea el método de transferencia, se tiene especial interés en la presión de transferencia y de la abrazadera. En el caso de transferencia por émbolo, la presión deberá estar en el intervalo de 442-528 Kg/cm².

Tiempo de curado.- El tiempo de curado se ve afectado por la temperatura del material, la temperatura del molde y el área de sección transversal del molde. Para obtener un máximo tiempo de curado, es necesario que se precaliente el material, debiendo estar la temperatura entre 93 y 126°C.

c.1.- MOLDEO POR INYECCION. Las presiones económicas para hacer partes de los moldes más baratas, dieron como resultado un mejor método de moldeo automático. Esto se realizó aplicando y depositando una carga de material precalentado en las cavidades del molde.

La prensa usada para el proceso de moldeo por inyección está diseñada específicamente para usar compuestos termofijos. El equipo auxiliar necesario consta de unidades que suministran el agua a temperatura controlada a las zonas de calentamiento sobre los tableros y el barril.

Fig. 5.

De la tolva a la máquina pasa la formulación que contiene los gránulos termoplásticos, a un cilindro calefactor horizontal, cuyas paredes están calentadas con resistencias eléctricas o contienen placas para pasar ondas electrónicas de alta frecuencia a través de la mezcla para retransformarla a una pasta semifluida, que por impulso de un pistón se pasa a través de un tubo venturi, para que el flujo paralelo llene con igual fuerza todas las paredes interiores del molde cerrado, las cuales se encuentran calientes, y cuando se llenan se refrigeran automáticamente con agua circulante a través de sus paredes metálicas, con objeto de endurecer por enfriamiento el artículo moldeado.

En maquinaria moderna, antes de la reducción venturi, existe un torpedo de sobrecalentamiento que es una pieza cónica que permite recalentar la pasta para que al disminuir la viscosidad pueda atravesar con más rapidez la reducción venturi.

Condiciones de moldeo.

Temperatura del barril: zona frontal	50-65°C
zona media	65-82°C
zona posterior	82-105°C

Temperatura de moldeo.- La temperatura específica del molde, así como de las cavidades, está determinada por el tipo de material que se use, el diseño de las partes y la construcción del molde. Generalmente se trabaja entre 140-205°C.

Presión de moldeo.- La presión de inyección primaria está en el intervalo de 1,300-1,600 kg/cm². Después se aplica una presión secundaria reducida (290-725 kg/cm²) al final de la acción del tornillo; el diseño del molde, - desde el punto de vista de las cavidades que contenga, así como la plasticidad del material, serán factores decisivos en la determinación de la presión por inyección.

Tiempo de curado.- Entre las variables que afectan el tiempo de curado, podemos citar la temperatura del molde, plasticidad del material y el tipo de carga usado.

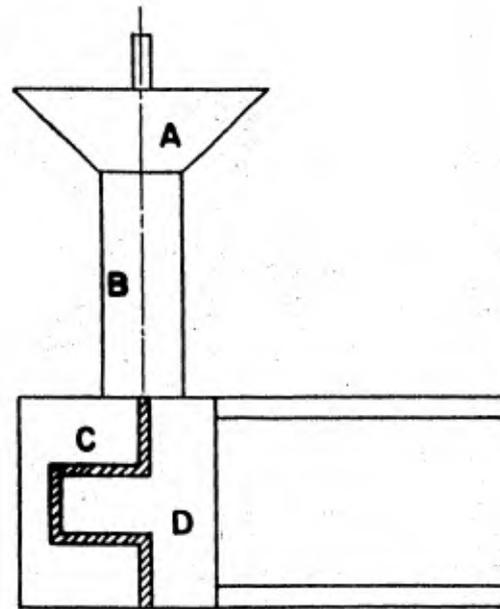
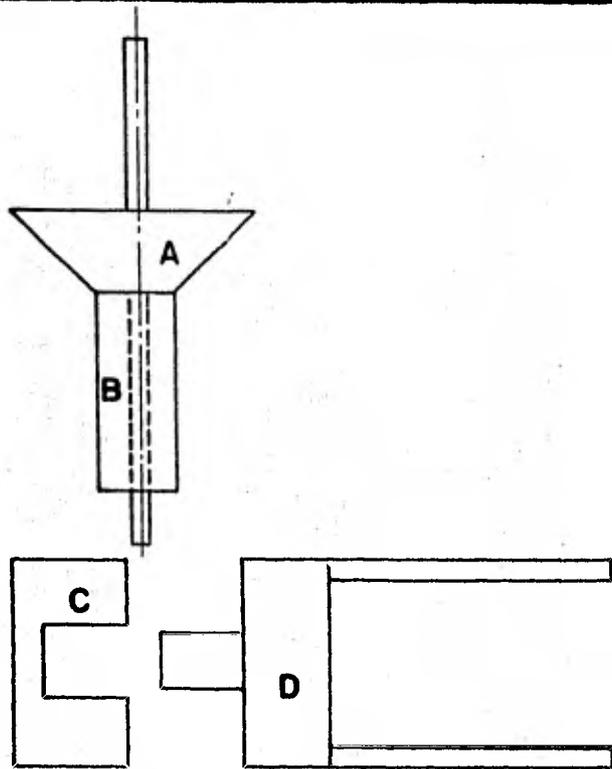


FIG.-5

U	N	A	M
FACULTAD DE QUIMICA			
MAQUINA PARA MOLDEO POR INYECCION			
HERNANDEZ SANCHEZ EFRAIN A.			1982

DESCRIPCION DEL EQUIPO DE LAS FIGURAS 1, 2 Y 5.

Fig. 1

- A. Reactor
- B. Condensador
- C y D Tanques de Condensado

Fig. 2

- A. Molino de Bolas
- B. Carro Alimentador
- C. Tolva de Alimentación
- D. Rodillos Diferenciales
- E. Molino de Martillos
- F. Tolva
- G. Criba
- H. Mezclador

Fig. 5

- A. Tolva de Alimentación
- B. Barril
- C. Molde Hembra
- D. Molde Macho

VI. EXPERIMENTACION

La parte experimental de este trabajo se desarrolló en dos etapas. En la primera se trabajó con baquelita de uso general, sustituyendo la cantidad de asbesto por una carga diferente y se checaron sus propiedades según métodos ASTM.

Debido a que la mayor cantidad de asbesto que se necesita es en compuestos usados como aislantes eléctricos, la segunda etapa consistió en sustituir este material por el que se encontró como el más adecuado en la primera parte.

El experimento se desarrolló a nivel de laboratorio, para lo cual se contó con el equipo necesario, tal como molino de bolas de porcelana, con capacidad de 1 kg., - molino de rodillos diferenciales, de 20 cm. de diámetro, - prensa hidráulica, trituradora y molino de martillos (manual).

La preparación de la baquelita se hizo de la siguiente manera:

Se trituró la resina para después pasarla por el molino de martillos, de donde sale en forma de polvo. Esto

se hizo debido a que si se carga la resina triturada al molino de bolas, éste no logra molerla completamente, quedando partículas de regular tamaño y por consiguiente no se obtiene una buena mezcla.

Una vez que se tuvo la resina molida, se cargó al molino de bolas junto con los demás materiales y se dejó que girara por espacio de una hora.

Mientras el molino de bolas estaba girando, se prepararon los rodillos diferenciales haciéndoles pasar vapor saturado por el interior. Las condiciones de operación fueron: $80 \pm 5^{\circ}\text{C}$ para el rodillo frontal y $130 \pm 10^{\circ}\text{C}$ para el rodillo posterior.

Se descargó el molino de bolas y la mezcla se pasó por los rodillos diferenciales, en los cuales se obtuvieron las láminas de compuestos moldeables.

Estas láminas se pasan por la trituradora, de donde se obtienen los gránulos para posteriormente ser moldeados por compresión en la prensa hidráulica que opera a 1000 psi y 160°C .

El compuesto moldeado que se obtiene en el laboratorio es un "vaso" con forma de cono truncado de 5.54 cm. de diámetro mayor, 4.45 cm. de diámetro inferior y 5.87 cm. de altura.

Con este "vaso" se pueden hacer pruebas rutinarias de control de calidad, tales como rigidez en caliente a diferentes tiempos de curado, mínimo tiempo de amollado, peso específico y absorción de agua.

Un compuesto de uso general se hace con la siguiente formulación.

Material	%
Asbesto	9-11
Harina de madera	35-37
Lubricantes	2-3
Hidróxido de calcio	4-6
Hexametilentetramina	5-7
Pigmento negro	2-3
Resina fenólica	36-40

Como se mencionó antes, en el primer paso se cambió la cantidad de asbesto por los siguientes materiales: mica, borra de algodón, magnesol, tierras diatomáceas, fibra de vidrio y fieltro de sisal.

Se preparó la baquelita y se estudiaron sus propiedades. Los resultados se muestran en las tablas 1, 2, 3, y 4. En la tabla 5 se presentan los valores promedios obtenidos para cada material.

También se pueden ver los métodos utilizados para la comprobación de las propiedades, todos ellos según normas ASTM.

TABLA 1. RESULTADOS OBTENIDOS

PRUEBA	METODO ASTM	ASBESTO		MICA	
		1	2	1	2
Peso Específico	D-792	1,7	1,75	1,84	1,84
Contracción de Moldeo	D-955	0.0035	0.0036	0.0026	0.0024
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	D-638	380	390	360	400
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	D-790	640	660	710	690
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	D-695	1800	1700	905	895
Resistencia al Impacto (kg-cm (cm de muesca))	D-256	2.36	2.24	1.73	1.89
Resistencia Dieléctrica (volt/cm)	D-149				
Tiempo Corto		3200	3200	3250	3150
Tiempo Gradual		2700	2700	2800	2700
Resistividad Volumétrica (ohm/cm)	D-257	30X10 ¹¹	30X10 ¹¹	24X10 ¹³	26X10 ¹³
Constante Dieléctrica 60 ciclos	D-150	6.5	6.0	5.2	5.0
10 ³ ciclos		5.0	5.0	4.9	4.9
10 ⁶ ciclos		4.5	4.5	4.8	4.4
Factor de Disipación 60 ciclos		0.3	0.3	0.03	0.03
10 ³ ciclos		0.2	0.2	0.01	0.01
10 ⁶ ciclos		0.14	0.1	0.003	0.003
Deflexión a la Temperatura (°C)	D-648	160	160	150	150
Absorción de Agua (% en peso)	D-570	0.15	0.15	0.03	0.05

TABLA 2. RESULTADOS OBTENIDOS

PRUEBA	METODO ASTM	MAGNESOL		FIELTRO DE SISAL	
		1	2	1	2
Peso Específico	D-792	1.78	1.82	1.0	1.2
Contracción de Moldeo	D-955	0.003	0.003	0.02	0.02
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	D-638	380	390	660	640
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	D-790	740	760	1300	1200
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	D-695	935	945	960	920
Resistencia al Impacto ($\frac{\text{kg-cm}}{\text{cm de muesca}}$)	D-256	1.77	2.17	39.37	43.30
Resistencia Dieléctrica (volt/cm)	D-149				
Tiempo Corto		3150	2150	3150	3050
Tiempo Gradual		2550	2650	2650	2550
Resistividad Volumétrica (ohm/cm)	D-257	24 X 10 ¹²	26 X 10 ¹²	30 X 10 ¹²	30 X 10 ¹²
Constante Dieléctrica 60 ciclos	D-150	6.0	6.4	8.0	7.0
10 ³ ciclos		5.10	5.20	6.4	6.0
10 ⁶ ciclos		4.95	4.95	4.0	4.0
Factor de Disipación 60 ciclos		0.06	0.06	0.5	0.3
10 ³ ciclos		0.04	0.04	0.32	0.28
10 ⁶ ciclos		0.003	0.003	0.20	0.20
Deflexión a la Temperatura (°C)	D-648	150	150	120	120
Absorción de Agua (% en peso)	D-570	0.39	0.41	0.98	1.2

TABLA 3.

R E S U L T A D O S

O B T E N I D O S

PRUEBA	METODO ASTM	TIERRAS DIATOMACEAS		FIBRA DE VIDRIO	
		1	2	1	2
Peso Específico	D-792	1.57	1.63	1,32	1.32
Contracción de Moldeo	D-955	0,004	0,006	0.006	0.006
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	D-638	360	340	490	510
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	D-790	765	755	850	840
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	D-695	820	840	1950	1850
Resistencia al Impacto ($\frac{\text{kg-cm}}{\text{cm de muesca}}$)	D-256	0,86	1,10	3.15	3.31
Resistencia Dieléctrica (volt/cm)	D-149				
Tiempo Corto		2900	2700	3200	3100
Tiempo Gradual		2450	2350	2600	2700
Resistividad Volumétrica (ohm/cm)	D-257	16×10^{11}	14×10^{11}	29×10^{13}	31×10^{13}
Constante Dieléctrica 60 ciclos	D-150	5,8	5,4	6,4	6,4
10 ³ ciclos		5,0	4,8	5,8	5,4
10 ⁶ ciclos		3,7	3,5	5,0	4,4
Factor de Disipación 60 ciclos		0,04	0,04	0,14	0,10
10 ³ ciclos		0,03	0,03	0,07	0,05
10 ⁶ ciclos		0,002	0,002	0,03	0,03
Deflexión a la Temperatura (°C)	D-648	100	100	180	180
Absorción de Agua (% en peso)	D-570	0,18	0,16	0,01	0,01

TABLA 4. RESULTADOS OBTENIDOS

PRUEBA	METODO ASTM	BORRA DE ALGODON	
		1	2
Peso Específico	D-792	1.39	1.37
Contracción de Moldeo	D-955	0.0065	0.0065
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	D-638	535	515
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	D-790	740	700
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	D-695	2100	2000
Resistencia al Impacto ($\frac{\text{kg-cm}}{\text{cm de muesca}}$)	D-256	2.05	1.89
Resistencia Dieléctrica (volt/cm)	D-149		
Tiempo Corto		2600	2800
Tiempo Gradual		2450	2350
Resistividad Volumétrica (ohm/cm)	D-257	17 X 10 ⁹	13 X 10 ⁹
Constante Dieléctrica 60 ciclos	D-150	6.8	7.2
10 ³ ciclos		6.9	6.7
10 ⁶ ciclos		6.7	6.3
Factor de Disipación 60 ciclos		0.19	0.17
10 ³ ciclos		0.10	0.10
10 ⁶ ciclos		0.05	0.05
Deflexión a la Temperatura (°C)	D-648	120	120
Absorción de Agua (% en peso)	D-570	0.90	1.0

TABLA 5. RESULTADOS OBTENIDOS

PRUEBA	METODO ASTM	ASBESTO	MICA	FIELTRO DE SISAL	MAGNESOL	TIERRAS DIATOMACEAS	FIBRA DE VIDRIO	BORRA DE ALGODON
Peso Específico	D-792	1.75	1.84	1.1	1.80	1.60	1.32	1.38
Contracción de Moldeo	D-955	0.0035	0.0025	0.02	0.0030	0.005	0.0063	0.0065
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	D-638	385	380	650	385	350	500	525
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	D-790	650	700	1250	750	760	845	720
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	D-695	1750	900	1500	940	830	1900	2000
Resistencia al Impacto ($\frac{\text{kg-cm}}{\text{cm de muesca}}$)	D-256	2.3	1.81	41.3	1.97	0.98	3.23	1.97
Resistencia Dieléctrica (volt/cm)	D-149							
Tiempo Corto		3200	3200	3100	3150	2800	3150	2700
Tiempo Gradual		2700	2750	2600	2600	2400	2650	2400
Resistividad Volumétrica (ohm/cm)	D-257	30X10 ¹¹	25X10 ¹³	30X10 ¹²	25X10 ¹²	15X10 ¹¹	30X10 ¹³	15X10 ⁹
Constante Dieléctrica 60 ciclos	D-150	6.0	5.1	7.5	6.2	5.6	6.4	7
10 ³ ciclos		5.0	4.9	6.2	5.15	4.9	5.6	6.8
10 ⁶ ciclos		4.7	4.6	4.0	4.95	3.6	4.7	6.5
Factor de Disipación 60 ciclos		0.3	0.03	0.4	0.06	0.04	0.12	0.18
10 ³ ciclos		0.2	0.01	0.3	0.04	0.03	0.06	0.10
10 ⁶ ciclos		0.12	0.003	0.2	0.003	0.002	0.03	0.05
Deflexión a la Temperatura (°C)	D-648	160	150	120	150	100	180	120
Absorción de Agua (% en peso)	D-570	0.15	0.04	1.0	0.04	0.17	0.01	0.95

Debido a que la fibra de vidrio supera en propiedades al asbesto y, además es el material que absorbe la menor cantidad de agua, se seleccionó como el sustituyente adecuado.

En la segunda etapa de este experimento, se tomó un compuesto usado como aislante eléctrico, cuya formulación se presenta a continuación y al cual se le disminuyó, en diferentes proporciones, la cantidad de fibra de vidrio y se comprobaron sus propiedades.

Material	% en peso
Pulpa de madera	11-13
Fibra de vidrio	26-28
Lubricantes	2-3
Hidróxido de calcio	4-6
Hexametilentetramina	7-9
Pigmento negro	4-5
Resina fenólica	40-43

La tabla 6 muestra las diferentes composiciones del material, en las cuales se varió la cantidad de fibra de vidrio.

Los resultados se muestran en las tablas 7, 8 y 9; ésta última contiene valores promedio de cada compuesto.

TABLA 6.

MATERIAL	COMPUESTO A	COMPUESTO B	COMPUESTO C	COMPUESTO D
Pulpa de Madera	11.8	16.8	18.8	20.8
Fibra de Vidrio	27.0	22.0	20.0	18.0
Lubricantes	2.3	2.3	2.3	2.3
Hidróxido de Calcio	4.8	4.8	4.8	4.8
Hexametilentetramina	7.5	7.5	7.5	7.5
Pigmento Negro	4.8	4.8	4.8	4.8
Resina Fenólica	41.8	41.8	41.8	41.8

TABLA 7.

RESULTADOS

OBTENIDOS

PRUEBA	METODO ASTM	COMPUESTO A		COMPUESTO B	
		1	2	1	2
Peso Específico	D-792	1.25	1.27	1.32	1.32
Contracción de Moldeo	D-955	0.003	0.003	0.006	0.006
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	D-638	570	586	546	543
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	D-790	935	945	837	849
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	D-695	2250	2350	2100	2000
Resistencia al Impacto ($\frac{\text{kg-cm}}{\text{cm de muesca}}$)	D-256	3.11	3.26	1.54	1.77
Resistencia Dieléctrica (volt/cm)	D-149				
Tiempo Corto		4140	4200	3300	3480
Tiempo Gradual		2950	3070	3090	3210
Resistividad Volumétrica (ohm/cm)	D-257	28X10 ¹³	30X10 ¹³	29X10 ¹³	30X10 ¹³
Constante Dieléctrica 60 ciclos	D-150	5.79	5.83	6.36	6.46
10 ³ ciclos		5.24	5.34	5.60	5.66
10 ⁶ ciclos		4.59	4.63	4.61	4.69
Factor de Disipación 60 ciclos		0.069	0.073	0.120	0.124
10 ³ ciclos		0.044	0.048	0.060	0.070
10 ⁶ ciclos		0.024	0.032	0.033	0.041
Deflexión a la Temperatura (°C)	D-648	180	180	180	180
Absorción de Agua (% en peso)	D-570	0.01	0.01	0.01	0.01

TABLA 8. RESULTADOS OBTENIDOS

PRUEBA	METODO ASTM	COMPUESTO C		COMPUESTO D	
		1	2	1	2
Peso Específico	D-792	1.47	1.48	1.49	1.47
Contracción de Moldeo	D-955	0.0029	0.0029	0.0028	0.0028
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	D-638	500	520	520	480
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	D-790	880	920	830	800
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	D-695	1900	2100	200	2000
Resistencia al Impacto (kg-cm (cm de muesca))	D-256	2.95	3.19	3.35	2.95
Resistencia Dieléctrica (volt/cm)	D-149				
Tiempo Corto		4250	4550	4370	4290
Tiempo Gradual		3600	3780	3.85	3.75
Resistividad Volumétrica (ohm/cm)	D-257	30 X 10 ¹³	29 X 10 ¹³	29 X 10 ¹³	29 X 10 ¹³
Constante Dieléctrica 60 ciclos	D-150	5.50	5.58	5.50	5.46
10 ³ ciclos		5.13	5.17	5.14	5.06
10 ⁶ ciclos		4.3	4.9	4.7	4.3
Factor de Disipación 60 ciclos		0.064	0.070	0.063	0.059
10 ³ ciclos		0.036	0.040	0.036	0.032
10 ⁶ ciclos		0.030	0.034	0.03	0.024
Deflexión a la Temperatura (°C)	D-648	180	180	180	180
Absorción de Agua (% en peso)	D-570	0.01	0.01	0.01	0.01

TABLA 9. RESULTADOS OBTENIDOS

PRUEBA	METODO ASTM	COMPUESTO A	COMPUESTO B	COMPUESTO C	COMPUESTO D
Peso Específico	D-792	1.46	1.32	1.46	1.48
Contracción de Moldeo	D-955	0.003	0.006	0.0029	0.0028
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	D-638	578	543	510	500
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	D-790	940	843	900	815
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	D-695	2300	2050	2000	2200
Resistencia al Impacto $\left\{ \begin{array}{l} \text{kg-cm} \\ \text{cm de muesca} \end{array} \right\}$	D-256	3.19	1.65	3.07	3.15
Resistencia Dieléctrica (volt/cm)	D-149	-	-	-	-
Tiempo Corto		4170	3390	4400	4330
Tiempo Gradual		3010	3150	3690	3800
Resistividad Volumétrica (ohm/cm)	D-257	29X10 ¹³	29.5X10 ¹³	29.5X10 ¹³	29X10 ¹³
Constante Dieléctrica 60 ciclos	D-150	5.81	6.41	5.54	5.48
10 ³ ciclos		5.29	5.63	5.15	5.1
10 ⁶ ciclos		4.61	4.65	4.6	4.5
Factor de Disipación 60 ciclos		0.071	0.122	0.067	0.061
10 ³ ciclos		0.046	0.065	0.038	0.034
10 ⁶ ciclos		0.028	0.037	0.032	0.027
Deflexión a la Temperatura (°C)	D-648	180	180	180	180
Absorción de Agua (% en peso)	D-570	0.01	0.01	0.01	0.01

Con el objeto de disminuir los costos, se utilizó polvo de vidrio retenido en malla 30, en lugar de las fibras.

Con la formulación del compuesto C se preparó el compuesto y se inspeccionaron sus propiedades, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 10.

TABLA 10. RESULTADOS OBTENIDOS

PRUEBA	METODO ASTM	POLVO DE VIDRIO		PROMEDIO
		1	2	
Peso Específico	D-792	1.68	1.70	1.69
Contracción de Moldeo	D-955	0.003	0.003	0.003
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	D-638	500	490	495
Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	D-790	850	830	840
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	D-695	1950	2000	1975
Resistencia al Impacto ($\frac{\text{kg-cm}}{\text{cm de muesca}}$)	D-256	2.91	2.75	2.83
Resistencia Dieléctrica (volt/cm)	D-149			
Tiempo Corto		4300	4240	4270
Tiempo Gradual		3700	3620	3660
Resistividad Volumétrica (ohm/cm)	D-257	29 X 10 ¹³	30 X 10 ¹³	29.5 X 10 ¹³
Constante Dieléctrica 60 ciclos	D-150	5.50	5.48	5.49
10 ³ ciclos		5.10	5.00	5.05
10 ⁶ ciclos		4.5	4.3	4.40
Factor de Disipación 60 ciclos		0.064	0.062	0.063
10 ³ ciclos		0.030	0.028	0.029
10 ⁶ ciclos		0.027	0.025	0.026
Deflexión a la Temperatura (°C)	D-648	180	180	180
Absorción de Agua (% en peso)	D-570	0.01	0.01	0.01

PESO ESPECIFICO

Es la relación del peso en el aire de una unidad de volumen de la porción impermeable del material a 23 °C, al peso en aire de igual densidad de un volumen igual a agua destilada libre de gas a la misma temperatura.

El espécimen deberá ser una sola pieza del material bajo prueba de cualquier tamaño y forma. Deberá tener un peso entre 1 y 5 gr.

Procedimiento,- Pese el espécimen con aproximación de 0.1 mg.; una a la balanza una pieza de alambre fino suficientemente largo para alcanzar desde el gancho sobre la --- "gamella" al soporte del recipiente de inmersión; una el espécimen al alambre, tal que quede suspendido cerca de 2.5 cm. sobre el soporte del recipiente.

Monte el recipiente de inmersión sobre el soporte y sumerja completamente el espécimen suspendido en agua a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Remueva cualquier burbuja que esté adherida a la muestra o al alambre.

Pese el espécimen suspendido con la precisión requerida; anóte este peso como "b".

Pese el alambre en agua sumergido a la misma profundidad que el peso anterior, y anote este peso como "w".
Efectúe la prueba por duplicado.

Cálculos:

$$\text{Peso específico } 23/23 \text{ } ^\circ\text{C} = a/(a + w - b)$$

Donde:

a = peso aparente de la muestra sin alambre

b = peso aparente de la muestra completamente sumergida y del alambre parcialmente sumergido en el líquido.

w = peso aparente del alambre parcialmente sumergido.

CONTRACCION POR MOLDEO

Este método se utiliza para medir la uniformidad en contracción inicial de moldeo a dimensiones moldeadas - para materiales termoplásticos o termofijos, cuando se moldean por compresión, transferencia o inyección.

En moldeo por compresión la diferencia entre las dimensiones de un molde y del artículo moldeado, producido ahí mismo, puede variar de acuerdo al diseño y operación - del molde. Es probable que la contracción sea mínima donde el diseño y la operación son tales que un máximo material es forzado sólidamente en la cavidad del moldeo o alguna parte de éste, o donde el artículo moldeado es endurecido a un máximo mientras permanece bajo presión.

En contraste, la contracción puede ser mucho mayor donde la carga deberá fluir en la cavidad del molde, - pero no recibe y transmite suficiente presión para ser forzados firmemente todos los rincones, o donde el artículo - moldeado no está completamente endurecido cuando se descarga.

Procedimiento.- Mida la longitud de la cavidad del molde o el diámetro de la cavidad del disco del molde paralelo y perpendicular al flujo. Moldee al menos tres - muestras para ser probadas. Después de moldear deje que - las muestras se enfríen a temperatura ambiente y guárdelas. El período de almacenaje para contracción inicial para es- pecímenes de 3.2 mm. de espesor deberá ser de una a dos ho- ras; para muestras de 6.4 mm. de dos a cuatro horas; y pa- ra muestras de 12.7 mm. de cuatro a seis horas.

Mida la longitud y el diámetro de cada muestra y almacénelas otra vez. Mida las dimensiones entre 16 y 24 horas después del moldeo para obtener "contracción/día".

Calcule la contracción restando las dimensiones de la muestra de las del molde y dividiendo entre esta úl- tima.

RESISTENCIA A LA TENSION

Es la máxima fuerza de tensión ejercida sobre la muestra, dividida entre el área de sección transversal original de la misma.

Procedimiento.- Mida el ancho y el espesor de la muestra con aproximación de 0.025 mm. en diferentes puntos a lo largo de las secciones estrechas. El ancho de esta muestra deberá ser tomado como la distancia entre los ejes de corte de la matriz en la sección estrecha. Anote los valores mínimos de áreas de sección transversal. Ponga la muestra en las agarraderas de la máquina de prueba, teniendo cuidado de alinear los ejes largos de la muestra y las agarraderas con una línea imaginaria que enlace los puntos de unión de las agarraderas a la máquina. Determine la resistencia a la tensión y la elongación mediante el siguiente procedimiento: fije la velocidad de la prueba. Anote la carga soportada por el espécimen cuando el tirón alcance 0.02 y el tiempo transcurrido desde el inicio de la prueba hasta que se alcance este punto.

Si la ruptura ocurre antes de que se alcance el tirón de 0.02, anote el tiempo transcurrido desde el inicio de la prueba hasta que el espécimen se rompa. Anote la máxima carga soportada por el espécimen.

Cálculos.- Calcule la resistencia a la tensión dividiendo la máxima carga en kilogramos por el área de sección transversal mínima original del espécimen en cm^2 . Exprese el resultado en kgs.fza./cm^2 .

RESISTENCIA A LA FLEXION

Este método cubre la determinación de propiedades flexibles de materiales plásticos y aislantes eléctricos en forma de barras rectangulares moldeadas directamente o cortes de hojas, placas o formas moldeadas. Se aplica generalmente a cuerpos rígidos y semirígidos.

Existen dos métodos de prueba:

METODO I.- Un sistema de carga de tres puntos soportado simplemente sobre una viga. La barra descansa sobre dos soportes y se carga por medio de una punta que está a la mitad de los mismos.

METODO II.- Un sistema de carga de cuatro puntos, utilizando dos puntos de carga igualmente espaciados de sus puntos de soporte adyacente, con una distancia entre los puntos de carga de $1/3$ del tamaño del soporte. La barra descansa en dos soportes y se carga en dos puntos -- (mediante dos puntos de carga).

Cada método puede ser usado con cualquiera de los procedimientos siguientes:

Procedimiento A.- Diseñado principalmente para -

materiales que rompen a deflexiones comparativamente pequeñas.

Procedimiento B.- Diseñado para materiales que resisten grandes deflexiones.

El espécimen es doblado hasta que ocurre la ruptura en las fibras exteriores o hasta que se alcance un 5% del esfuerzo máximo de la fibra; lo que ocurra primero.

El esfuerzo máximo de la fibra ocurre sobre una línea bajo la punta de carga en el Método I, y sobre el área entre los puntos de carga en el Método II.

Puntas de carga y soportes.- Deberán tener superficies cilíndricas o el radio estándar ser al menos de 3.2 mm. (1/8 in); para materiales más gruesos el radio deberá ser mayor de 1.5 veces el espesor de la muestra.

Para materiales moldeables (termoplásticos o termofijos) las dimensiones apropiadas son: 127 X 12.7 X 6.4 mm. (5X 1/2 X 1/4 in).

RESISTENCIA A LA COMPRESION

Es la máxima fuerza de compresión dividida entre el área de sección transversal del espécimen.

Los especímenes de prueba pueden ser hojas, placas, rodillos, tubos o formas similares y pueden ser moldeados por compresión o por inyección.

Las condiciones de prueba son: $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa.

Procedimiento.- Mida el ancho y el espesor del espécimen con aproximación de 0.01 mm.; calcule el área; - mida la longitud del mismo; ponga el espécimen entre las superficies de la máquina de compresión y acciónela a una velocidad de 1/3 mm/min. Anote la máxima carga soportada. Efectúe la prueba por triplicado. Calcule la resistencia a la compresión dividiendo la máxima carga entre el área.

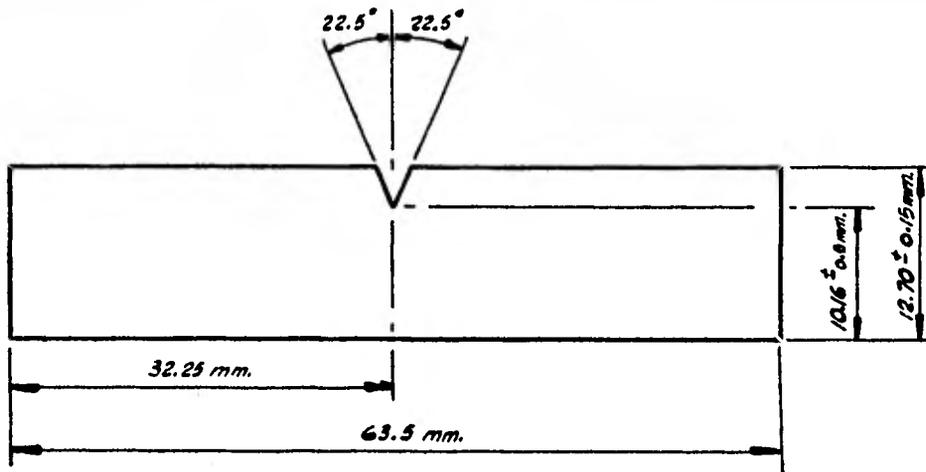
RESISTENCIA AL IMPACTO

Existen dos métodos para efectuar esta prueba. - La diferencia entre uno y otro está en el diseño de la máquina y en el método de soportar y romper la muestra.

En este caso se utilizó el tipo IZOD. En él la muestra está soportada por una viga voladiza vertical y es rota por un sólo movimiento del péndulo con la línea de -- contacto inicial a una distancia fija del soporte de la -- muestra y de la línea central de la muesca y sobre el mismo lado de ésta.

La máquina consiste en una base sobre la cual se monta un tornillo de banco para soportar la muestra y a la cual está conectado, a través de un soporte rígido y de an tifricción, uno de un número de martillos tipo péndulo, te niendo una energía inicial apropiada para usarla con la -- muestra que va a ser probada, más un péndulo y un mecanismo liberador, así como un mecanismo apuntador que sirva pa ra indicar el exceso de energía restante en el péndulo des pués de la ruptura de la muestra.

Los especímenes de prueba deberán tener las dimensiones y geometría mostradas en la figura.



Condiciones.- Las condiciones para la prueba de la muestra son $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa.

Procedimiento.- Deberán hacerse al menos cinco, y preferiblemente diez o más determinaciones individuales de valores de impacto, por cada muestra que vaya a ser probada. Estime la energía de ruptura para la muestra y seleccione un péndulo de energía apropiada.

Antes de probar las muestras, efectúe la siguiente operación en la máquina: con el exceso de energía que indica el apuntador en su posición normal de arranque, pero sin muestra en el tornillo de banco, libere el péndulo de su posición normal de arranque y anote la posición que el apuntador alcanza después del movimiento como una lectura de factor A.

Sin reestablecer el apuntador, levante el péndulo

lo y libérela otra vez; el apuntador deberá moverse hacia arriba de la escala una cantidad adicional; repita hasta que un desplazamiento no cause un movimiento adicional del apuntador y anote la lectura final como un factor B.

Repita las dos operaciones anteriores varias veces y calcule los valores promedios de A y B; cheque que la muestra no lleve torceduras, rayas o endiduras; mida el ancho de la muesca con un micrómetro y saque un promedio.

Coloque la muestra en una posición correcta, libere el péndulo y anote el exceso de energía restante en el mismo después de romper la muestra, junto con una descripción de la apariencia de la ruptura (completa, de "gozne", parcial o no ruptura); con los factores A y B, calcule un factor de corrección.

RESISTENCIA DIELECTRICA

Es la relación del voltaje de ruptura dieléctrico al espesor del material aislante.

Para hacer la prueba, el voltaje se puede aplicar por cualquiera de los dos métodos:

- a) tiempo corto
- b) tiempo gradual.

Tiempo corto.- El voltaje se incrementa de cero hasta la ruptura a una velocidad uniforme, que puede ser de 100, 500, 1000 ó 3000 v/s.

Tiempo gradual.- A menos que se especifique otro valor, un voltaje inicial igual al 50% del voltaje de ruptura obtenido en la prueba anterior ($\pm 5\%$) deberá aplicarse a la muestra. El voltaje deberá ser incrementado en cantidades iguales y sostenido por determinados períodos de tiempo.

La resistencia dieléctrica de un material aislante varía con el espesor del mismo, el área y la geometría de los electrodos, la temperatura y la humedad.

En general, es preferible probar el material en -
el medio en que va a ser usado: aire, otro gas o aceite.

RESISTIVIDAD VOLUMETRICA

El método cubre la determinación de la resistencia dieléctrica, resistencia y resistividad volumétrica, - resistencia y resistividad superficial de aislantes eléctricos.

La resistividad volumétrica se usa frecuentemente para checar la uniformidad de un material aislante (detectar impurezas conductivas).

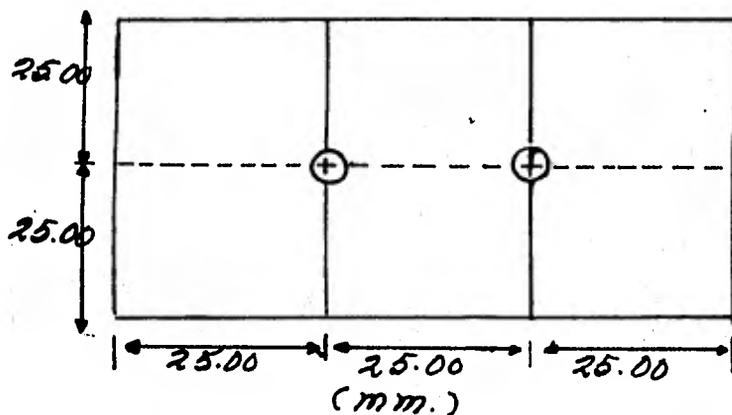
La resistencia dieléctrica depende del tiempo de electrificación y del voltaje aplicado.

Resistencia dieléctrica (R_i).- Es la relación del voltaje directo, aplicado a los electrodos y la corriente total entre ellos.

Resistividad volumétrica (ρ_v).- Es la relación del gradiente de potencial paralelo a la corriente en el material a la densidad de corriente.

Para la resistencia dieléctrica el material puede tener diversas formas, tales como placas planas, tapas, rodillos y tubos.

En el caso de una placa plana, deberá tener las siguientes dimensiones:



Procedimiento.- Montar apropiadamente el espécimen en la cámara de prueba y efectuar las mediciones con un aparato adecuado (en sensibilidad y precisión).

El tiempo de electrificación deberá ser de 60 seg. y el voltaje aplicado de 500 ± 5 V.

Para la resistividad volumétrica es necesario medir las dimensiones de los electrodos, así como del soporte.

$$R_v = \frac{V}{I}$$

$$\rho_v = \frac{A}{t} R_v$$

Donde:

A = área efectiva

t = espesor

R_v = resistencia

ρ_v = resistividad

CONSTANTE DIELECTRICA

Comprende: Constante dieléctrica
Factor de disipación
Factor de potencia
Angulo de fase.

DEFINICION.

Constante dieléctrica.- Es la relación de la capacitancia, C_x , de una configuración dada de electrodos con un material como el dieléctrico a la capacitancia C_v , de la misma configuración de electrodos con un vacío (o aire para propósitos más prácticos), como el dieléctrico.

$$k' = \frac{C_x}{C_v}$$

Factor de disipación.- Es la expresión de la cantidad de pérdida eléctrica en un capacitor. Para determinar la constante dieléctrica y el factor de disipación de un material, de preferencia se usan hojas. Lo más difícil de esta prueba es la determinación de las dimensiones del espécimen, y particularmente del espesor.

Procedimiento.- Moldear el espécimen de prueba con un espesor apropiado (1.5mm.) y colocar en una celda de medida con sus electrodos conectados; mida la capacitancia.

Si se usan electrodos micrómetros en aire:

$$\text{Constante dieléctrica } k'x = \frac{1}{1 - \frac{\Delta C}{C_1} \frac{t_0}{t}}$$

$$\text{y factor de disipación } Dx = \Delta C + Mk'x\Delta D$$

Donde:

ΔC = cambio de capacitancia

C_1 = capacitancia

t_0 = espacio entre placas

t_1 = espesor promedio

ΔD = incremento en factor de disipación

$$M = \frac{t_0}{t_1} - 1$$

$k'x$ = constante dieléctrica

DEFLEXION A LA TEMPERATURA

Este método cubre la determinación de la temperatura, a la cual ocurre una deformación arbitraria cuando las muestras son sujetas a un conjunto variado de condiciones de prueba. Se aplica a materiales moldeados disponibles en espesor de 3mm. o mayor, y que son rígidos a temperaturas ambientes.

Se prueba una barra de sección transversal rectangular de 127 X 13 X 5 mm. con la carga aplicada en su centro, para dar un esfuerzo de fibra máximo de 66 psi. La muestra se sumerge en un medio que transfiera calor, que puede ser calentado a una velocidad de $2 \pm 0.02^\circ\text{C}/\text{min}$. La temperatura se mide cuando la barra de prueba se ha doblado 0.25 mm. Esta temperatura se toma como la temperatura de deflexión bajo carga.

D-570/63

ABSORCION DE AGUA.

Este método cubre la determinación de la velocidad relativa de absorción de agua para los plásticos cuando están sumergidos.

El espécimen de prueba para plásticos moldeados deberá tener la forma de un disco de 50.8 mm. de diámetro y 3.2 mm. de espesor.

La muestra deberá ser secada durante una hora y a 105-110°C en una estufa. Se deja enfriar y se pesa, designando este peso con la letra A. Posteriormente, se sumerge en un recipiente conteniendo agua destilada a una temperatura de 23±1°C.

Después de 24 horas, deberá ser retirada y secada con un trapo, para inmediatamente ser pesada. Este peso lo designaremos con la letra B.

Cálculos:

$$\% \text{ Agua Absorbida} = \frac{B - A}{B} \times 100$$

VII. ANALISIS DE RESULTADOS

Comparando los resultados obtenidos con los diferentes materiales probados durante el experimento, con los obtenidos para el asbesto, vemos que:

La mica lo supera en contracción por moldeo, resistencia a la flexión, resistencia dieléctrica (tiempo corto), resistividad volumétrica y absorción de agua.

El fieltro de sisal supera al asbesto en casi todas las propiedades, tanto mecánicas como eléctricas, sólo que tiene una gran absorción de agua.

El magensol tiene un comportamiento similar al de la mica.

Usando tierras diatomáceas, los valores obtenidos son muy inferiores a los necesarios.

La fibra de vidrio supera al asbesto, aunque se obtienen valores más bajos en la mayoría de las propiedades, comparado con el fieltro de sisal; la ventaja sobre éste es que absorbe una mínima cantidad de agua.

La borra de algodón da buenos resultados en lo que respecta a propiedades mecánicas pero, al igual que el fieltro de sisal, tiene una gran absorción de agua.

Aunque con la mica y el magnesol se obtienen resultados bastante buenos, se descartan por su peligrosidad, ya que son materiales en polvo muy finos, además de que representan problemas al pasarlos por los rodillos.

VIII. CONCLUSIONES

Debido a la baja absorción de agua, se seleccionó la fibra de vidrio como el material idóneo para sustituir al asbesto, ya que lo supera en diferentes propiedades. Para disminuir el contenido de fibrillas; se usó fibra con tamaño promedio de aproximadamente 10 mm. de largo por 2 mm. de ancho; al trabajar con fibras de este tamaño se evita la presencia de polvo fino.

Según los resultados de la tabla 10, existe otra alternativa, y es la de usar polvo de vidrio retenido en malla 30, que aunque disminuye los valores en propiedades mecánicas, no sucede lo mismo en propiedades eléctricas, - las cuales permanecen casi constantes.

IX. BIBLIOGRAFIA

- TRATADO GENERAL DE PLASTICOS
Simonds y A. J. Weith
Ed. Reverté.

- QUIMICA DE LOS MATERIALES PLASTICOS
Erich M. Bayer
Ed. Científico-Médico.

- PLASTIC ENG. HANDBOOK
Joel Frados
S.P.I.

- DEVELOPMENT WITH THERMOSETTING PLASTICS
A. Whelan y J. A. Brydson
Applied Science

- MODERN PLASTICS INTERNATIONAL
McGraw Hill

- SYNTHETIC RESINS AND ALLIED PLASTICS
Varios Autores

- APUNTES DEL PROFESOR JULIO TERAN Z.
Facultad de Química
U.N.A.M.