



300618  
13  
20

**UNIVERSIDAD LA SALLE**

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS INCORPORADA A LA UNAM

**" ESTUDIO ECONOMICO-EXPERIMENTAL DEL USO DE LA  
CASCARA DE NUEZ COMO CARGA EN COMPUESTOS DE PVC"**

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO PRESENTA

**MARIA DE LOS ANGELES DEL VALLE ALVAREZ DEL CASTILLO.**

DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE GARCIA ACEVEDO.

MEXICO, D.F. 1994

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **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 está 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.

## **GRACIAS....**

... a tí Dios que siempre me has guiado y haces que todos mis pasos sean más fáciles. Gracias por tu eterna luz.

... a mis padres que no sólo me han dado su vida, sino también un gran ejemplo.

... a mi familia que siempre me ha apoyado y animado en cada momento.

... a Mónica y Jorge por su constante entusiasmo.

... a maestros, que más que eso, han sido grandes amigos y han compartido conmigo su saber.

... a todos ustedes, que por su cariño, apoyo y constantes muestras de confianza hacia mi persona, tienen un lugar muy especial.

... por todos estos granitos de arena con los que pude construir mi sueño.

# INDICE GENERAL

<b>INTRODUCCION</b> .....	i
<b>OBJETIVOS</b> .....	iii
<b>1 ¿QUE ES EL PVC Y CUALES SON SUS CARACTERISTICAS?</b> ...	1
1.1 Estructura Química del PVC .....	3
1.2 Síntesis del Monómero de Vinilo .....	7
1.3 Polimerización .....	11
1.3.1 Polimerización en masa .....	13
1.3.2 Polimerización en suspensión .....	17
1.3.3 Polimerización en emulsión .....	18
1.3.4 Polimerización en solución .....	20
<b>2 COMPUESTOS DE PVC Y ADITIVOS COMUNES</b> .....	21
2.1 Estabilizador al calor .....	23
2.2 Lubricantes .....	27
2.3 Modificadores de impacto .....	29
2.4 Cargas .....	29
2.5 Estabilizadores a la luz .....	31
2.6 Retardantes de flama .....	32
2.7 Modificadores de flujo .....	32
2.8 Pigmentos .....	32
2.9 Antioxidantes .....	34
2.10 Antiestáticos .....	34
2.11 Plastificantes .....	34
2.12 Desmoldantes .....	37
2.13 Espumantes .....	37
2.14 Fungicidas .....	37
2.15 Refuerzos .....	38
2.16 Solventes .....	38
<b>3 CARGAS USADAS PARA LOS PLASTICOS</b> .....	39
3.1 Tipos de cargas .....	40
3.2 Manufactua (Obtención) .....	41
3.3 Interacción Polímero-Carga .....	43
3.4 Usos .....	46
3.5 Harinas de Cáscaras .....	46
3.6 Efecto de las cargas sobre las resinas .....	48

4	<b>LA NUEZ Y SU CASCARA</b> .....	49
4.1	Nueces .....	49
4.2	Características Físicas .....	49
4.3	Composición Química .....	50
4.4	Producción .....	51
4.5	Usos .....	51
4.6	Subproductos .....	52
5	<b>PROCESOS DE PULVERIZACION DE LA CASCARA DE NUEZ</b> .	57
5.1	Máquinas de Presión Directa .....	62
5.2	Molinos de Discos .....	63
5.3	Molino de Rodillos .....	63
5.4	Máquinas de Martillos .....	64
5.5	Molinos de Cilindros .....	65
5.6	Molinos de Chorro .....	66
5.7	Proceso de molienda y Resultados .....	67
6	<b>EXPERIMENTACION CONCEPTUAL Y RESULTADOS</b> .....	81
6.1	Propiedades .....	81
6.2	Procedimiento de la Experimentación .....	84
6.3	Análisis de Resultados .....	91
6.4	Diseño Experimental .....	93
7	<b>ESTUDIO ECONOMICO</b> .....	96
8	<b>CONCLUSIONES</b> .....	102
9	<b>ANEXOS</b> .....	104
9.1	Anexo 1 Dibujos y diagramas de Molinos .....	105
9.2	Anexo 2 Uso de los Rodillos .....	110
9.3	Anexo 3 Resumen de los Métodos ASTM .....	114
9.4	Anexo 4 Estudio económico de la pulverización de la cáscara de nuez	120
10	<b>GLOSARIO</b> .....	131
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	135

# INDICE DE TABLAS

3 .1	Tipos de Cargas .....	41
4 .1	Composición de los frutos de almendra comestibles .....	55
4 .2	Producción de nuez encarcelada en México .....	56
5 .1	Distribución de Partículas .....	72
5 .2	Condiciones de Operación .....	74
6 .1	Resultados Obtenidos .....	87
6 .2	Propiedades .....	89
7 .1	Costo del flete .....	99
7 .2	Precio de venta de algunas cargas .....	101
9 .1	Datos del Molino .....	121
9 .2	Estructura de costos .....	121
9 .3	Resultados Proforma .....	121

# INDICE DE FIGURAS

5 .1	Partículas que resultan de una fractura .....	58
5 .2	Molino de cuchillas .....	68
5 .3	Pulverizador Denver .....	69
5 .4	Quebradora giratoria .....	70
5 .5	Molino de bolas .....	71
5 .6	Distribución de tamaño de la cáscara. Prueba#1 .....	75
5 .7	Distribución de tamaño de la cáscara. Prueba#2 .....	76
5 .8	Distribución de tamaño de la cáscara. Prueba#3 .....	77
5 .9	Distribución de tamaño de la cáscara. Prueba#4 .....	78
5 .10	Distribución de tamaño de la cáscara. Prueba#5 .....	79
5 .11	Distribución de tamaño de la cáscara. Comparativo ....	80
6 .1	Resultados de la Prueba de estabilidad térmica .....	88
9 .1	Quebradora de quijadas tipo Blake .....	106
9 .2	Machacadora Hidrocone .....	106
9 .3	Machacadora cónica de Symons .....	106
9 .4	Machacadora Fairmount de un solo cilindro .....	106
9 .5	Molino de atrición con dos discos giratorios .....	107
9 .6	Molino de piedra cuarzosa .....	107
9 .7	Molino de rodillos y solera para trabajo pesado .....	107
9 .8	Molino de rodillos y anillo .....	107
9 .9	Pulverizador de torbellino .....	108
9 .10	Molino de martillos .....	108
9 .11	Desintegrador o molino de jaula múltiple .....	108
9 .12	Molino de Marcy, tipo de bolas continuo con rejilla ....	108
9 .13	Molino micronizador de chorro .....	109
9 .14	Pulverizador de chorro .....	109
9 .15	Punta del durómetro .....	115
9 .16	Estudio Economico (costo por Kg) .....	126
9 .17	Estudio Economico (inversion) .....	127
9 .18	Estudio Economico (recuperación) .....	128
9 .19	Estudio Economico (costo-inversion-recuperación) ....	129
9 .20	Amplificación de la fig 19 .....	130

# INTRODUCCION

En la antigüedad el hombre empezó a buscar la forma de tener más comodidades y se preocupó por buscar materiales que le fueran útiles y fáciles de adquirir como lo eran el papel, la madera, el acero, el vidrio, el algodón, etc, para cumplir con sus necesidades.

En un principio se encontró que los plásticos podían suplir a estos materiales y se empezaron a utilizar. En la última década el uso de estos se ha incrementado grandemente y se puede decir que en la actualidad son indispensables en nuestra vida diaria.

Si nos ponemos a analizar un poco, vemos que la mayor parte de las cosas que nos rodean están hechas de plástico, o por lo menos unas de sus partes, son de plástico.

Se ha estudiado que los plásticos tienen mejores propiedades y un costo menor en comparación de los otros materiales. Sin embargo el mercado requiere de productos que sean todavía más baratos, además de tener calidad. Para lograrlo las resinas con que están hechos estos productos, se mezclan con otras sustancias compatibles con ellas, pero que su precio es mucho menor (cargas). Estas mezclas deben estar muy bien balanceadas para poder dar la calidad requerida por el producto.

Uno de los plásticos más versátiles que podemos encontrar en el mercado por sus diversas aplicaciones es el PVC. Lo podemos encontrar tan rígido como un tubo para drenaje, como flexible en una manguera; pasando por los perfiles, botellas, zapatos, juguetes, películas, bolsas, gomas, etc. Es por esto que viendo las necesidades del mercado y sabiendo que el PVC es compatible con casi todos los aditivos existentes, se decidió buscar un producto nuevo que se pudiera utilizar como carga para PVC.

Para poder elegir a éste se vio otro problema actual de la mayoría de las ciudades, " La basura y desechos industriales ". Es una realidad que la basura se genera rápidamente sin ningún

control, y en la mayoría de los casos tiene una densidad muy alta por lo que ocupa mucho espacio. Un ejemplo de esto es la cáscara de nuez que es desechada y ocupa mucho volumen.

En esta tesis se comenzará por estudiar al PVC desde su origen, analizando sus propiedades, la manera de obtenerlo y posteriormente prepararlo en un compuesto para poderlo procesar y así obtener diferentes productos.

También se estudiará, que son las cargas en los plásticos, cuáles son, sus características, qué propiedades les aportan a los plásticos y cuáles son las mas usadas.

Mas adelante se anotan los tipos de nueces, sus usos y producción en México.

En este momento, ya conocemos las características de los dos materiales que se van a mezclar. Y se buscará un método para preparar la cáscara como carga para poder hacer la mezcla con PVC.

Para poder escoger el método de pulverización de la cáscara, se presentan los tipos de molinos que hay en el mercado, y los resultados que se obtienen al trabajar con algunos, para obtener el método más adecuado; ya seleccionado, se utiliza para pulverizar la cáscara y es entonces cuando se probará esta en el laboratorio, para ir conociendo sus características.

Ya preparada la mezcla, analizaremos su comportamiento con el PVC, y se proponen algunos productos en los que podríamos utilizarla.

Como vimos desde el principio, no sólo deberá ser compatible sino económicamente factible su uso, por lo que se presenta un estudio económico y se hace la comparación con otras cargas, que podemos encontrar en el mercado.

Para terminar se exponen las conclusiones generales de este trabajo, y se proponen otros estudios, que quedarán pendientes de analizar.

## OBJETIVOS

- 1.- Encontrar un método para adecuar la cáscara de nuez (un desperdicio) y poder utilizarla como carga con el PVC y ver sus características.
- 2.- Comparar el efecto que da al PVC el utilizar la cáscara de nuez como carga en vez de  $\text{CaCO}_3$  en las mismas proporciones.
- 3.- Estimar un posible nivel de costo para la cáscara de nuez utilizando el método propuesto, y compararlo con el de otras cargas.
- 4.- Hacer una propuesta de estudio.

---

## CAPÍTULO 1

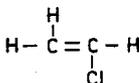
### *¿Qué es el PVC y cuáles son sus características?*

PVC significa policloruro de vinilo, y es uno de los polímeros termoplásticos disponibles hoy en día, más importantes.

Los polímeros son formados por la creación de ligaduras químicas entre moléculas relativamente pequeñas denominadas "monómeros" para formar moléculas largas o polímeros.

El PVC puede ser homopolímero si solo está hecho de cloruro de vinilo o puede ser copolímero si se combina el monómero de cloruro de vinilo con diferentes cantidades (menores) de algún otro monómero, al cual se le llama comonómero. Dentro de los principales comonómeros, encontramos: el acetato de vinilo, el etileno, el propileno, el cloruro de vinilideno, el anhídrido maléico, los acrilatos y los éteres vinílicos y fumáricos.

El monómero de cloruro de vinilo es un producto petroquímico básico derivado principalmente del etileno. Su fórmula es:



Es un gas incoloro a temperatura ambiente, inflamable, de olor dulce característico; su temperatura de ebullición es de  $-13.8^{\circ}\text{C}$ , su densidad relativa al agua, en estado líquido es 0.9121 ( $20^{\circ}\text{C}$ ).

Su punto de ignición es de  $-77^{\circ}\text{C}$  y su temperatura de autoignición es de  $472^{\circ}\text{C}$ , ligeramente soluble en agua y soluble en eter y alcohol. Su límite explosivo en aire, esta entre 4 y 22%.

---

---

Se almacena como líquido a presión (34 a 75 PSIG) en tanques herméticos de acero al carbón y se transporta a presión también en buque-tanque, auto-tanque y carrotanque.

La preparación del monómero de cloruro de vinilo se reportó primero por Regnault en 1835, aunque pudo haber sido reportado anteriormente por Liebig. El método utilizado fue tratar dicloruro de etileno con una solución alcohólica de hidróxido de potasio. El bromuro de vinilo también se obtuvo por un método similar, en el que se usaba dibromuro de etileno. Se reporta que en 1872 el bromuro de vinilo se produjo por la reacción de acetileno y bromuro de hidrógeno. La reacción análoga con cloruro de hidrógeno, descubierta por F. Klatte en 1912, vino a ser una de las dos mayores rutas para la fabricación de cloruro de vinilo.

En México su producción se inicia con la cloración directa del etileno para producir dicloroetano (DCE). El cual por pirólisis, se descompone en cloruro de vinilo (VCM) y ácido clorhídrico (HCl), el cloruro de vinilo se separa y se envía al almacenamiento y venta, el ácido clorhídrico se alimenta al tren de oxiclación, en donde junto con etileno y oxígeno (tomado del aire), forma agua y dicloroetano que se alimenta a la producción de VCM, aprovechándose así el ácido clorhídrico obtenido y reduciendo costos, riesgos y eliminando una fuente de contaminación ambiental ácida.

La polimerización en tubos sellados de cloruro de vinilo y bromuro de vinilo, expuestos a la luz del sol, fue lograda en 1872 por Baumann. Un trabajo posterior de estas polimerizaciones lo realizó Ostromislensky, en Moscú, en 1912.

El interés comercial del PVC se reveló en un número de patentes, independientemente suscrita en 1928, por las corporaciones Carbide y Carbón Chemical, Du Pont y Y.G. Farben. En cada caso los proyectos negociaron con copolímeros de cloruro de vinilo. Esto ocurrió porque los homopolímeros podían ser procesados únicamente en estado fundido, a temperaturas en donde ocurrían altas tasas de descomposición. Comparados con los copolímeros, que podían procesarse a mucho más bajas temperaturas, fueron menos afectados por las operaciones de proceso.

W.L. Semon consiguió un gran éxito comercial, al encontrar que si el policloruro de vinilo era calentado a 150°C, con fosfato de tritolilo, las masas eran parecidas al caucho y permanecían homogéneas a temperatura ambiente. La combinación de PVC con éste y otros líquidos no volátiles, similares para dar PVC plastificado, es ahora de gran importancia en la industria de los plásticos.

---

---

Pocos años después el PVC pudo desarrollarse fácilmente en los Estados Unidos y Alemania. Ambos países elaboraron el material comercialmente, antes de la segunda Guerra Mundial. En Gran Bretaña I.C.I. en 1942 y la compañía Distillers, en 1943, iniciaron la producción de PVC, en una planta piloto, ya que entonces éste era un producto de gran demanda como sustituto del hule, para el aislamiento de cables. Un poco después, estuvo disponible una forma de pasta con grados apropiados para la producción de ropa de cuero.

Terminada la guerra, Inglaterra y los Estados Unidos mostraron un gran interés en el PVC plastificado, que se manejaba principalmente por técnicas de extrusión, prensado y pasta. Sin embargo, en el continente europeo, particularmente en Alemania, el desarrollo se llevó a cabo con PVC no plastificado, un material rígido que sólo tuvo una importancia insignificante en Inglaterra, en los años 60's. El uso de copolímeros no ha crecido en la misma forma que el homopolímero, a pesar de su temprana relevancia.

En apoyo de lo indicado con anterioridad, se observa que los segundos (homopolímeros) han llegado a ser materiales útiles de propósito especial para pisos, discos fonográficos, industrias de recubrimientos (impermeabilizantes). Posiblemente, los avances más sobresalientes en los años pasados no han tomado muy en cuenta la estructura molecular de los polímeros, sino más bien a las partículas formadas durante la polimerización. Tales factores como su forma, dimensiones, distribución del tamaño y porosidad, afectan vitalmente las características de procesabilidad de la partícula polimérica o del polímero, por lo que un conocimiento más completo de su influencia ha conducido a muchos nuevos grados útiles de polímeros.

Hoy día el PVC es producido en muchos países, como Inglaterra, Francia, Alemania, Japón, Italia y los Estados Unidos, entre otros.

El PVC se empezó a comercializar en México desde 1947, en 1953 y 1955 se instalaron las primeras plantas productoras de resina de PVC.

### *1.1 Estructura Química del PVC*

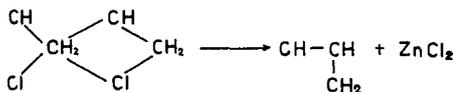
Es un polímero substancialmente termoplástico, esto quiere decir que se puede transformar las veces que se quiera añadiendo calor, ya que se ablanda el material y al enfriarse mantiene su forma. La presencia de átomos de cloro provoca un aumento en la atracción de intercadena y trae aparejado un incremento en la dureza y rigidez del polímero. El PVC tiene un factor de fuerza y constante dieléctrica alta, aunque a temperaturas por debajo de la transición vítrea (80°C) el factor de fuerza es comparativamente bajo (0.01-0.05 a 60 Hz) por la inmovilidad del dipolo.

---

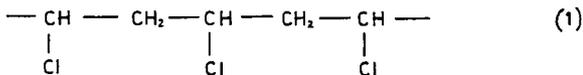
El parámetro de solubilidad del PVC es aproximadamente de 9.5 Hz (ciclos/seg) por lo que el polímero es entonces resistente a los solventes no polares, los cuales poseen un índice de solubilidad más bajo. De hecho éste tiene una capacidad para disolverse muy limitada. Los únicos solventes efectivos son aquellos que son capases, de alguna forma, de tener interacción con el polímero. El PVC puede actuar como protón (donador) débil y entonces los solventes efectivos son frágiles aceptadores de protones. Esto incluye la ciclohexanona y el tetrahidrofurano. Hay muchos materiales que son plastificantes adecuados para PVC. Ellos tienen parámetros de solubilidad similares al policloruro de vinilo, y también son débiles aceptadores de protones. Son de un peso y tamaño molecular muy alto, para disolver el polímero a la temperatura ambiente, pero pueden ser incorporados añadiendo cantidades de calor elevadas, para dar mezclas estables.

La presencia de cloro en grandes cantidades en el polímero, hace posible su dilatación en la flama. Sin embargo, la existencia de plastificantes reduce la resistencia a la extinción.

Se han realizado muchos experimentos para dilucidar la estructura molecular del cloruro de polivinilo. En 1939 Marvel, Sample y Roy declararon PVC con polvo de zinc, para dar estructuras cíclicas en cadenas.



Al notar la cantidad de cloro que podía ser removido de esta manera, estuvieron aptos para determinar tanto si el polímero estaba formado por cadenas de la cabeza a la cola (1) o de cabeza a cabeza y de cola a cola (2).





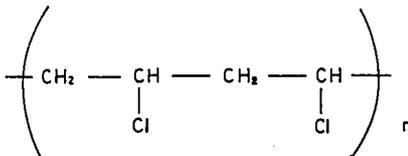
sindiotáctica (alternado). Estudios posteriores, indican que el PVC convencional es aproximadamente 55% sindiotáctico y el resto grandemente atáctico, en estructura.

A través de los años ha habido múltiples controversias sobre la naturaleza y extensión de la rama en cloruro de polivinilo. Al mismo tiempo, se había creído que en el PVC comercial normal podía haber más de 16 ramas de cadenas por molécula. Estudios recientes sugieren que la existencia de una rama larga por molécula no es muy probable. Sin embargo, podría haber unas cuantas ramas pequeñas por molécula, que se levantaron por un mecanismo análogo al de polietileno de baja densidad.

Es de interés hacer notar que la polimerización de radicales libres a bajas temperaturas, como a  $-40^{\circ}\text{C}$ , con el empleo de radiación o por el uso de iniciadores altamente activos, tales como los boranos alquiles, favorecen considerablemente la formación de estructuras sindiotácticas. La mayor regularidad y ausencia de ramas resultan en polímeros cristalinos, con solubilidad decrecida en ciclohexanona. Los polímeros también tienen, como podría esperarse, mayor densidad y un alto punto de suavidad. No obstante, tales polímeros son difíciles de procesar y los productos son generalmente más frágiles. En oposición a esto, se ha proclamado que a través de un cuidadoso control del peso molecular y cristalinidad pueden obtenerse materiales útiles.

El PVC tiene una estabilidad térmica limitada. Esto es contrario a lo que podría esperarse, ya que es sabido que los materiales de peso molecular bajo y que contienen estructuras similares, son más estables. Parecería entonces que esta inestabilidad es debida a imperfecciones o puntos débiles en la estructura, que pueden provocar el inicio de la degradación. El mecanismo de disminución de las propiedades del compuesto está lejos de ser bien entendido, ya que las distintas teorías enunciadas hasta la fecha y que contribuyen al desarrollo de la tecnología del PVC, no serían aplicables aquí. Los aspectos tecnológicos de la degradación se considerarán en la sección de ingredientes del compuesto, ya que compiten con estabilizadores y también serían estudiados en las características de proceso, según sea el caso.

#### Estructura química general.

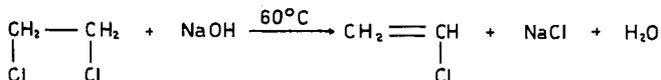


## 1.2 Síntesis del Monómero de Vinilo

### Preparación de cloruro de vinilo.

Hay tres métodos generales de interés para la preparación del cloruro de vinilo, uno para síntesis de laboratorio y los otros dos para producción comercial.

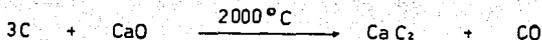
El monómero de cloruro de vinilo (un gas cuyo punto de ebullición es de  $-14^{\circ}\text{C}$ ) es preparado en el laboratorio por la adición de dicloruro de etileno a una solución caliente del 10% de hidróxido de potasio, en una mezcla de alcohol etílico-agua, tal como se muestra a continuación.



Durante muchos años este método gozó de un importante interés comercial. Sin embargo, esto sufre una reducción en la cantidad del compuesto debido a que la mitad del cloro del dicloruro de etileno se consume en la manufactura de la sal común.

Por muchos años una ruta de mayor empleo para la producción del cloruro de vinilo ha sido por la adición de ácido clorhídrico al acetileno.

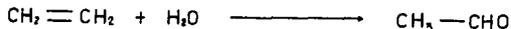
El acetileno es preparado por la adición de agua al carburo de calcio el cual es producido por el calentamiento de carbón (coke) y cal. Para quitar las impurezas tales como agua, arcina y fosfina, el acetileno puede ser comprimido a  $15 \text{ lb/pulg}^2$  (aproximadamente  $100 \text{ KN/m}^2$ ) y pasado a través de una torre de lavado y enfriado a  $-10^{\circ}\text{C}$ , para remover el agua presente. El ácido clorhídrico puede ser, preparado por la combustión de hidrógeno con cloro.



En un proceso típico de cloruro de hidrógeno seco, este es pasado a un mezclador de vapor, para ser combinado con una proporción equimolar de acetileno seco. La presencia del cloro puede causar una explosión, por lo que se usa un dispositivo para detectar cualquier aumento de temperatura.

En tales circunstancias el cloruro de hidrógeno es automáticamente dispersado a la atmósfera. La mezcla de gases es enviada entonces a un reactor multitubular donde cada tubo es empacado con un catalizador de cloruro mercúrico en carbón activado.

La reacción es iniciada por calor, pero una vez que ha empezado tiene que aplicarse enfriamiento, para controlarla ya que es altamente exotérmica, de aproximadamente 90 - 100 °C. Además de la reacción principal, puede ocurrir las reacciones colaterales mostradas :



Los gases del reactor son entonces enfriados y sujetos a un lavado cáustico para mover el cloruro de hidrógeno no reaccionado.

Esto va seguido por un lavado con metanol, para remover el agua que se ha introducido durante el enjuague cáustico.

En la purificación final se eliminan aldehídos y dicloruro de etano, formados en reacciones secundarias.

El resultante cloruro de vinilo puro es almacenado en atmósfera de nitrógeno, en un tanque de acero inoxidable.

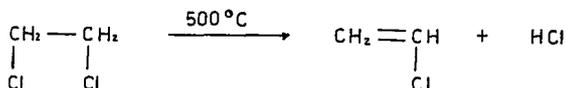
En años recientes, con el desarrollo de la industria petroquímica, ha habido un cambio del acetileno al etileno, en la manufactura del cloruro de vinilo.

El proceso comúnmente empleado involucra la formación de dicloruro de etileno, el cual es deshidroclorinado, para dar cloruro de vinilo. El dicloruro de etileno es producido por la reacción de etileno con cloro en fase líquida, con el empleo de un catalizador de fierro (cloruro de fierro a 30-50 °C).

El etileno puro no es estrictamente necesario y es posible pasar una mezcla de etano-etileno a través del reactor.

La reacción es exotérmica y es necesario conducirla a baja temperatura, ya que las cantidades de calor elevadas favorecen la sustitución de clorinación, para producir tri y tetracloroetanos.

El dicloruro de etileno es convertido en cloruro de vinilo, al calentarlo en un tubo de 300-600°C (normalmente 500°C). El vapor resultante, que es una mezcla de cloruro de vinilo, cloruro de hidrógeno y dicloruro de etileno es enfriada, para congelar el equilibrio. El cloruro de vinilo es recuperado por destilación.



En la ruta del acetileno se utiliza todo el cloro involucrado y en la ruta del etileno la mitad del cloro es consumido en la formación de ácido clorhídrico.

La ruta del etileno es la más económica normalmente, ya que el etileno es más barato que el acetileno y también el ácido clorhídrico puede emplearse por sí mismo al usarlo en la producción de cloruro de vinilo, por la vía del acetileno.

En un proceso las rutas del etileno y del acetileno han sido combinadas.

La corriente (una mezcla de acetileno-etileno), es enviada primero a un reactor de hidroclorinación, donde el acetileno presente reacciona para dar cloruro de vinilo. Este es sacado de la corriente y el gas remanente, que consiste de etileno y diluyentes inertes, es pasado a un reactor de lecho fijo, en el cual se obtiene el dicloruro de etileno, que produce por desintegración térmica el cloruro de vinilo y ácido clorhídrico.

Las ventajas potenciales de este método son la disponibilidad de usar una mezcla y el hecho de que el ácido clorhídrico formado en una fase del proceso, puede ser usado en la otra parte.

Uno de los procesos más conocidos es el de la compañía B.F. Goodrich Chemical, Co., el cual produce tanto el monómero de vinilo como el dicloruro de etileno (DCE).

#### Descripción

El cloruro de vinilo es producido por pirólisis térmica de dicloroetano de acuerdo a la siguiente ecuación:



La alimentación de DEC para esta operación es suministrada por dos fuentes. En la primera, el etileno y el cloro reacciona en proporciones estequiométricas para producir DEC por adición directa:



En la segunda fuente el etileno reacciona con el HCl, elaborado de la operación de pirólisis térmica, para obtener DCE por oxihidrocloración:



La oxihidrocloración se realiza en el lecho fluidizado de un catalizador impregnado de cloruro de cobre. Condiciones especiales de proceso permiten utilizar un reactor de acero al carbón, sin riesgo de corrosión.

Los productos de la reacción son específicamente recuperados por condensación, en la primera unidad de recuperación y por absorción, en la segunda unidad. El HCl que no reacciona es descargado con el agua de la reacción como una corriente del HCl diluido (menos que el 1%) el cual es fácilmente neutralizado. El calor de reacción es eliminado por la generación de vapor.

En la unidad de cloración directa el calor de reacción es eliminado con agua de enfriamiento. El DCE resultante crudo de la unidad de oxihidrocloración y la recirculación del DCE, de la unidad de pirólisis se mezclan. La corriente mezclada es entonces fraccionada, para eliminar las pequeñas cantidades de contaminantes de bajo y alto punto de ebullición.

El DCE purificado es pirolizado en un horno a temperatura y presión elevadas. Los gases efluentes calientes son rápidamente agotados y destilados, para eliminar primero el HCl y luego tener el cloruro de vinilo.

El DCE no reaccionante es retornado a la purificación de DCE, para eliminar pequeñas cantidades de contaminantes.

### 1.3 Polimerización

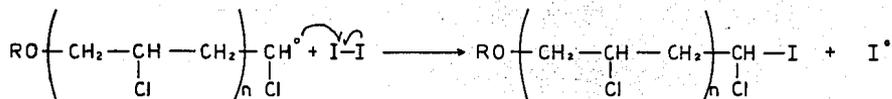
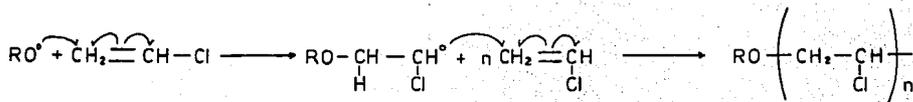
En la práctica comercial el cloruro de vinilo es polimerizado por mecanismos de radicales libres, así como por procesos de suspensión, emulsión y masa. El proceso de polimerización-solución es de menor importancia comercial.

---

Aunque la polimerización del cloruro de vinilo se lleva a cabo primordialmente por el mecanismo de radicales libres, existe también la polimerización catiónica, en menor grado.

Ambas se describen a continuación:

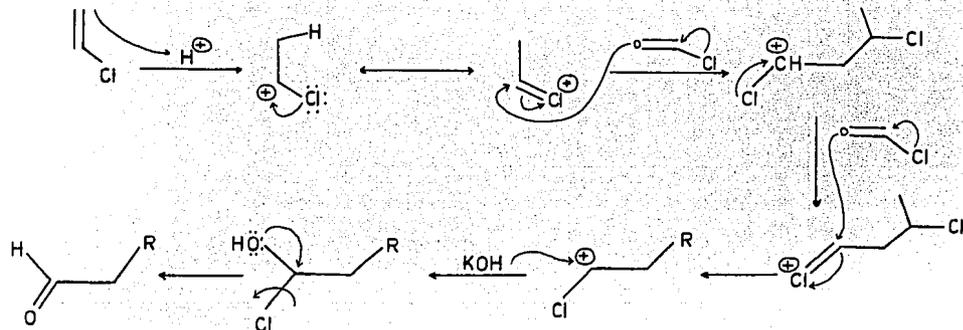
### Mecanismos por Radicales Libres



### La Polimerización Catiónica.

Esta se realiza en presencia de ácidos de Lewis y explica la selectividad con la que el polímero crece.





### 1.3.1 Polimerización en masa.

Es heterogénea, ya que el polímero es insoluble en el monómero. La reacción es autocatalizada por la presencia de polímero sólido, mientras que la concentración del iniciador tiene poco efecto en el peso molecular.

Se cree que esto es debido al efecto de fatiga de las reacciones de transferencia del monómero en la cadena larga.

El desarrollo de Pechiney-St. Gobain es un proceso de dos pasos:

El primer paso se lleva a cabo como un líquido, a una conversión de aproximadamente 15%, mientras que la segunda etapa se efectúa como un polvo que toma la conversión de 80 a 85%.

La presencia de dos pasos permite considerable flexibilidad para el proceso. Las características de las partículas son determinadas por la operación de la primera etapa y el peso molecular promedio por la segunda fase.

Al principio de los años setentas por lo menos 30 compañías, esparcidas en todo el mundo, habían obtenido licencias para operar este proceso.

---

Este procedimiento proporciona polímeros muy puros, pero bastante polidispersos, pues al hacerse la masa viscosa se entorpece la agitación óptima y por consiguiente el calentamiento ya no es uniforme. El producto logrado es un polvo arenoso blanco, con un tamaño de partícula de 80-200 micras. Algunas de las ventajas que ofrece esta polimerización pueden ser:

- 1) El uso de un equipo simple y de más baja inversión.
- 2) Reacción rápida y buena producción
- 3) Polímero de alta pureza, con buena estabilidad térmica y excelente transparencia.

En cuanto a las desventajas se pueden mencionar:

- 1) La agitación del medio se dificulta, debido a que cuando el polímero es soluble en el monómero la viscosidad se incrementa considerablemente en el transcurso de la reacción.
- 2) La dificultad de eliminar el calor de la reacción de polimerización.

Los glóbulos de PVC en masa se distinguen de los de la polimerización en suspensión por la ausencia de protector coloidal. Además, el glóbulo de PVC en masa cuenta con diámetros entre 80 y 200 micras, está constituido por gránulos de 0.15 micras, arreglados por yuxtaposición directa o isotrópica.

Para explicar esta microestructura, es necesario examinar qué sucede en el curso de la polimerización en masa dentro del cloruro de vinilo y durante la formación del glóbulo del polímero.

La reacción es del tipo de polimerización de radicales libres. El iniciador es generalmente un peróxido orgánico soluble en monómero.

Como la polimerización es continua la concentración de las partículas aumenta por la asociación de la cadena de polímeros, lo cual da origen a los gránulos. El gránulo es la partícula visible más pequeña en el glóbulo de PVC, bajo el microscopio electrónico. La dimensión promedio de estos gránulos en el tiempo de su formulación es alrededor de 0.1 micras.

El número de gránulos no cambia durante la reacción de polimerización, pero su diámetro se incrementa alrededor de 0.9 a 1 micras, cuando el rango de conversión del monómero es cercano al 30%.

---

---

Por analogía con la cristalización, la probabilidad de fijación de la partícula, alrededor de la superficie sólida, es mayor que la posibilidad de formación de nuevos glóbulos. El crecimiento de los gránulos es provocado por la adhesión de nuevas cadenas de polímeros a su superficie, por una reacción de transferencia con el polímero.

La polimerización continúa una segunda etapa de asociación, esta vez a expensas de la yuxtaposición de gránulos, formados en las fases siguientes de la polimerización.

La polimerización continúa con la desaparición del monómero libre, por fuera del glóbulo (la concentración del polímero es alrededor del 20%). Entonces el medio toma progresivamente la apariencia de un polvo seco (la concentración del polímero es alrededor del 40%).

La polimerización se lleva a cabo en uno y dos pasos. La de un paso es una reacción que se lleva a cabo enteramente en el mismo reactor. Una polimerización de dos pasos es sucesivamente realizada en dos tipos de reactores diferentes.

a) Polimerización en un paso:

Esta técnica ha sido utilizada por quienes han tratado de alcanzar la polimerización en masa de cloruro de vinilo, tanto en el laboratorio como en escala industrial. En todos los casos han sido empleados aparatos convencionales y esto es la causa principal de que se presenten problemas.

Este tipo de reacción muestra las siguientes peculiaridades:

1. Empieza en un medio líquido homogéneo de muy baja viscosidad.
2. La etapa final es esencialmente una fase sólida, en lo que el monómero de CV es absorbido por los glóbulos de PVC.

Las mayores dificultades son:

1. En caso de mala agitación de la fase sólida, existe la posibilidad de la coagulación del producto y también la probabilidad de una reacción incontrolable.
-

2. En caso de una mala adaptación de la agitación de la fase líquida se adquiere un polímero de baja densidad aparente y una gran distribución del tamaño de partícula.

**b) Polimerización en dos pasos:**

Las principales objeciones a la polimerización en masa de CV son de dos tipos:

1. Tecnológico: hay una dificultad en la reacción, la cual empieza en un medio líquido de  $0.9 \text{ g/cm}^3$  de densidad y termina en un medio sólido, con una densidad aparente de 0.5.

2. Estructural: las resinas obtenidas tienen más frecuencia en la distribución del tamaño de la partícula y una baja densidad aparente.

El primer paso es realizado en un medio esencialmente líquido y es una fase de formación de glóbulos.

El paso es corto, los glóbulos son constituidos tan pronto como el 3% del CV es polimerizado. Sin embargo, es indispensable que la cohesión de estos glóbulos sea suficiente y por esta razón es necesario un 7% de conversión.

El segundo paso es una fase de crecimiento de glóbulos.

La fase inicial llamada "prepolimerización" es realizada en una autoclave vertical de acero inoxidable.

Las condiciones de agitación tienen una influencia preponderante sobre la determinación de la estructura del glóbulo, por lo que se ha encontrado que un movimiento muy turbulento es esencial para obtener glóbulos esféricos de alta densidad. Un buen flujo del medio en la reacción es también indispensable. Fue preciso equipar la "prepolimerización" con una turbina y deflectores, para impedir la formación de vórtices en el medio de muy baja densidad.

El volumen de los reactores industriales es de alrededor de  $8 \text{ m}^3$ .

---

### 1.3.2 Polimerización en suspensión.

Las polimerizaciones de suspensión son generalmente fáciles de controlar. Existe algo de pérdida en claridad o propiedades aislantes eléctricas.

La forma de la partícula, tamaño y distribución de tamaño pueden ser controladas al cambiar el sistema de dispersión y agitación.

Además, las sales buffer como el fosfato de sodio y de hidrógeno pueden usarse para prevenir la caída del pH de la fase acuosa, durante la polimerización.

Se pueden emplear pequeñas cantidades de un agente antiespumante para reducir la espumabilidad, cuando se descarga el reactor al final del proceso de polimerización.

El alcohol polivinílico se utiliza como un reemplazo parcial del coagulante (gelatina). El tricloroetileno es un agente solvente transparente, para controlar el peso molecular.

En desarrollos recientes de polímeros de "fácil proceso", las partículas porosas son acumuladas con más agentes suspensorios complejos, como copolímeros de acetato de vinilo-anhídrido maleico y/o ácidos grasos de glicerol, etilenglicol ó pentaeritrol.

Al aplicar la fórmula anterior, el agente dispersor es primero disuelto en un peso conocido de agua y adicionado al reactor. El resto del agua, el peróxido y el modificador son añadidos al mismo, el que es sellado y evacuado a 0.93 Atm. Entonces se añade el cloruro de vinilo.

En algunos casos el nitrógeno presurizado, libre de oxígeno, puede ser usado para forzar el monómero dentro del reactor. Este es entonces cerrado y calentado a 50°C. A través de la elevación de la temperatura, se desarrollará una presión de aproximadamente 100 libras/pulg<sup>2</sup> ( 7 Atm ) en el reactor. A medida que la reacción procede, la temperatura es mantenida hasta que la presión empieza a caer, debido al consumo del monómero.

Cuando la presión ha caído a 10-20 Lb /pulg<sup>2</sup> (0.68-1.36 Atm ) el exceso de monómero es sacado y la mezcla enfriada, descargada y secada, generalmente por un secador rotatorio ó un sistema secador Ventury. El producto es controlado por tamaño de partícula, por análisis de malla y también por el color, contaminación y viscosidad, en una solución diluyente. Otras pruebas pueden ser realizadas para determinar factores como el aislamiento eléctrico y grados de pasta.

---

---

Los tipos de agentes de suspensión y las cantidades empleadas afectan el tamaño de partícula y la distribución de partículas, la porosidad y la configuración de las mismas. Estos aspectos fijan el comportamiento de la resina en cuanto a la absorción de plastificante, densidad aparente y procesabilidad del compuesto.

### *1.3.3 Polimerización en emulsión*

La polimerización en emulsión fue el primer método que se desarrolló industrialmente y el único usado por el Reino Unido para producir PVC, hasta 1944. Las patentes británicas, sobre la polimerización en emulsión del PVC, aparecen a partir de 1933 y están basadas en las aplicaciones obtenidas por Alemania en años anteriores.

En este proceso la polimerización del monómero se obtiene a partir de una dispersión, relativamente estable, en agua y el producto resultante es una suspensión constante o "látex", de partículas muy finas del polímero en el líquido. La dispersión del monómero se logra por agitación de la fase acuosa, que tiene un agente emulsificante disuelto.

Existe mucha información sobre la polimerización en emulsión la cual ha sido publicada principalmente en forma de patentes, sin detallar las especificaciones y procedimientos que son usados actualmente por los fabricantes. De este modo aparecen sólo trabajos que señalan los efectos de varios iniciadores y activadores que actúan sobre la velocidad de polimerización. Se han publicado muy pocos datos precisos acerca de sistemas de iniciación, usados actualmente. Hasta hace poco se han divulgado algunos agentes emulsificantes, así como ciertas condiciones que prevalecen en la reacción.

Es cierto que la selección del sistema de iniciación tiene un profundo efecto sobre la velocidad de polimerización, así como en los tiempos de ciclaje y con esto la salida de productos para un tamaño de reactor dado. Simultáneamente, las condiciones de agitación, agentes emulsificantes y otros ingredientes, en medio acuoso, pueden tener un efecto muy marcado en las partículas del polímero y en la estabilidad del látex obtenido.

La proporción empleada del monómero en el agua está limitada por consideraciones de transferencia de calor, ya que entre más grande sea esta relación mayor será la temperatura involucrada en la polimerización y más grande la cantidad de calor que deba extraerse del sistema de reacción hacia las paredes del reactor, para mantener una temperatura específica de reacción. Otra restricción sobre la cantidad del monómero empleado está en la necesidad de

---

---

producir una determinada cantidad de polímero y también sobre la concentración del monómero. Este, parece estar máximo, alrededor del 95 %, en la fase acuosa.

En la polimerización en emulsión el iniciador empleado es generalmente soluble en agua y para este propósito son comúnmente usados un álcali metálico o persulfatos de amonio, posiblemente activados por un agente de reducción de solubilidad en agua como dióxido de azufre, sulfito de sodio, bisulfito de sodio, hidrosulfito de sodio, tiosulfito de sodio, etc. La selección del sistema de iniciación y su concentración determina la velocidad de polimerización y la selección de la temperatura de reacción.

#### Agentes aniónicos de superficie activa

Son más comúnmente usados como agentes emulsificantes. Otros materiales descritos como adecuados incluyen álcalis metálicos o sales de amonio de ácidos grasos de cadena larga, sulfonatos y sulfatos tales como palmitatos, oleatos y estearatos de sodio y amonio, sulfato de sodio y compuestos similares, sales de alquil sulfosucunatos y ácidos sulfónicos de aquilbenceno, citrato de dionil amonio, fosfitos y fosfatos dialquílicos de sodio, copolímeros de vinil-alquil éter y acetato de vinilo y resinas solubles de formaldehído. Los agentes emulsificantes necesitan estar presentes en una concentración que exceda la concentración crítica de las miselas. Una receta típica promedio podría ser, en porcentaje de peso:

Agua	100	%
Agentes emulsificantes	0.5 - 1.00	%
Sal Buffer	0.05 - 0.10	%
Persulfato de amonio	0.05 - 0.25	%
Hidrosulfito de sodio	0.00 - 0.20	%
Monómero de cloruro de vinilo	55 - 90	%

Para un proceso intermitente, la fase acuosa de agente emulsificante e iniciador (posiblemente sales alcalinas y buffer para el control de pH) se disuelve en una cantidad apropiada de agua, para las cargas en un reactor a presión.

---

---

La mayor parte del aire es eliminado del reactor, por medio de una descarga con nitrógeno o con monómero y el cloruro de vinilo es entonces cargado bajo presión, al tiempo que se agita. La temperatura seleccionada por medio de agua de enfriamiento, a través de la envolvente del reactor. Esta alcanzará una presión cerca de 2 a 10 ATM. y consecuentemente la presión de carga del monómero estará arriba de estos valores, cerca de 5-15 ATM.

Como en los procesos de polimerización hay una caída de presión, debido a la reducción de la cantidad de monómero de cloruro de vinilo presente, podrá seguirse el avance de la polimerización por los cambios que se registren. La conversión es bien tomada hasta el final. El tiempo requerido depende de la temperatura, la concentración y la naturaleza del iniciador. Sin embargo, bajo condiciones favorables, es posible llegar a tener períodos cortos de aproximadamente 6 horas o menos. Al tiempo seleccionado, el reactor es venteado, para recuperar el monómero no polimerizado y el látex es descargado. Después se enfría por circulación de agua, a través de la chaqueta del reactor.

#### *1.3.4 Polimerización en solución*

Es el método menos usado. Involucra una polimerización en un medio solvente con precipitación en varios niveles de peso molecular, por el uso de diferentes solventes.

Es posible efectuar una reacción más regular. El polímero puede ser soluble en el disolvente o precipitar a partir de ciertos grados de polimerización. En este último caso, da polímeros con buena homogeneidad, desde el punto de vista de los grados de polimerización. Este método exige una cantidad de disolventes bastante importante, para limitar la viscosidad del medio, el solvente debe ser eliminado. Además existe la ventaja de que se limita la temperatura de reacción, con el punto de ebullición del disolvente. Al operar con solventes de bajo punto de ebullición se obtienen polímeros de peso molecular muy elevados, en reacciones muy exotérmicas.

Este tipo de polimerización se emplea sobre todo cuando el polímero final va a ser aplicado en forma disuelta, como por ejemplo, en adhesivos y barnices.

---

---

## CAPÍTULO 2

### *Compuestos de PVC y aditivos comunes.*

Existen muchos tipos de plásticos que se pueden procesar y transformar tal y como se obtienen después de su polimerización y algunos otros en los que es indispensable agregarle algún producto para poder transformarlo o modificar sus propiedades.

Este material conocido como "Aditivo para plástico", lo podemos definir como cualquier sustancia que se le adiciona al polímero con el fin de modificar sus propiedades físicas, químicas, eléctricas o reológicas. El objetivo de modificar estas propiedades es: facilitar su procesamiento en máquina y proporcionarle al producto final las características de diseño especificadas.

Existe una gran variedad de aditivos que se utilizan en los plásticos, por lo que es de suma importancia conocerlos tanto en su variedad como en su aplicación, ya que de ello dependerá la obtención de un artículo de óptima calidad y al mejor costo.

Las propiedades más importantes que se analizan en un plástico serían las siguientes:

Gravedad específica, dureza, esfuerzo a la tensión, porcentaje de elongación, módulo al 100%, flexibilidad a baja temperatura, estabilidad al calor, estabilidad a la luz, envejecimiento con el calor, resistencia a la migración, resistencia al rasgado, resistencia a la compresión, propiedades eléctricas, resistencia al impacto, distorsión al calor, toxicidad, resistencia a la humedad, resistencia a aceites, grasas y gasolinas, resistencia a la abrasión, resistencia a agentes químicos, resistencia a la flama, apariencia y procesabilidad.

Estas propiedades van a variar dependiendo de la aplicación a que serán destinados los productos.

Cuando a un polímero se le agrega un aditivo se le conoce como "COMPUESTO", en el caso que nos interesa, será conocido como "COMPUESTO DE PVC".

Un compuesto de PVC es preparado por incorporación de dos tipos de aditivos: básicos y complementarios.

---

---

Los aditivos básicos son aquellos estrictamente indispensables para tener un compuesto, aunque no necesariamente cumple con ciertos requisitos. Dichos aditivos son:

- Estabilizador al calor.
- Lubricantes.

Como aditivos complementarios están todos aquellos que se incorporan a un compuesto, para conferir determinadas características o propiedades y son entre otros, los siguientes:

- Modificadores de impacto.
- Cargas.
- Estabilizadores a la luz UV.
- Retardantes de flama.
- Modificadores de flujo.
- Pigmentos.
- Antioxidantes.
- Antiestáticos.
- Plastificantes.
- Desmoldantes.
- Espumantes.
- Fungicidas.
- Refuerzos.
- Solventes.

La parte más importante de un compuesto, es la resina, se sabe que en el PVC la resina de suspensión y la de masa, se emplean para compuestos, las resinas de emulsión están destinadas a la preparación de plastisoles y las resinas de solución se utilizan para recubrimientos especiales.

Dentro de los aditivos que se pueden agregar al PVC hay algunos que son especiales para un compuesto rígido y otros para un compuesto flexible, el PVC es un plástico muy versátil ya que se pueden obtener productos muy diversos, además de que es compatible con casi todos los aditivos que existen.

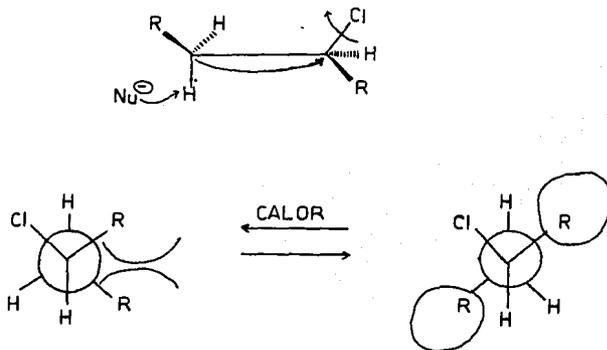
---

### 2.1 Estabilizador al calor

Todos los polímeros de vñilo son degradados por el calor y la luz, por lo que la principal función de un estabilizador al calor es prevenir la decoloración durante el procesamiento.

Aún cuando no se ha comprendido el mecanismo exacto de la degradación, se acepta generalmente que involucra la eliminación de ácido clorhídrico, seguida por la oxidación.

Si el calor es el agente principal ocurre lo primero, pero sí es la luz UV el agente primordial de degradación, sucede lo segundo.



La eliminación de una molécula de ácido clorhídrico deja una estructura insaturada. Ello provoca una acción catalítica, resultante de la eliminación de más moléculas de ácido clorhídrico.

Normalmente, el nivel de degradación que aparece durante el procesamiento no afecta otras propiedades físicas. La decoloración se inicia con una pérdida de HCl, menor de 0.1%.

Los estabilizadores al calor para PVC tienen en común la facultad de reaccionar con el HCl a medida que es liberado del polímero, durante la degradación. La pérdida de cualidades térmicas del PVC se inicia con el desprendimiento de HCl, a una temperatura de aproximadamente 93°C. La velocidad de degradación se incrementa rápidamente al aumentar la

temperatura. El color cambia de blanco a amarillo, después a un tono canela y café, hasta café rojizo y finalmente a negro.

La disminución de propiedades en presencia de oxígeno puede producir peróxido, hidroperóxido y estructura de puentes de oxígeno, los cuáles se disocian para formar radicales libres y provocan una aceleración de la degradación. El oxígeno, tiene un efecto blanqueador sobre el PVC degradado, el cual es activado por la presencia de luz UV. El cambio de color se atribuye al rompimiento de estructuras conjugadas insaturadas por puentes de oxígeno, escisión de cadenas, carbonilos, ésteres y otros cambios.

Requisitos para un estabilizador:

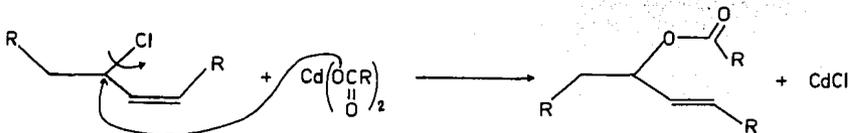
- a) Debe ser un receptor de HCl, a medida que éste es liberado del polímero. El producto de la reacción del HCl y el estabilizador debe ser insoluble, excepto en compuestos transparentes y preferentemente neutro.
- b) Debe ser compatible con la resina y con los otros aditivos del compuesto.
- c) Debe inhibir el inicio de degradación por calor o por la luz.
- d) Debe tener propiedades antioxidantes, para inhibir la oxidación y la formación de grupos carbonilos.
- e) Debe ser preferentemente no tóxico.

Como es obvio suponer, difícilmente puede encontrarse un estabilizador que reúna todas las características mencionadas. Sin embargo, la elección del estabilizador apropiado consistirá en decidir cuáles de los requisitos mencionados son importantes, en una determinada aplicación, para lo cuál se tomará en cuenta aspectos como: disponibilidad, costo, procesabilidad, etc.

Clasificación de los estabilizadores comerciales:

Pueden clasificarse en primarios, cuando su efectividad permite usarlos como ingrediente estabilizador único. Los secundarios sólo son efectivos cuando se usan en combinación con estabilizadores primarios.

Ejemplo del efecto de un estabilizador térmico:



Un problema subsecuente es la formación del  $\text{CdCl}_2$ , el cual origina degradación. Es función del componente bario(Ba) para reaccionar con él, para regenerar mas carboxilato de cadmio (Cd).

Los estabilizadores primarios los podemos encontrar en base a:

### 1) PLOMOS:

- Ventajas.- Bajo costo, buena propiedad eléctrica, baja absorción de agua, fuerte poder estabilizador.
- Desventajas.- Manchantes, tóxicos y carecen de transparencia.
- Usos.- Aislamiento de conductores eléctricos, espumas.
- Tipos comunes.- Sulfato tribásico de plomo, estearato dibásico de plomo, fosfato dibásico de plomo, ftalato dibásico de plomo, estearato dibásico de plomo, maleato tribásico de plomo, salicilato de plomo, fosfito dibásico de plomo y complejo orgánico de plomo.

### 2) ORGANICOS DE ESTAÑO:

- Ventajas.- No manchante, transparencia cristal, excelente color inicial, fuerte poder estabilizador, aprobado para ciertos empaques de alimentos (solo los tipos especiales de octil estaños).
- Desventajas.- Costo, toxicidad (excepto ciertos octil estaños).
- Usos.- Compuestos flexibles tanto transparentes como opacos.
- Tipos comunes.- Maleato de dibutil estaño, dilaurato de dibutil estaño, polímero demaleato n-octil estaño.

### 3) MERCAPTUROS DE ESTAÑO:

Ventajas.-	Fuerte poder estabilizador, transparencia cristal, buen color, no manchante.
Desventajas.-	Estabilidad a la luz deficiente, costo elevado, olor desagradable, toxicidad.
Usos.-	Piezas inyectadas.
Tipos comunes.-	Lauril mercapturo de dibutil estaño, isoctil tioglicolato de butil estaño, mercaptopropionato de dibutil estaño.

### 4) BARIO-CADMIO-ZINC:

Ventajas.-	No manchante (cuando se incluye zinc), buen control de color, excelente estabilidad a la luz UV (muchos tipos).
Desventajas.-	Tóxico, transparencia de regular a pobre, se puede presentar plate-out (1), y exudación.
Usos.-	Productos calandreados, mangueras, película.
Tipos comunes.-	Líquidos: 2etilhexoato de bario, nonilferato de bario, 2etil hexoato de cadmio, 2etil hexoato de zinc. Sólidos: lauratos y estearatos de Ba-Cd-Zn.

### 5) CALCIO-ZINC:

Ventajas.-	No tóxico, no manchante.
Desventajas.-	Carencia de buena transparencia, bajo poder estabilizador.
Usos.-	Empaques de alimentos.
Tipos comunes.-	Estearatos de calcio y zinc.

Estabilizadores Secundarios:

### 6) EPOXIDADOS:

Ventajas.-	Efectivo en mezclas sinérgicas (2), estabilizadores a la luz, no tóxico (aceite de soya epoxidado).
Desventajas.-	Inadecuado para rígidos.
Usos.-	En compuestos flexibles, particularmente aquellos expuestos a la luz solar.
Tipos comunes.-	Aceite de soya epoxidado, aceite de linaza epoxidado.

## 7) FOSFITOS:

Ventajas.-	Efectivo en mezclas sinérgicas, no tóxico (ciertos tipos).
Desventajas.-	Puede hidrolizar en contacto con agua.
Usos.-	Utilizados para mejorar transparencia en sistemas de estabilizadores que contengan Ba-Cd y Ca-Zn.
Tipos comunes.-	Fosfato de difenil décilo, fosfito de fenil dodécilo.

(1) "PLATE-OUT".- Se refiere al depósito de una película por un compuesto en proceso, sobre la superficie de moldes, rodillos de calandrias, etc. Esto es objetable durante los cambios de color en procedimientos de moldeos o calandreo.

(2) MEZCLAS SINÉRGICAS.-Se dan cuando tenemos dos sustancias que vamos a mezclar, y que en vez de haber una mezcla de sus propiedades, se mejoran las de las dos sustancias, dando un mejor efecto.

## 2.2 Lubricantes

La Lubricación de un compuesto de PVC es uno de los aspectos más importantes que deben tomarse en cuenta al prepararlo, sobre todo en el caso del PVC rígido. Para elegir el sistema de lubricación adecuado es necesario considerar el tipo de lubricante, cantidad o nivel de engrase y el equipo de transformación que va a utilizarse para procesar un determinado compuesto.

El propósito principal que se persigue al añadir un lubricante a un compuesto es para facilitar el procesamiento y permitir un control del proceso de transformación.

Los lubricantes se dividen en externos e internos. Los primeros engrasan las superficies metálicas de moldes y equipos de transformación, con lo que se previene que el compuesto se pegue o estanque en algún punto del husillo de una extrusora o una inyectora. Un exceso de lubricante puede producir deslizamiento y reducir el esfuerzo cortante (shear force). Los lubricantes internos afectan las propiedades de fricción de la superficie de la partícula de resina, durante la elaboración y permiten mantener el control sobre la fusión de resina. Esta inspección es utilizada para prevenir sobrecargas en el equipo.

Muchos lubricantes muestran propiedades de lubricación tanto interna como externa. Entre los lubricantes más usados están el ácido esteárico y los estearatos metálicos, así como los aceites minerales y vegetales, polietileno de bajo peso molecular, ceras, etc. Es posible emplear

---

los estearatos metálicos de plomo, bario, cadmio, calcio, y otros con el doble propósito de que actúen como lubricantes y estabilizadores.

Los niveles de lubricación usados varían de 0.25 a 1.0 pcr (Partes por cada cien partes de resina en inglés se abreviaría como PHR). En compuestos flexibles uno de los lubricantes más usados es el ácido esteárico, en una proporción de 0.25 a 0.5 pcr. En algunas aplicaciones de compuestos rígidos, como ajustes de nivel de lubricación del orden 0.1 % pueden tenerse efectos profundos de comportamiento. El nivel óptimo de lubricación debe ser determinado durante la operación real del equipo de transformación.

La aplicación de un exceso de lubricante es factible que produzca migración del mismo hacia la superficie (bloming) con lo que afecta adversamente la decoración y el termosellado.

Los lubricantes utilizados en el nivel correcto proporcionan buen brillo superficial y lubricidad. Sus propiedades requeridas son bastante claras: deben tener una limitada compatibilidad con el compuesto, es necesario que no sean afectadas por el calor y la luz y no deben alterar el color, transparencia, toxicidad y el olor del producto.

Durante la preparación de un compuesto los lubricantes se añaden al final del ciclo de mezclado, para evitar interferencia con la absorción del plastificante y el estabilizador.

#### Lubricantes Internos:

-Estearatos.-	de Calcio
	de Plomo
	de Zinc
	de Aluminio
	de Bario
	de Cadmio
	de Litio
	de Magnesio
	de Sodio
	de Estaño

- Esteres de Glicerina
- Esteres de ácidos grasos
- Amidas de ácidos grasos
- Acidos grasos

---

### Lubricantes Externos:

- Ceras parafinicas
- Ceras de petróleo
- Ceras polietilénicas
- Mezclas especiales de ceras

### 2.3 Modificadores de Impacto

El PVC rígido durante su uso normal se encuentra abajo de su  $T_g$  (3) y puede sufrir fractura quebradiza, cuando se sujeta a impacto. La resistencia al choque es de suma importancia para aplicaciones tales como botellas, tubería, piezas inyectadas, aplicaciones del hogar, productos exteriores de construcción, etc. Es posible detener la fractura quebradiza, al interrumpir la propagación de grietas o cuarteaduras iniciadas por el choque. La resistencia al impacto es la capacidad de absorber sacudidas sin fractura. Se ha encontrado que la inclusión de una fase ahulada disminuye la propagación de grietas, debido a las posibilidades del hule a deformar y disipar la energía de impacto.

La adición de plastificante mejora la resistencia al impacto, mediante el ablandamiento. Sin embargo, esto es satisfactorio solo para sistemas flexibles. Los modificadores, aumentan la resistencia al choque, sin impartir blandura o flexibilidad. Las resinas comerciales empleadas como modificadores de impactos incluyen: copolímeros acrílicos, resinas ABS, polietileno clorado, copolímero etilén-vinil-acetato y copolímero de ester fumárico. Los niveles establecidos para resultados satisfactorios varían de 10 a 20 per.

*(3)  $T_g$  = significa "glass transition temperature" o temperatura vltrea de transición, abajo de la cual los polímeros se encuentran en estado quebradizo vídrioso. Arriba de esta temperatura los polímeros presentan gran resistencia, flexibilidad y resistencia al impacto. El valor  $T_g$  para el PVC es de 2°C.*

### 2.4 Cargas

La adición de cargas a los compuestos de PVC, es con el fin de: reducir su costo, mejorar la resistencia de aislamiento en compuestos para cable, opacidad, resistencia a la luz UV, incremento de la dureza, control de brillo, resistencia a la deformación por calor, reducción de plate out y la pegajosidad a los rodillos de calandrias, las propiedades físicas y químicas mejoran con la aplicación de cargas.

En contraste, se tienen inconvenientes que varían considerablemente con el tipo de carga utilizada. En cualquier caso, las desventajas con todas las cargas se hacen más notables cuando se incrementa su contenido en un compuesto. Entre esos inconvenientes se encuentra una reducción de la resistencia a la tensión y al desgarre, así como de la elongación. Así mismo, disminuye su fortaleza a la abrasión, su resistencia química y al agua.

Con alto contenido se reduce el brillo y pueden presentarse problemas de reblandecimiento. Se ha encontrado que las características abrasivas de las cargas, con tamaños grandes de partícula, desgastan los equipos de transformación. Las cargas también incrementan la viscosidad de fusión.

#### Requisitos para una carga:

- a) Debe poseer un alto grado de uniformidad.
- b) Necesita estar libre de impurezas que puedan afectar las propiedades o color del compuesto. Así mismo, no tienen que ser abrasivos.
- c) El tamaño de partícula debe ser pequeño (no más de 3 - 5 micras) y uniforme.
- d) Buenas propiedades de procesamiento fácil de dispersar y no causar pegajosidad en los rodillos de molinos o calandrias.
- e) Bajo nivel de absorción de plastificante.
- f) No debe afectar la estabilidad del compuesto.

#### Características de las cargas:

- a) **Absorción de aceite.-** La absorción de plastificante se incrementa con la finura y varía de acuerdo con los tipos de cargas y plastificantes.
  - b) **Propiedades eléctricas.-** Se ha observado que la resistencia eléctrica de compuestos de PVC se mide por el empleo de arcillas calcinadas, a un nivel de 10 al 15%, ya que el proceso de calcinación elimina impurezas que podrían afectar a esta propiedad.
  - c) **Impurezas.-** La presencia de fierro o zinc en una carga va en detrimento de la estabilidad al calor de un compuesto, lo que da por resultado una decoloración durante el procesamiento. Las impurezas de azufre pueden ocasionar manchando, con estabilizadores de cadmio y plomo.
-

- d) **Transparencia.**- El uso de cargas con un tamaño de partícula fino y con un índice de refracción cercano al del PVC, pueden producir compuestos con cierto aspecto translúcido. Las cargas con altos índices de refracción tienden a formar compuestos opacos.

### *2.5 Estabilizadores a la luz*

El PVC se degrada por exposición continua a la luz solar. La primera señal de degradación es la decoloración, aunque se presentan también cambios en sus propiedades como son: fragilidad y reducción o pérdida de la resistencia a la tensión.

Para que aparezca la degradación, la energía de los fotones de la luz debe ser equivalente o mayor que la de unión de las moléculas. La degradación esta en función de la intensidad de radiación, longitud de onda, ángulo de exposición, dirección de exhibición y tiempo.

La temperatura, humedad y hongos también ejercen una influencia importante. En presencia de oxígeno la degradación puede ocurrir con menor energía de radiación. En forma similar a la estabilidad térmica, el efecto del oxígeno es severo.

Como consecuencia de los cambios estructurales en el PVC por la degradación, se altera la compatibilidad de los ingredientes de un compuesto. El resultado puede ser exudación y pérdida de propiedades físicas, en productos pigmentados la degradación puede presentarse, en un principio, sobre la superficie únicamente.

Los estabilizadores UV absorben radiaciones de este tipo, en los rangos en que daña a los plásticos, con lo que se protege al material de los efectos de esos rayos. La energía absorbida es disipada sin causar daño, mediante desarrollo de calor. Entre los tipos de absorbedores más comúnmente empleados se encuentran la benzofenonas y los benzotriazoles. Su nivel de aplicación varía de 0.01 a 0.05 pcr.

La estabilidad a la luz puede mejorarse mediante el empleo de pigmentos como el bióxido de titanio y el negro de humo. Los plastificantes epoxidados y los fosfitos se han usado con resultados satisfactorios.

---

---

### *2.6 Retardantes de flama*

El PVC es autoextinguible, por su alto contenido de cloro. Las propiedades de "no inflamabilidad" son generalmente bajas, cuando se tiene más de un 25% de plastificante inflamable. Los ésteres de fosfatos se usan en combinación con otros plastificantes, para retener las propiedades de retardación de flama, en proporción de 10 a 20 pcr.

El óxido de antimonio es ampliamente empleado en PVC de 1 a 3 pcr, principalmente cuando no son satisfactorias las propiedades de baja temperatura de los fosfatos.

Este es un campo de continuo desarrollo, debido al interés de proporcionar a los plásticos una adecuada resistencia al fuego para usarlos en casas, edificios públicos, instalaciones industriales y militares.

### *2.7 Modificadores de flujo*

Se les llama también ayudas de proceso, son materiales plásticos agregados principalmente para mejorar condiciones de proceso. Se les considera como plastificantes sólidos, con baja viscosidad de fusión y buena compatibilidad con el PVC. La reducción de la viscosidad de fusión de un componente acelera el procesamiento y las operaciones de postformado.

Las ayudas de proceso mas ampliamente usadas son: acrílicos, ciertas resinas de ABS y polietileno clorado.

Se recomiendan usarlas a niveles de 1 a 5 pcr. Entre sus ventajas podría señalarse las siguientes: disminuye la temperatura de proceso, fusión más rápida y completa, reducción de las imperfecciones en las superficies, incrementa el brillo, reduce el plate out, etc.

### *2.8 Pigmentos*

Los compuestos de PVC se presentan en diferentes colores, por la incorporación de pigmentos y colorantes. Estos últimos son sustancias orgánicas solubles en el compuesto. Su uso en PVC y otros termoplásticos es limitado y solo se utilizan en muy bajas concentraciones. Sus principales desventajas son su tendencia a emigrar, su fácil extractividad y su pobre resistencia al calor. Los pigmentos se dividen en las siguientes categorías:

---

**a) Inorgánicos.-**

Este grupo incluye al bióxido de titanio (rutílico y anastasio), óxido de cromo, azul ultramarino, molibdato naranja. Estos pigmentos se caracterizan por su excelente resistencia al calor, bajo costo en comparación con los orgánicos y alta opacidad. Debido a su insolubilidad resisten el sangrado, la migración y la extracción.

Igualmente, poseen buena estabilidad a la luz y favorable resistencia a la intemperie, baja absorción de plastificante y son dispersados con facilidad. Son más recomendables para aplicaciones opacas.

**b) Orgánicos.-**

Incluyen ftalocianinas, quinacridonas, y bencidinas. Aún cuando se venden a un precio mayor que los inorgánicos, generalmente son pigmentos más intensos y con gravedad específica menor, lo cual tiende a reducir la diferencia por concepto de precio. Los pigmentos orgánicos cuentan con una excelente brillantez, su transparencia es superior a los inorgánicos, particularmente cuando se emplean partículas finas de tamaño de menos de una micra y a bajos niveles. Sus propiedades dieléctricas son superiores a las de los inorgánicos, pero su resistencia al calor es menor.

Los orgánicos presentan mayor valor de absorción de plastificante. Muestran la tendencia a migrar, si se ponen en contacto con una superficie que ejerza un efecto solvente. Así mismo, puede haber migración hacia la superficie, mediante la exhudación de plastificantes, lubricantes y otros aditivos.

Los pigmentos orgánicos también exhiben mayor tendencia hacia el plate out.

Sangrado es la migración del pigmento de la superficie de un plástico hacia otro, con el cual está en contacto.

---

---

### 2.9 Antioxidantes

Algunos estabilizadores al calor también actúan como antioxidantes. La protección requerida por el PVC no es tan grande como la de otros plásticos, que contienen altos niveles de insaturación. Los plastificantes pueden requerir protección, particularmente cuando están sujetos a altas temperaturas, como en aislamiento de conductores eléctricos.

En este caso, se ha encontrado que el bisfenol A es un antioxidante efectivo para tal aplicación, por lo que se usa normalmente a un nivel de 0.25 pcr.

### 2.10 Antiestáticos

Muchos plásticos, entre los que se incluye el PVC, son deficientes conductores eléctricos y por ello tienden a mantener cargas estáticas. La conductividad de los plásticos decrece al disminuir la temperatura y la humedad, lo cual da por resultado problemas más severos de estática. Las cargas estáticas provocan la atracción de polvo y partículas extrañas.

La incorporación de agentes antiestáticos internos producen mayor conductividad y hacen posible el flujo de las cargas. Los tipos externos son aplicados a la superficie del plástico, después de su fabricación.

Los agentes antiestáticos internos y externos son muy similares a los lubricantes, y los niveles de estos deben de ser considerados, cuando se adicionan antiestáticos internos. Las proporciones de estos varían de 0.5 a 1.5 pcr, de acuerdo a las necesidades y al tipo de compuesto.

### 2.11 Plastificantes

Los plastificantes son líquidos de bajo punto de ebullición o sólidos de reducido peso molecular, que modifican las propiedades físicas y de procesamiento del PVC. Han sido definidos como materiales que cuando se adicionan a un polímero, disminuyen la acumulación de fuerzas intermoleculares o de Van der Waals, mediante la introducción de un plastificante, incrementa la flexibilidad, blandura y elongación. Se mejora la maleabilidad a baja temperatura de procesamiento y la viscosidad del material fundido. En resumen, modifica su aspecto, propiedades y condiciones de proceso, en función de la cantidad presente de plastificante.

---

Los plastificantes se dividen en primarios y secundarios; de acuerdo a su poder de solvatación y afinidad con el PVC. Los primarios presentan la facultad de solvatar al PVC y mantiene la compatibilidad al envejecimiento, cuando se emplea dentro de ciertos límites. Los secundarios muestran características limitadas de solubilidad y compatibilidad, por lo que no pueden ser utilizados como plastificantes únicos en una formulación. El nivel de plastificante que puede ser incorporado depende del tipo y cantidad del primario presente, así como el grado de incompatibilidad del secundario.

Los plastificantes pueden dividirse además por su peso molecular en monoméricos y poliméricos. Los primeros generalmente están compuestos de mono, di y triésteres, los cuales se producen a partir de alcoholes monohidroxilicos con ácidos o anhídridos tales como el ftálico, adípico, fosfórico, sebásico, cítrico, benzoico, etc., cuyo peso molecular generalmente es menor de 500.

Los poliméricos son elaborados a partir de ácidos adípicos, sebásico o azelaico, con propilen o butilen glicol. Su peso molecular va desde 500 hasta más de 2000. La eficiencia de plastificación es pobre, pero su volatilidad y resistencia a la migración son superiores a los de los monoméricos.

#### Tipos de Plastificantes:

**a) Ftalatos.-** Estos plastificantes son producidos por esterificación a partir del anhídrido ftálico, con alcoholes que van desde el metílico hasta el tridecílico. Estos tipos son los de mayor uso en la actualidad. Los ésteres de menor longitud de cadena como el dietil y el dibutil, presentaron excelente poder de solvatación, pero su volatilidad es alta y sus propiedades de baja temperatura pobres. Los ésteres con cadena de longitud media como el DOP (dioctilftalato) poseen magníficas peculiaridades de eficiencia de plastificación y poder de solvatación, así como buenas cualidades de baja temperatura y volatilidad. Los ésteres con cadenas de mayor longitud como el DIDP y el DTDP (diisodécilftalato y ditridécilftalato) muestran bajo poder de solvatación y eficiencia, pero su volatilidad es baja. El coester BBP (butilbencilftalato) es importante por sus aplicaciones en loseta y para usos en donde se requiera alto poder de solvatación.

**b) Fosfatos.-** Son ésteres orgánicos producidos a partir de ácido fosfórico. El tricresil fosfato (TCP) fue uno de los primeros plastificantes utilizados para el PVC.

---

Los fosfatos proporcionan resistencia a la flama y tienen buen poder de solvatación y compatibilidad. Sus ventajas son: reducida flexibilidad a baja temperatura, baja estabilidad al calor y a la luz. Por lo que respecta a sus desventajas, la principal es su elevado costo.

**c)Plastificantes para baja temperatura.-** Los adipatos, azelatos y sebacatos, dan a los compuestos de PVC flexibilidad a baja temperatura, debido a su reducida polaridad y a su estructura alifática. Los sebacatos presentan la menor volatilidad. Sin embargo, están limitados a aplicaciones especiales por su alto precio.

El elevado costo de los plastificantes para aplicaciones a baja temperatura permite usarlos mezclados con otros plastificantes. Otras limitaciones son la volatilidad de los adipatos y la inadecuada compatibilidad de los azelatos y sebacatos.

**d)Epoxidados.-** Los aceites epoxidados de soya y linaza, así como los estearatos epoxidados, pueden ser utilizados como plastificantes y estabilizadores de calor, ya que poseen propiedades sinérgicas con los estabilizadores primarios como son los jabones de bario, cadmio y calcio. Son también efectivos estabilizadores a la luz. Su compatibilidad mejora con altos niveles de epoxidación y mínimo contenido de hidroxilos. Los epóxidos de aceite de soya y linaza son de peso molecular alto, presentan baja volatilidad y buena resistencia a la extracción.

**e)Trimetilatos.-** Estos plastificantes, derivados del anhídrido trimelítico, tiene muchas de las ventajas de los plastificantes poliméricos y monoméricos. Muestran baja volatilidad, buenas propiedades a bajas temperaturas, resistencia a la extracción, baja viscosidad y eficiencia relativamente buena. Su alto costo y limitada disponibilidad restringen su uso y aplicaciones especiales como aislamiento de conductores eléctricos y compuestos no empañantes para autos.

**f)Poliésteres.-** Estos plastificantes de alto peso molecular son producidos a partir de ácidos dibásicos como el adípico, azelaico y sebásico, con propilen glicol u otros glicoles. Su peso molecular se encuentra comprendido entre 1000 y 7000.

Presentan valores mínimos en cuanto a volatilidad, extracción y migración. Los poliésteres se utilizan comúnmente mezclados con ftalatos o plastificantes de baja temperatura. Entre sus aplicaciones más importantes, se encuentran: aislamiento de conductores para alta temperatura, tapicería, vestuario, empaque para refrigeradores, etc.

---

### 2.12 Desmoldantes

Como su nombre lo indica estos aditivos facilitan la separación o extracción de la pieza moldeada, del molde correspondiente. Estos aditivos se pueden utilizar incorporados al polímero o por aplicación directa al molde.

Los desmoldantes que se utilizan son:

1. Silicones
2. Estearatos
3. Ceras
4. Soluciones de polialcohol vinílico

### 2.13 Espumantes

Los agentes espumantes son productos químicos que se descomponen por el calor o químicamente, desprendiendo gases como nitrógeno o bióxido de carbono, el cual es atrapado en el seno del polímero, dando como resultado una estructura fina celular. El proceso así como el agente espumante varía de acuerdo al tipo de polímero, por lo que se tienen los siguientes agentes espumantes:

1. Axodicarbonamida
2. Azodicarbonamidas modificadas
3. Cloruro de metileno
4. Mezclas con fluorocarbono para uretanos

### 2.14 Fungicidas

Los homopolímeros y copolímeros del cloruro de vinilo no están sujetos a deterioro microbiológico. Ciertos plastificantes, lubricantes y estabilizadores usados en los compuestos sí son susceptibles de ataque por parte de hongos, bacterias y otros microorganismos, cuando dichos ingredientes sirven como nutrientes. Debe considerarse la necesidad de proteger el material contra agresiones microbiológicas, para su aplicación en climas húmedos y calientes.

Los ftalatos, fosfatos e hidrocarburos clorados son resistentes al ataque. Los adipatos, azelatos, sebacatos, epoxidados, poliméricos y lubricantes son susceptibles al asalto de

microorganismos. Los materiales utilizados incluyen mercaptanos, compuestos cuaternarios de amonio, compuestos de arsénico y cobre, etc. Su nivel de administración varía de 0.1 al 5 % en base a la concentración del plastificante.

### *2.15 Refuerzos*

Son el alma para algunos tipos de plásticos, y son utilizados para mejorar las propiedades mecánicas, tales como resistencia al impacto, a la tensión y a la compresión. El más común es la fibra de vidrio.

### *2.16 Solventes*

Son la parte volátil de la formulación y su función es disminuir la viscosidad a resinas líquidas viscosas para facilitar su proceso de aplicación, ya sea por brocha, aspersión o inmersión.

---

---

## CAPÍTULO 3

### *Cargas en los Plásticos*

Las cargas son materiales que se agregan a los polímeros, para modificar propiedades originales y/o reducir sus costos.

Cuando son usados otros polímeros sintéticos, se habla de "modificadores".

Por lo que se refiere a los materiales fibrosos, ya sea tejidos ó no (en forma de malla), se tratan en los puntos relativos a Modificadores de Impacto y Fibras de Vidrio.

Las cargas son probablemente los aditivos más empleados en los polímeros. Se usan en casi todos los plásticos, tanto termoplásticos como termofijos, en hules naturales, sintéticos y en recubrimientos.

En el caso de los recubrimientos, las cargas se conocen como "pigmentos extensores".

Algunas de las cargas más empleadas por su tipo de aplicación son:

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| 1) En termoplásticos.-      | Predominantemente cargas inorgánicas; por ejemplo: carbonato de calcio y arcilla.     |
| 2) Plásticos termofijos.-   | Principalmente cargas orgánicas como harina de madera y borra de algodón.             |
| 3) Pigmentos de extensión.- | Cargas inorgánicas: arcilla, talco, carbonato de calcio, sílica y silicato de calcio. |
-

---

Algunos de los problemas a los que se enfrenta un procesador, en su primer intento, se refiere primordialmente al poco entendimiento que hay de la relación existente entre la propiedad que se desea modificar y la selección correcta de la carga para tal fin.

Otro problema consiste en la falta del equipo necesario para incorporar estos materiales en forma óptima.

El uso de las cargas por primera vez, se remonta a la aplicación de negro de humo como agente de refuerzo en hule, a principios de siglo. Con esto pudieron producirse llantas para automóvil y otros productos más duraderos.

Una razón muy importante para su empleo, es la reducción de costos que trae consigo la selección de la carga adecuada. Por lo tanto, el primer paso será realizar un estudio técnico - económico, para determinar la viabilidad de utilizar una carga específica.

Uno de los usos más recientes de las cargas, es para satisfacer ciertas especificaciones bastante complejas, requeridas por el producto terminado, como son el poder ser magnetizada (la carga), proporcionar lubricación en accesorios plásticos y dar cierta conductividad térmica y eléctrica a los plásticos. Claro está que estas cargas son especiales para cada uso, lo que se refleja en su precio (en muchos casos son más caras que el polímero).

### *3.1 Tipos de Cargas*

Las cargas se dividen en Inorgánicas (Minerales) y Orgánicas.

Algunas divisiones, dentro de estos dos grandes grupos, se deben a una clasificación basada en el tipo químico de los materiales.

A continuación se presenta la tabla 3.1 donde se enlistan algunas cargas de acuerdo con la clasificación anterior.

---

**Tabla 3.1 Tipos de Cargas.**

SILICATOS	Arcilla, Talco, Mica, Asbesto, Feldespato, Vermiculita, Silicato de Calcio (Precipitado), Silicato de Magnesio (Precipitado).
OXIDOS	Oxido de Aluminio, Alúmina Hidratada, Oxido de magnesio, Oxido de zinc, Tierra de diatomácea, Silica, Hidrogel y aerogel.
CARBONATOS	Carbonato de calcio, Carbonato de bario (Precipitado), Carbonato de magnesio (Precipitado).
SULFATOS	Sulfato de bario, Sulfato de Calcio.
CARBON	Negro de humo, Grafito.
METALES	Alambre, Polvos de Cobre, Polvos de Aluminio, Polvos de bronce, Polvos de plomo, Polvos de zinc, Polvos de acero.
HIDROXIDOS	Hidróxido de calcio, Hidróxido de magnesio.
MISCELANEOS	Ferrita de bario, Maquetita (óxido férrico-ferroso), Disulfuro de molibdeno, Vidrio.
CARGAS ORGANICAS	Materiales como liquidina, Corteza molida, Liquidina procesada, Materiales protémicos, Querina (pluma molida), Soya poco molida, Materiales celulósicos, Harinas de madera, Harinas de cáscaras, Celulosa, Borra de algodón, Sisal, Yute.

PANORAMA PLASTICO. NUM 29. AÑO 5 (MODIFICACION)

### 3.2 Manufactura (Obtención)

**Cargas Minerales.-** En la manufactura de cargas, a partir de recursos minerales, se involucran pasos básicos como:

- a) Reducción de tamaño (Molienda).
- b) Clasificación.
- c) Tratamiento de la Superficie.

Las rocas seleccionadas son partidas y molidas ya sea en seco ó con humedad, después se tamiza para escoger las partículas y reciclar los materiales de tamaño inadecuado. En caso

---

de que la carga vaya a usarse como Extensor de Pigmentos, se le da un tratamiento a la superficie con un ácido graso y otro material, para aumentar su dispersión.

**Cargas Inorgánicas Sintéticas.**- Las cargas precipitadas, se producen generalmente al hacer reaccionar el hidróxido con una fuente apropiada del radical aniónico; por ejemplo, el carbonato de calcio precipitado, se fabrica al pasar  $\text{CO}_2$  a través de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (hidróxido de calcio), finalmente se junta el precipitado que es lavado y secado.

**Sílicas.**- Se obtienen por dos procesos:

a) Se mezcla una solución de silicato de sodio y ácido mineral, para dar un hidrosol de sílica, que se deja gelificar y se lava. Cuando el hidrosol se seca por medios térmicos se llama Hidrogel. Si se desplaza el agua por medio de un solvente como alcohol, antes de secar, el producto se hace más poroso y menos denso y se llama Aerogel.

b) Se mezcla tetracloruro de silicio con gas natural y aire y se quema en condiciones que den por resultado vapores o humo de sílica pura. Este producto está formado por esferas muy pequeñas y se llama Sílica Pirogenica.

**Materiales Pulverizados.**- Para pulverizar los metales se usa:

- Atomización de metales fundidos.
- Electrólisis.
- Reducción de óxidos.
- Molienda tradicional.

**Harinas de Madera y Cáscaras.**- En ambos casos se usa la molienda. Las harinas de madera tienen un carácter fibroso, provienen de maderas suaves como el pino y el abeto.

Las cáscaras empleadas son de nuez y cacahuete, que no son de tipo fibroso.

**Borra de algodón.**- Se obtiene por maceración y desfibrado de material para confección de desperdicio. A menudo se trata para reducir la absorción de agua por el plástico.

---

### 3.3 Interacción Polímero-Carga

Los tipos de interacción polímero-carga pueden ser:

1. Inclusión física simple de las partículas de carga en una matriz de polímero no polar. En este caso, la carga se esperaría que debilitara el polímero porque funcionará sólo como diluyente.
2. Inclusión física de la carga en una matriz de polímero, con la incorporación de la carga al polímero.
3. Adhesión física del polímero a la superficie de las partículas de carga. Su efecto es de reforzamiento global.
4. Establecimiento de enlaces químicos entre el polímero y las partículas individuales de la carga.

De estas interacciones se ha encontrado que el primer caso es bastante raro, ya que puede observarse que las cargas endurecen por lo general al sistema polimérico.

El segundo caso es importante, cuando se busca reducir los costos de las cargas y éstas se usan como extensores de pigmentos (en recubrimientos).

Los dos últimos casos son los más importantes, cuando lo que se busca es el reforzamiento de un plástico a través de una carga.

Factores que influyen en la interacción polímero-carga.

**a) Geometría de la partícula:** Se ha comentado que el efecto de una carga, agregada a un polímero, es el de causar dureza. El grado de endurecimiento producido a una concentración en un volumen de carga dado, es función directa del área superficial de la carga, que está determinada por tres parámetros: Tamaño de partícula, Forma de partícula y porosidad de la partícula. Se ha demostrado que el aumento en dureza, con disminución en el tamaño de partícula, es lineal para cargas menores de 0.2 micras de diámetro de partícula promedio. Esa misma relación se encontró para la resistencia a la tensión y la elongación.

**b) Fracción Volumétrica:** Como las cargas varían en densidad, es más significativo tratar con concentraciones en volumen. Se ha observado un cambio marcado en las propiedades

---

de polímeros "reellenos", a una fracción volumétrica crítica; por ejemplo: en los recubrimientos se tiene el concepto de la concentración crítica de volumen de pigmento (cpvc) y la representa el contenido en volumen de pigmento, donde existe suficiente carga para llenar los huecos entre partículas de pigmento. Una fracción volumétrica mayor que cpvc nos da como resultado una resistencia a la tensión menor y una mayor porosidad.

**c)Otros :** Entre estos se pueden citar la facilidad de incorporación de la carga por el polímero (mojado) y la facilidad de dispersión de la carga.

Para mejorar el primer aspecto se usan algunos agentes químicos, con el propósito de perfeccionar su calidad y aumentar su adhesión. El segundo aspecto es importante, puesto que la presencia de aglomerados va en detrimento del polímero.

Esta interacción polímero-carga, se puede explicar auxiliandonos con la termodinámica. Se sabe que todos los sistemas tienden de manera espontánea a alcanzar el equilibrio.

De las funciones termodinámicas que se conocen, se eligió la energía libre de Gibbs, ya que nos proporciona un criterio para interpretar los estados de equilibrio a temperatura y presión constantes. La mezcla polímero-carga, se lleva bajo estas condiciones.

El cambio de la energía libre de Gibbs, se define por medio de otras funciones termodinámicas, a temperatura constante, según la siguiente expresión:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Donde:       $\Delta G$     cambio de la energía libre de Gibbs.  
               $\Delta H$     cambio de la entalpía.  
              T        temperatura.  
               $\Delta S$     cambio de la entropía.

Cuando un proceso es irreversible,  $\Delta G < 0$ .

Al hacer una mezcla, se busca que exista una compatibilidad termodinámica para formar soluciones moleculares que permanezcan estables, entonces:

$$\Delta G_s = \Delta H_s - T\Delta S_s,$$

$$\Delta G_s < 0$$

---

Donde:  $s$  = significa que son propiedades de la mezcla.

Para que esto se cumpla se debe tener:  $T\Delta S_s > 0$

por lo tanto  $\Delta H_s$  debe balancear la igualdad, entonces su valor deberá tender a cero o lo más pequeño posible.

Aplicando la teoría de soluciones reales, tomamos el parámetro de solubilidad de Hildebrand ( $\delta$ ), que es un indicador de solubilidad y compatibilidad, denominado en algunas ocasiones como parámetro de cohesión.

Tomando además la simplificación hecha por Hildebrand y Scatchard donde el solvente y soluto son relativamente del mismo tamaño de tal forma que la entropía es ideal o máxima y la solubilidad se ve controlada principalmente por  $\Delta H_s$ , tendremos que:

$$\Delta H_s = n_1 \phi_2 v_1 (\delta_1 - \delta_2)^2$$

Donde:

$n_1$ =	fracción molar del solvente (adimensional).
$\phi_2$ =	fracción volumen del soluto (adimensional).
$v_1$ =	volumen molar de la solución (cm <sup>3</sup> /gramo).
$\delta_1, \delta_2$ =	parámetros de solubilidad del solvente y soluto respectivamente (cal/cm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> .

De ahí que para la estimación de la compatibilidad observamos que  $(\delta_1 - \delta_2)^2$  tiene mucho significado, ya que si  $(\delta_1 - \delta_2)^2$  se acerca a cero,  $\Delta H_s$  se acerca también a cero.

Por lo que tenemos entonces:

$$\Delta G_s = \Delta H_s - T\Delta S_s$$

Si  $\Delta H_s < 0$  la disolución se lleva a cabo.

Si  $\Delta H_s > 0$  deberá ser  $< T\Delta S_s$  para que la disolución se lleve a cabo.

### 3.4 Usos

Hay muy pocas limitaciones a la combinación de cargas y polímeros. El uso comercial de las cargas pueden ir de uno ó dos porciento, para reducir el brillo de un recubrimiento, hasta un 80 % de asbesto y piedra caliza finamente molidos, en el caso de un material usado como revestimiento de pisos.

A menudo se habla de "Plásticos Compuestos" (Composites en Inglés) al referirse a sistemas de materiales formados por dos o más tipos de componentes, que son diferentes incluso insolubles uno en el otro. En esta denominación se incluyen los plásticos rellenos y reforzados, los laminados, etc.

Los termofijos "rellenos" con fibras discontinuas largas, son más resistentes al impacto y más fuertes que otros elaborados con cargas fibrosas muy cortas o en forma de partículas pequeñas. La primera carga, aún utilizada en compuestos de moldeo, es la harina de madera, empleada en resinas fenólicas, así como la urea-formaldehído y la melamina-formaldehído.

El uso de estas cargas les imparte buenas propiedades eléctricas, aumenta su resistencia al impacto, controla el encogimiento y disminuye el costo. En función de la resina empleada, estos compuestos pueden ser ligeramente cafes o de color más obscuro. Una precaución muy importante a considerar es que la temperatura de procesamiento y moldeo debe mantenerse por debajo de los 160 °C, pues a esta temperatura la harina se carboniza.

### 3.5 Harinas de Cascaras

Tienen menores propiedades de impacto que las de madera, por no ser de carácter fibroso. Sin embargo, permiten un mejor flujo durante el moldeo y en el caso de la harina de cáscara de nuez, aumenta el brillo y la resistencia a la humedad.

Para incrementar la resistencia al impacto se reemplaza parte de la harina por borra de algodón, tratada para disminuir la absorción de agua.

Las cargas se usan mucho con termofijos para encapsulados, adhesivos y selladores. En estos casos, como en los anteriores, la selección de la carga depende de la función y propiedad que desee modificarse.

---

---

La mayor parte de las cargas utilizadas en termoplásticos se usan en resinas vinílicas plastificadas, especialmente empleadas en recubrimientos para pisos. Algunas otras aplicaciones se dan en aislamientos eléctricos (resinas a base de PVC), productos moldeados y materiales de tapicería. Un uso más en este campo lo constituye el refuerzo de plásticos, destinados a aplicaciones estructurales ó mecánicas, mejor conocidos como "Plásticos de Ingeniería".

Los plásticos como nylon, policarbonato, acetales, polipropileno y fluorados se usan cada vez más como sustitutos de metales, por sus excelentes características de resistencia.

Las mejoras en sus propiedades, cuando se añaden fibras en ellos, son muy grandes e incluyen:

- a) Mayor resistencia a la tensión.
- b) Menor coeficiente de dilatación térmica.
- c) Mayor temperatura de servicio.
- d) Mayor dureza.

Los tipos de cargas que se usan como pigmentos extensores, son los materiales inorgánicos finamente divididos, tanto naturales como sintéticos. Sus funciones son:

- a) Reducción de costo.
- b) Mejora propiedades de aplicación.
- c) Aumentar la opacidad.
- d) Controlar el carácter superficial y la resistencia de la película de recubrimiento.
- e) Controlar los asentamientos de pigmentos.
- f) Controlar la viscosidad.

Los pigmentos extensores son: carbonato de calcio, baritas, silica, talco, asbesto, mica y arcilla.

---

---

### 3.6 Efecto de las cargas sobre las resinas

**1. Aumento del módulo de flexión:** Su crecimiento está dado por la naturaleza y morfología de la partícula de carga, así como por la cantidad empleada. El talco y la mica dan mayor módulo de flexión que el carbonato de calcio, por su morfología de placas.

**2. Reducción del esfuerzo de tensión:** Lo provoca la falta de homogeneidad. Depende del grado de incorporación de la carga al polímero (mojado). Debe revisarse el tipo y la cantidad de la carga.

**3. Aumento de la estabilidad dimensional y reducción:** Una fase mineral rígida dispersa en el polímero sirve como esqueleto, al reducir el encogimiento y la deformación.

**4. Aumento de la conductividad térmica:** Como la carga generalmente tiene una conductividad térmica mayor que el polímero, su presencia aumenta esta propiedad, lo cual se refleja en velocidades de producción mayores.

**5. Aumento de la viscosidad del material fundido:** Las propiedades de flujo de un polímero se modifican con las cargas. El aumento en la viscosidad varía de acuerdo al sistema carga-polímero. En general, mientras menor sea el tamaño de la partícula, mayor será la viscosidad.

**6. Aumento de propiedades eléctricas:** Las cargas minerales, como el caolín calcinado, se usan en aislantes. Para obtener mayor conductividad se usan polvos metálicos ó negro de humo. La adición de silanos aumenta la resistencia a la humedad.

**7. Mejorar el procesamiento:** Se agrega carga a los compuestos, para que presenten una acción limpiadora durante el procesamiento. Sin ellos, el equipo debería pararse con frecuencia para ser limpiado. El carbonato de calcio es una carga ideal para este propósito.

---

---

## CAPÍTULO 4

### *La nuez y su cáscara.*

#### *4.1 Nueces*

Generalmente se entiende por nueces o frutos de almendra los que tienen una sola semilla, oleosa y comestible, encerrada en una cáscara leñosa y dura. Morfológicamente, estos frutos son drupas o frutos muciformes, como el hayuco, la nuez de mantequilla, la castaña, la avellana, la nuez del nogal blanco americano, la pacana y la nuez europea. En sentido más amplio se estudian como frutos de almendra, otros frutos de pepita y aun tubérculos que tienen cubierta dura que contiene aceite o almidón, como la nuez del Brasil, el cacahuete, la chufa, el coco, el piñón y el pistache. Los frutos de almendra son cultivados principalmente para alimentación y para obtener aceites, y algunos se emplean en Medicina, ornamentación y otros usos.

#### *4.2 Características Físicas*

Los frutos de almendra difieren considerablemente en forma y estructura: la almendra puede ser única y firme, como en la bellota, la castaña, el coco, la avellana, la macadamia, el piñón, el pistache y el tung; formada en dos "mitades", como la nuez y la pacana; varias semillas agrupadas dentro de una cáscara exterior como en la nuez del Brasil, o extrañamente formada en el exterior de la parte carnosa del fruto, como en el anacardo (nuez de acajú).

El fruto puede tener una cúpula ó cascabillo, como la bellota, o un zurrón espinoso, como el erizo de la castaña, con involucro laciniado, como la avellana, o una cúpula cuadrífida espinosa como en el hayuco. La corteza de la pacana y de la nuez del nogal blanco americano tiene suturas y se hiende en cuatro partes en la madurez, en tanto que la de la nuez del nogal europeo y la macadamia está entera. Las nueces del Brasil y del paraíso son verdaderas semillas, envueltas en un fruto seco hueco que contiene cierto número de nueces triangulares. La cáscara que encierra la pepita es una estructura celular dura de vario espesor; algunas se rompen fácilmente, como en la nuez europea, la pacana mejorada, la almendra (fruto del almendro), la castaña, la avellana, el cacahuete y el pistache.

---

---

Las nueces americanas, la nuez del Brasil, el coco, la macadamia y la nuez de acajú tienen cáscara que sólo puede romperse mediante un fuerte golpe. La nuez de acajú tiene doble cáscara, que contiene aceite acre de naturaleza fenólica y de importantes usos industriales.

### *4.3 Composición Química*

La mayor parte de las nueces o frutos de almendra se caracterizan por su elevado contenido de aceite y de proteínas y bajo porcentaje de carbohidratos; pero en algunos frutos ocurre lo contrario, como en la bellota, la castaña, la chufa, el ginkgo y la castaña de agua. Ciertas nueces, como la nuez de acajú, contienen notable cantidad de almidón y mucho aceite. En el caso del ginkgo, es en la pulpa del fruto donde está el aceite.

Al final del capítulo se encuentra la tabla 4.1 donde se muestra la composición de cada fruto; la porción comestible (almendra), y la cáscara.

**Proteínas:** El contenido en proteínas de la mayor parte de las nueces comestibles es más bien elevado, y cuando se emplean como alimento, las nueces suministran suficientes cantidades de algunos aminoácidos esenciales para el crecimiento y sostenimiento de los tejidos del cuerpo.

**Aceite:** La mayor parte de las nueces tienen gran cantidad de aceite alrededor de 60% y llega hasta 76% en algunas variedades de pacana. Normalmente el aceite está contenido en el embrión de la semilla, pero se halla principalmente en el endospermo del coco, la palma y los piñones; y en la carne del fruto del ginkgo.

**Carbohidratos:** Son azúcares reductores, sacarosa, rafinosa, manitol, dextrina, pentosanas, amiloide, almidón, celulosa y gomas. Otras materias que no son proteínas ni grasas son los taninos, las ceras y las resinas.

**Componentes de las cenizas:** Las nueces son buena fuente de elementos minerales esenciales en la nutrición, entre ellos el cobre, manganeso, hierro y azufre.

**Vitaminas:** La mayor parte de las nueces contiene buena provisión de vitaminas A y B1, pero ordinariamente faltan las demás.

**Componentes Químicos:** Son importantes compuestos de fósforo orgánico la fitina y los lípidos, lecitina y cefalina.

---

---

**Glicósidos y alcaloides:** Las saponinas son glicósidos amorfos, solubles en el agua, las soluciones hacen espuma fácilmente y reducen la tensión superficial.

**Taninos:** Son sustancias astringentes amorfas que dan colores (tintas) con las sales férricas y precipitan la gelatina de sus soluciones. Hidrolizados por los ácidos, dan azúcar (d-glucosa) e hidroxiácidos. El tanino es la conversión de un gel hidrofílico en un gel relativamente no hidrofílico, en este proceso ocurren fenómenos físicos y químicos.

**Componentes Tóxicos:** El tegumento de la semilla del hayuco europeo contiene una sustancia tóxica. Otras sustancias tóxicas que podemos encontrar en distintas nueces son: bario, ácido anacárdico, aceite fenólico pardo obscuro, juglona (5-hidroxi-1,4-naftoquinona).

#### *4.4 Producción*

Algunas de las semillas de nueces son preparadas para el mercado y para obtener algunos productos, son peladas (separación de la piel, y membrana que cubre la parte carnososa blanca) en plantas beneficiadoras. Es por esto que la cáscara representa una cantidad considerable de basura.

Al final de este capítulo encontraremos la tabla 4.2, donde se muestra la producción de 1960 a 1991.

#### *4.5 Usos*

Las nueces se emplean principalmente como producto comestible y van al mercado con cáscara o sin ella, según lo requiera la demanda. Las nueces más populares con cáscara son las pacanas mejoradas o con piel delgada, la nuez de nogal europeo, la avellana, la almendra, el cacahuete y el pistache. Las semillas saladas y tostadas son las anteriores, la nuez de acajú, la macadamia y la pignolia. Las nueces se emplean mucho como ingredientes en pasteles, tortas, dulces y otros productos. Se hacen productos como manteca de cacahuete, manteca, pasta y polvo de almendra. Se extraen aceites para especialidades y se elaboran con nueces muchos productos de comida y repostería. El pistache, la nuez europea, la pacana y la almendra se emplean en los helados. Las harinas de nueces son un buen suplemento de la harina de trigo. La harina de cacahuete es un alimento sano y muy nutritivo.

---

El tung y la oiticica dan aceites secantes rápidos para la industria de pinturas y barnices; los aceites de coco, babasú y palma se emplean principalmente en la fabricación de margarina, jabón, crema para afeitar, cosméticos y otros productos domésticos. El aceite de nuez es excelente como secante y se emplea en la preparación de colores para los artistas. El aceite de cacahuete se emplea como lubricante, en la fabricación de nitroglicerina y en cremas para afeitar, champúes y cosméticos; es uno de los principales aceites para la fabricación de margarina y manteca de pastelería. El aceite de almendras dulces (40%) es transparente y consiste principalmente en trioleína; se usa en la preparación de jabones finos y cosméticos. Muchas nueces de árbol comestibles son alimentos de lujo, y la producción de sus aceites no es económicamente práctica excepto ante demanda de aceites especiales. Se ha publicado un extenso trabajo sobre utilización de las nueces y de los aceites de los huesos de las frutas y otro sobre la economía del aceite del tung.

Las nueces tienen otros muchos usos industriales y domésticos. La nuez de marfil o nuez de tagua es el material con que se hacen botones y artículos de tornería; la nuez de kola suministra ingredientes para una bebida popular en América, y el *Striclinos nux-vomica* proporciona un alcaloide tóxico, la estricnina, que tiene usos medicinales. La nuez de areca es usada en la India y en Malasia como masticatorio; ponen una rebanada en una hoja de betel (planta de pimienta) juntamente con una pizca de cal. La mezcla es acre y astringente, da color rojo a la saliva y ennegrece y destruye la dentadura. La nuez de areca contiene arecolina, muy usada en la práctica veterinaria para expulsar las tenias.

#### 4.6 Subproductos

**Aceite.**- Cantidades considerables de aceite se obtienen por expresión de los desechos del descascarado y tratamiento de las nueces. En este material de desecho se hallan las nueces deterioradas no comestibles y fragmentos de semillas recuperadas de las cáscaras; unas 300 toneladas de aceite de pacana y de 300 a 600 toneladas de aceite de nuez se producen anualmente de tales orígenes. Estos aceites se refinan y sirven para la alimentación o para fabricar jabones; la torta oleaginosa es un alimento para el ganado. Los aceites de los huesos producidos en gran escala para cosméticos; la producción anual del aceite de albaricoque es de unas 100 toneladas.

El aceite del acajú, cuando es obtenido por tratamiento con calor contiene aproximadamente 90% de cardanol (mezcla de fenoles de composición media  $C_{21}H_{32}O$ , resultante de la descarboxilación del ácido anarcárdico,  $C_{22}H_{32}O_3$ , y sus polímeros y aproximadamente 10% de cardol,  $C_{21}H_{32}O_2$ ). Productos de desecho, en un principio, de la industria de la semilla del

anacardo en el sur de la india, ha llegado a ser una materia prima valiosa en la manufactura de varios productos industriales. Condensado con el formaldehído y otros productos químicos, forma resinas, las cuales se emplean en la manufactura de forros de frenos, embragues y otras superficies de fricción, en barnices y revestimientos aislantes e impermeabilizantes al agua, en resinas de laminación, composiciones de moldeo, cementos a prueba de aceites y de ácidos, baldosas para suelos industriales, cilindros de máquinas de escribir y otros muchos productos. Los barnices hechos con estas resinas son resistentes a los ácidos y a los álcalis y poseen una gran resistencia a la acción reblandecedora de los aceites minerales; se emplean para papel de revestimiento en tapas de botellas y en otras muchas aplicaciones de aislamiento e impermeabilización. Polimerizado el líquido oleoso del acajú, se emplea como aislante en el inducido de magnetos en los aviones debido a su gran resistencia al calor, el tratamiento posterior del producto polimerizado con formaldehído, trixometileno, paraformaldehído o furfuraldehído a la temperatura ordinaria, por espacio de 24 a 72 horas, produce una resina sólida sustancialmente infusible que conserva gran poder aglutinante a elevadas temperaturas sin ablandarse. La hidrogenación de fenoles en el aceite produce muchos productos útiles, tales como disolvente para la rotenona en la preparación de insecticidas que no tiene nada de la acción vesicante del líquido original. El líquido oleoso de la cáscara de la nuez de acajú se usa también en la India para proteger la madera y el papel contra los termes y para impermeabilizar y conservar las redes de pesca, los productos textiles y la madera de construcción.

**Harina.-** La torta oleaginosa y su harina procedentes de la extracción del aceite de pacana, nuez, almendra y otras nueces, es corrientemente algo amarga, a causa de que contiene pellejos de la semilla y trozos de la cáscara; pero cuando está refinada puede emplearse en la industria de la repostería o más comúnmente en la alimentación animal. Las tortas y harinas de almendra, cacahuete, babasú, y otras semillas se emplean mucho para la alimentación del ganado. Las ovejas y las vacas digieren y utilizan 84 % de la materia seca y 92% del extracto no nitrogenado. Se han realizado intentos para hacer utilizable la castaña de indias, que contiene elevado porcentaje de almidón, pero la conversión del almidón por las enzimas o por fermentación se hace difícil por la presencia de 10 a 14 % de saponinas en la harina de las castañas.

**Cáscaras y cortezas.-** Los desperdicios de las cáscaras de las nueces, que provienen del descascarado y de las operaciones de tratamiento, tienen muchas aplicaciones. Las cáscaras de la pacana y de la nuez reducidas a harina de grano de varios tamaños, sirve como arenilla suave en la limpia a chorro de metales, como ingrediente en rellenos de plásticos, en cajas para baterías, en formas para moldear resinas y losetas industriales; como diluyente de insecticidas y para la limpieza de pieles en peletería. Los conos de los altavoces de radio hechos de harina de cáscara de nuez emiten mejor las vibraciones que los hechos de otros materiales. La harina

---

de cáscara de nuez se emplea como diluyente de insecticidas para la agricultura, contiene mucha lignina y 5% de cutina; ésta ayuda a la absorción y retención de los agentes tóxicos. El contenido en cutina reduce la absorción de la resina cuando la harina se emplea en resinas de moldeo, y la lignina ayuda a la cohesión del producto moldeado. Las dos en conjunción reducen la proporción de resina necesaria para hacer el compuesto de moldeo. Una cubierta práctica de pavimento se ha creado con una mezcla de aluminio, harina de cáscara de nueces, pigmento y materiales resinosos. Se aplica a una base flexible y el conjunto se cubre con materia colorante y un adhesivo para llenar los poros. En la industria de los plásticos, en Estados Unidos, se emplean anualmente alrededor de 2 millones de kilogramos de harina de cáscara de nuez, aproximadamente la mitad de la producción de esa harina. Se requiere maquinaria especial para la molienda y la transmisión del material pulverizado, ya que el polvo tiene el riesgo de explosión espontánea; este peligro ha sido dominado en gran parte aplicando una finísima rociada a la harina de las cáscaras a medida que sale del molino.

El desecho del descascarado de la pacana ha presentado posibilidades comerciales para la producción de aceite, tanino, harina de cáscara y carbón activo. Hay una fábrica en Texas, con capacidad para tratar 30 toneladas de cáscara de pacana por día, que produce 70,000 kg de tanino de 33% al mes. El ácido tánico producido con las cáscaras de la pacana en esa fábrica se emplea en la industria de curtidos y en la perforación de pozos de petróleo para regular la viscosidad de los lodos de perforación. La cáscara de la pacana da un carbón activo más eficaz para quitar los olores que otros carbones comerciales ensayados, y tan eficaz en poder decolorante como otros carbones vegetales cuando se ensaya con soluciones de materias colorantes o de caramelo. El carbón de cáscara de pacana se trata con ácido clorhídrico concentrado, se lava para dejarlo libre del ácido y se calienta en un horno eléctrico durante cuatro horas a temperatura de 800 y 1000°C en atmósfera de gas carbónico. Así activado, tiene el mismo poder decolorante sobre las soluciones acuosas de tintes azoicos que los otros carbones comerciales activados. Buena parte del carbon de cáscara de nuez se vende a los criadores de aves. Se emplea también en cierta extensión como filtrante para vinagre de alta graduación.

Se han hecho intentos para obtener colorantes amarillos y pardos de las cáscaras de avellana en escala comercial tratándolas con diferentes productos químicos; el sulfato de cobre y el ácido nítrico concentrado producen un color amarillo; el sulfato ferroso, un verde aceituna, y el amoníaco, un color rojo rubí. Se han descrito métodos para el teñido casero de algodón y de la lana con tintas naturales hechos con el ruezno de la nuez de mantequilla, del nogal blanco americano, de la pacana, de la nuez negra del Este y de la nuez europea.

---

**Tabla 4.1**  
**Composición de los frutos de almendra comestibles**

FRUTO DE ALMENDRA	CASCARA	ALMENDRA
Almendra dulce	45.00%	55.00%
Almendra tropical	82.00%	18.00%
Avellana	52.10%	47.90%
Avellana Americana	53.00%	47.00%
Bellota (roble)	20.00%	80.00%
Cacahuate	27.10%	72.90%
Castaña Americana	18.00%	82.00%
Coco	27.10%	55.10%
Hayuco	36.90%	63.10%
Lichi (seco)	41.60%	58.40%
Lunau (seco)	30.00%	70.00%
Macadamia	68.60%	31.40%
Nogal blanco americano	62.20%	37.80%
Nuez de Acajú	70.00%	30.00%
Nuez de Brasil	49.40%	50.60%
Nuez de mantequilla	86.40%	13.60%
Nuez negra oriental	78.00%	22.00%
Nuez de palma	87.00%	13.00%
Nuez del paraíso	45.70%	54.30%
Nuez persa (inglesa)	55.00%	45.00%
Pacana	48.00%	52.00%
Pignolia	49.00%	51.00%
Pili	81.50%	18.50%
Piñón	41.90%	58.10%

PEANUTS J. AND NUT WORLD. (MODIFICADA)

**Tabla 4.2**  
**Producción de nuez encarcelada en México**

AÑO	PRODUCCION ESTIMADA ( TONELADAS )	SUPERFICIE COSECHADA ( HECTAREAS )
1960	6,000	1,000
1961	6,000	1,000
1962	5,000	1,000
1963	6,000	1,000
1964	6,000	1,000
1965	9,000	2,000
1966	10,000	2,000
1967	9,000	2,000
1968	10,000	2,000
1969	10,000	3,000
1970	14,000	3,000
1971	18,000	6,000
1972	15,000	9,000
1973	17,000	10,000
1974	20,000	12,000
1975	20,000	13,000
1976	18,000	14,000
1977	17,000	18,000
1978	24,000	19,000
1979	28,000	21,000
1980	21,000	26,000
1981	28,000	29,000
1982	23,000	27,000
1983	28,000	26,000
1984	29,000	25,000
1985	28,000	24,000
1986	27,000	26,000
1987	28,000	26,000
1988	28,000	27,000
1989	26,000	26,000
1990	26,000	26,000
1991	28,000	28,000

## CAPÍTULO 5

### *Proceso de pulverización de la cáscara de nuez.*

Para poder hacer un estudio del comportamiento de la cáscara de nuez con el PVC, es necesario primero determinar cuál es el mejor proceso para reducir de tamaño a la cáscara de nuez, esto dependerá de las propiedades finales que se obtengan, el tiempo y las características (facilidades) de cada uno de los métodos. En este capítulo solo se obtendrán: la carga, sus características, y será tema del capítulo 6 analizar los resultados al mezclarla con PVC.

El primer punto que tenemos que analizar es de donde se va a obtener la cáscara de nuez; se estuvo preguntando en varias plantas que utilizan nuez, o que la empacan y se encontró que de toda la nuez que traen al Distrito Federal, casi el 90% lo traen ya pelado y el resto es vendido, casi todo a pequeños compradores; por lo que sería muy difícil y cara su recolección. El 90% que es pelado, lo traen de plantas beneficiadoras que en su mayoría están en los estados de Hidalgo y Sonora. También hay algunas en el Noreste de la República. El que estén concentradas en una zona podría facilitar la recolección y compra de la cáscara.

La cáscara de nuez se encuentra casi completa, mezclada con venas, y en algunos casos hasta tiene pedazos de nuez. En nuestro caso como la cáscara de nuez se tiene que llevar a un tamaño de malla 100 o menor, no nos afecta el polvo de las venas y de la nuez; si se tuviera que preparar para otros usos, afectaría la presencia de partículas de menor tamaño, y sería necesario tamizarlo y eliminar estas partículas; esto aumentaría el costo por el tiempo y mano de obra que se requeriría.

Es necesario hacer un estudio del material y los posibles procesos de reducción para poder elegir él o los mejores métodos (más adecuados). Además de conocer algunos equipos y términos, usados en molienda.

La reducción de tamaño es la división mecánica en partículas de un material sólido. Los términos quebrantamiento y trituración, aunque ambos se refieren a una operación de reducción, no son sinónimos; quebrantamiento o machaqueo se aplica al material grueso, de tamaños de varios pies hasta una pulgada, o menos, e implica la acción compresiva relativamente lenta sobre las piezas individuales; trituración o molienda, se aplica a tamaños menores, e implica la atricción o frotamiento y la acción de pieza sobre pieza del material.

---

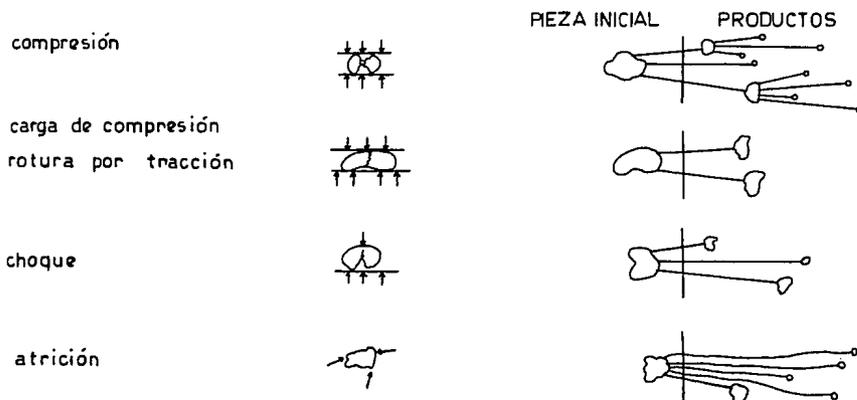
Relacionadas con la trituración, está la pulverización que es toda operación en que se produce un polvo fino y la desintegración que implica la rotura de las uniones débiles entre las partículas, como de la torta de un precipitado.

Es difícil establecer leyes definidas para la molienda por la gran variedad de materiales, extensa amplitud de tamaños y diversos modos de trituración; es por lo que se recurre a la teoría, la estadística y a la medición experimental.

La rotura en partículas depende de las propiedades físicas del material y de su respuesta a las fuerzas que a él puedan aplicarse.

A continuación se representan las distribuciones típicas de las partículas que resultan de una fractura.

**FIG 5.1 PARTICULAS QUE RESULTAN DE UNA FRACTURA**



MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

La rotura de los materiales en la molienda ocurre por todos estos tipos de acción, que continúan obrando sobre los productos de la fractura para reducirlos más de tamaño. Las partículas producidas por rotura brusca suelen ser de forma irregular, en tanto que las producidas por atrición tienden a ser regulares y lisas.

La distribución normal del tamaño está limitada entre el tamaño de las piezas originales y algún límite inferior. El valor inferior depende del comportamiento del material en la máquina de moler. Generalmente cada molino tiene algún límite inferior, por debajo del cual es difícil morder las partículas y se detiene la reducción a partículas más finas.

Los diferentes materiales varían enormemente en su facilidad de molienda, y es difícil correlacionar estas variaciones con las propiedades medibles de los materiales; estas propiedades son :

**a)El tamaño lineal.-** llamadas también dimensiones lineales pueden estar bien determinadas o ser el promedio ficticio de un grumo o terrón de forma irregular.

**b)La superficie.-** es el exterior de casi todas las partículas, aunque algunas tienen cierta superficie interna en forma de poros.

**c)La dureza.-** se indica mediante el criterio convencional de raspado y se mide por medio de la escala de Moh (resistencia a la trituración). Se trata de una de las indicaciones más acertadas del carácter abrasivo del mineral, factor que determina el desgaste de los medios de molienda.

**d)La estructura.-** puede ser homogénea o heterogénea.

Una mezcla de partículas tales como las que se encuentran en un polvo, se define en términos de:

**a)Distribución del tamaño de partícula.-** es una función que indica la cantidad proporcional de cada tamaño de partículas individuales que contiene el polvo.

**b)La superficie.-** es una suma de las superficies individuales de los granos.

**c)La Superficie específica.-** es el área de una unidad de peso o volumen.

**d)Tamaño limitante de la partícula.-** es el tamaño de las partículas más grandes o más pequeñas del polvo.

-Otros factores que afectan las características de la molienda de un material son el agua, la higroscopicidad y la sensibilidad a cambios en la temperatura del material.

---

---

-La movilidad o índice de molienda.- es una medida de la cantidad de material de un molino en particular, que satisface una especificación dada en una unidad de tiempo de molienda, por ejemplo Ton/Hora a través de una malla de 200. El principal propósito del estudio de la movilidad consiste en evaluar el tamaño y el tipo de molino que se requiere para producir un tonelaje específico, y las necesidades de energía para la molienda.

Entre los factores importantes que determinan la movilidad están la dureza, la elasticidad, la resistencia y la divisibilidad.

Desgaste del molino.- En general, los materiales duros, las partículas gruesas y el movimiento rápido generan un desgaste notable en los molinos. El desgaste puede reducirse utilizando materiales en la zona del desgaste del molino que sean más duros que el material que se está triturando, ya que lograr que las partículas se muelan unas con otras constituye una excelente ayuda.

-Una parte importante durante el Proceso es la Seguridad con que se trabaje.-

A menudo sucede que no se da la atención suficiente al peligro de explosión de materiales no metálicos tales como azufre, almidón, polvo de madera, de cereal, dextrina, carbón, alquitrán, caucho duro y plásticos. Las explosiones y los incendios se inician debido a descargas de electricidad, estática, chispas, superficies calientes y por combustión espontánea. El peligro de combustión aumenta notablemente durante las operaciones de molienda en las que se emplean molinos de bolas, de martillos, de anillo y rodillos, durante las cuales se alcanzan altas temperaturas.

Entre las precauciones útiles están el aislamiento de los molinos, el uso de materiales de construcción que no generen chispas y separadores magnéticos para quitar el material magnético extraño de la alimentación. El acero inoxidable tiene una menor tendencia a la producción de chispas que el acero ordinario o los forjados.

La reducción de contenido del oxígeno del aire presente en los sistemas de molienda constituye un medio para evitar las explosiones del polvo dentro de los equipos. El uso de gases inertes tiene una adaptación especial en pulverizadores equipados con clasificadores de aire, a pesar de esto el equipo debe contar con respiraderos contra explosiones y deben diseñarse estructuras con ventilación adecuada.

-La eficiencia respecto a la energía de una operación de molienda se define como aquella que se consume en comparación con la energía ideal requerida.

---

-Molienda por vía seca y por vía húmeda, los molinos de bolas tienen un amplio campo de aplicación para la molienda en húmedo o mojado, formando un circuito cerrado con clasificadores de tamaño. Si la presencia de líquido con el producto acabado no constituye un problema o si la alimentación es húmeda o mojada, la molienda en mojado se prefiere a la que se realiza en seco.

En la molienda de finos en seco, las fuerzas superficiales entran en acción generando una especie de acojinamiento y recubrimiento de la bola, dando una menor eficiencia en el aprovechamiento de la energía.

Otros factores que influyen en la elección, son el rendimiento en los pasos de clasificación subsecuentes, el costo del secado y la capacidad de los pasos de procesamiento posteriores para manejar un producto mojado.

La producción neta de la molienda en mojado a diferentes mallas varía de 145 a 200 % de la que se obtiene en seco.

-Hay agentes químicos (de dispersión y auxiliares de molienda) que aumentan el índice o la velocidad de molienda y que actúan debilitando las partículas, evitando la aglomeración de las mismas o previniendo el recubrimiento de las bolas de los molinos de esta clase.

Existe una amplia variedad de equipos para la reducción de tamaño, estos se clasifican de acuerdo con la forma en que las fuerzas se aplican:

1. Entre dos superficies sólidas (TRITURACION, DESGARRAMIENTO).
2. En una superficie sólida (IMPACTO O CHOQUE).
3. No en una superficie sólida, sino por acción del medio circundante (MOLINO DE COLOIDES).
4. Aplicación no mecánica de la energía (CHOQUE TERMICO, FRAGMENTACION EXPLOSIVA, ELECTROHIDRAULICA).

Los equipos más comunes para la reducción de tamaño son:

- A. Máquinas de Presión Directa.
  - B. Máquinas de Discos.
  - C. Molinos de Rodillos.
  - D. Máquinas de Martillos.
  - E. Molinos Cilíndricos.
  - F. Molinos de Chorro.
-

---

En el anexo #1 se pueden ver los esquemas o dibujos de algunos de estos molinos.

### *5.1 Máquinas de Presión Directa*

Aplican la fuerza de compresión a la pieza a marcha relativamente lenta para ocasionar la fractura. Producen fragmentos relativamente gruesos y se emplean como machacadoras primarias y secundarias.

**1.-Quebrantadora de Quijada :** la fractura se produce por presión entre dos planchas o quijadas de acero que forman un ángulo menor que el "ángulo de mordido". Una tiene un movimiento alternativo que aumenta o disminuye la abertura angular. Las piezas caen en la cavidad desde la alimentación hasta cierta profundidad, cuando la mordaza está abierta; y son aplastadas por el movimiento de cierre, se siguen aplastando hasta que pueden salir por la lumbrera del fondo entre las dos planchas. La quijada movable puede girar en la parte superior (TIPO BLAKE) o en el fondo (TIPO DODGE), o ser sometida a un movimiento de oscilación. El TIPO BLAKE da elevada producción y no sufre atascos en la abertura de salida, pero hay menos control del tamaño máximo. El TIPO DODGE tiene menor velocidad de salida por atascos en la lumbrera, pero da una relación de reducción de alto superior.

**2.-Quebrantadora rotatoria :** La rotura se produce por la presión de una muela que gira dentro de una cámara cónica a la vez que se acerca y se aleja de la pared del cono exterior por un movimiento excéntrico. Es necesario que se alimente material de tamaño pequeño.

**3.-Quebrantadora Cónica :** La estructura de la rotatoria ha sido modificada en los conos para dar a la cavidad de molienda un volumen que facilite la uniformidad del trabajo, tiene la desventaja de que el volumen de los finos en el fondo tiende a obstruir el espacio de salida. Como la gravedad no opera suficientemente en este molino, ambos discos giran para arrojar el material hacia afuera.

**4.-Quebrantadora de cilindro :** La presión directa de rotura se ejerce por medio de uno o de dos cilindros. Uno de los tipos tiene un solo cilindro de eje inclinado que gira frente a una plancha rompedora, las piezas son comprimidas y rotas en la angostura comprendida entre el cilindro y la plancha, suele emplearse un cilindro dentado o corrugado que agarra mejor la pieza y la impulsa con seguridad hacia la angostura. Hay máquinas con dos cilindros de ejes horizontales y paralelos. Con frecuencia se emplean rodillos relativamente lisos, pero es mejor si tienen superficie rugosa.

Estos dos tipos se utilizan no solo para tamaños gruesos, sino también en el molido fino.

---

## 5.2 Molinos de Discos

**1.-Quebrantadora rotatoria :** Se mueve con diferente velocidad, hay acción de frotamiento o de desgaste. La estructura puede ser en huso con porciones en relieve que gira dentro de un anillo cuya cara interior está acanalada para agarrar las partículas y dirigir su movimiento. Se usa para reducciones relativamente gruesas.

**2.-Molino rotatorio :** Puede ser modificado incluyéndole unos discos giratorios, los cuales se emplean comúnmente para el molido fino. Pueden girar los dos discos o permanecer uno de ellos fijo. Las caras de los discos están abiertas en el centro para la introducción del material grueso, después caen entre placas que tienen nervios o surcos algo más grandes, después es arrojado hacia afuera en un surco, y a medida que la acción de morder avanza, las partículas son cortadas en pequeños pedazos, los cuales siguen marchando hasta que son descargados. .

**3.-Molino de muelas :** Se le llama también de piedras. En los viejos molinos se usaban bloques cilíndricos de piedras duras, la clásica es una variedad de cuarcita, se puede moler en seco (granos) o en húmedo (pinturas). De tiempo en tiempo las piedras se rectifican para que muerdan mejor el material y lo dirijan hacia la periferia. Se funda en el mismo principio que el molino rotatorio.

**4.-Molino para coloides :** Las superficies de moler son menos rugosas que las del molino de discos. La sección de la cavidad se va estrechando hacia la línea de descarga. Son molinos de gran velocidad. Se cargan en el centro con una pasta fluida, y se va aumentando el esfuerzo cortante a medida que disminuye el espacio entre el estator y el rotor. El producto final sale finalmente por el huelgo periférico estrecho entre dichos elementos. Es más eficaz en el trabajo de dispersión.

## 5.3 Molino de Rodillos

**1.-Molino de rodillos y solera :** Se usan rodillos o rulos que operan sobre una masa de material (polvo seco o pasta consistente). La gran rueda camina en una solera circular y se puede usar para la molienda, mezcla y dispersión.

**2.-Molino de rodillos y anillo :** Sirve para la pulverización en seco. Consta de rodillos suspendidos desde arriba que giran en un anillo dentro de una cámara. El eje principal es vertical, pero podría ser horizontal. Debajo del rodillo hay un ventilador que mantiene el

---

material plenamente agitado y lo echa dentro del espacio entre el rodillo y el anillo. Al girar el eje principal, el rodillo oscila hacia afuera bajo la fuerza centrífuga, cae sobre el material y produce el aplastamiento de partícula sobre partícula, y de la superficie del rodillo sobre las partículas. Puede ser barrido por aire, o se recoge el producto directamente. Es antieconómico y ruidoso si no se dispone de suficiente cantidad de material.

**3.-Molino de Bolas y anillo :** Tiene un anillo exterior de fondo curvo al que se podía adaptar grandes bolas de acero. La presión centrífuga y el peso de la bola trituran el material entre la bola y el anillo. Las bolas descansan en la mitad del anillo, mientras que la porción opuesta era activada en su rotación.

**4.-Molino de tazón y anillo :** Los rodillos se dejan fijos y dan una presión controlada con respecto al anillo de molienda, el cual está alojado dentro del cuenco.

#### *5.4 Máquinas de Martillos*

**1.-De planchas rompedoras :** Tienen brazos que parten de un eje y son portadores de martillos, estos se hallan pivotados y pueden ceder cuando hay excesiva carga. El rotor gira de cientos a millares de RPM. El material se deja caer en la cámara del rotor, es golpeado por un martillo y lanzado contra una plancha rompedora, hasta quedar rotos en un tamaño tal que puedan pasar por entre las barras de una reja situada en torno del rotor y los martillos.

**2.-Molinos de martillos :** (pulverizador) Para tamaños finos por debajo del tamiz #50, se usa en la formación de dispersiones y para desintegración de sólidos relativamente blandos. Se emplea con circulación positiva de aire, puede existir una clasificación interna dentro del molino. El material es lanzado en torbellino entre los martillos que giran rápidamente, la fractura es realizada principalmente por el choque de las partículas contra la pared los martillos u otras partículas y por la acción frotante de una suspensión de partículas periféricas en rápido movimiento.

Los martillos pueden ser rígidos o girar sobre un pivote en brazos que pueden a su vez estar pivoteados. También los hay con anillos suspendidos , o que contienen cuchillos para corte. El molino de Jaula múltiple tiene rotores concéntricos que giran en sentidos opuestos.

---

### 5.5 Molinos de Cilindros

Tiene una cámara cilíndrica horizontal que contiene un relleno suelto de medios de molienda que giran, frotan y caen unos sobre otros y sobre la carga al girar el cilindro lentamente sobre su eje. Hay un tipo especial de cámara cónica en lugar de cilíndrica, y otro que se hace vibrar en lugar de girar. Sirven para la molienda húmeda y para moler en seco, para molienda intermitente, continua y en circuito cerrado, y se emplean para el molido relativamente fino.

Se echan en el jarro aproximadamente hasta la mitad, guijarros, y se le añade la carga para llenar los intersticios. Se cierra el molino y se coloca en un bastidor o sobre rodillos para hacerlo girar horizontalmente alrededor de su eje con velocidad de 60 a 80 RPM. Al girar, las bolas se elevan con el lado que sube hasta que caen en cascada por la pendiente. Esta caída y el movimiento de las bolas unas sobre otras y sobre la pared efectúan la trituración. Son ordinariamente cascos de acero cilíndricos con extremos embreadados. El forro interior puede ser de acero endurecido, con frecuencia corrugado en el sentido del eje para facilitar la elevación de las bolas. Para evitar la contaminación, se construyen con forro de porcelana. Los molinos de operación intermitente tienen una abertura en el costado y una placa separable con su forro, la cual cierra la abertura durante el funcionamiento. Los molinos continuos son alimentados y descargados por el conducto de muñones huecos.

La velocidad de giro es principalmente una función del diámetro. La capacidad del molino y el desgaste del forro y de las bolas aumentan en razón de la velocidad. Para cada diámetro hay una velocidad crítica en la cual la carga de bolas no cae en cascada, sino que se distribuye por sí misma en la periferia por la fuerza centrífuga. Lo mejor es operar a 85% de dicha velocidad.

**1. Molino de barras.**- La carga es un haz de barras, ordinariamente de acero, que ruedan unas sobre otras. Da un producto relativamente grueso, y trabaja eficazmente sobre alimentación gruesa.

**2. Molino de bolas.**- Cuando la alimentación es gruesa, puede ser necesario emplear bolas grandes para asegurar la fractura inicial de una partícula. No sirven para molienda fina.

**3. Molino de cilindro y cono.**- Es un molino cilíndrico con una salida cónica, las bolas grandes son retenidas en la sección grande y atacan la carga mientras las bolas pequeñas se mueven hacia el cono y muelen mejor el material fino. No obstante el volumen disponible para

---

el molido fino es pequeño, y por eso este tipo de molino es relativamente tosco comparado con los demás tipos.

**4.Molino de tubo.-** Se practica la molienda fina continua, se emplea una relación más grande de la longitud al diámetro. El material viaja desde el extremo de alimentación hasta la salida. Hay menos probabilidad de sobretamaño en el producto con este curso del material. Se emplean bolas pequeñas, trozos de acero, guijarros o composiciones de porcelana.

**5.Molino de compartimientos.-** El cilindro puede dividirse en compartimientos para retener un tamaño grande de bolas en el extremo de alimentación mientras se deja pasar material parcialmente molido a la sección que contiene bolas más pequeñas, donde tiene lugar el molido fino.

**6.Molino vibrante.-** La oscilación de un casco cilíndrico y su carga de bolas para triturar las partículas es una función muy diferente para la estructura del molino de bolas.

### *5.6 Molinos de Chorro*

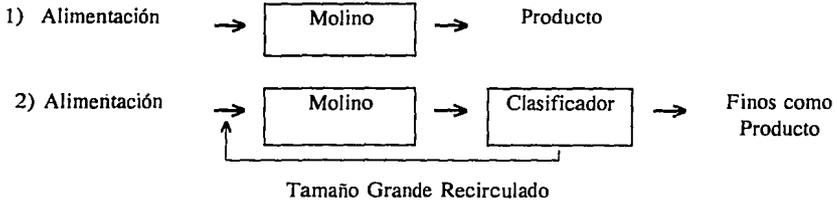
Un procedimiento era llevar los solidos en una corriente de un fluido, comunicando velocidad a las partículas cuando el chorro se extendía a través de una tobera y obligándolas a chocar contra una pared dura para romperse por el impacto. Otro utilizaba dos chorros opuestos, el material era arrastrado en la corriente o recogido por ésta en el espacio intermedio, de manera que las partículas recogidas por los chorros opuestos chocaran entre sí y se romperán. Había después una tercera forma, que contenía una cámara moledora circular agitada por corrientes tangenciales de gran velocidad. Un problema que tiene este tipo de molino es el de ser antieconómicos en el consumo de energía.

**Micronizador.-** En la cámara entran chorros de aire o vapor a gran velocidad por aberturas espaciadas en la periferia de esta cámara, aberturas cuya dirección es entre tangencial y radial, de modo que se comunica al fluido un fuerte movimiento giratorio en la cámara a medida que se mueve hacia adentro. El material sólido que cae en la cámara desde el anillo de distribución circula por la periferia y es golpeado a intervalos próximos por cada chorro. El fuerte impacto hace que las partículas choquen entre sí y sean reducidas de tamaño. Cuando las partículas llegan a ser lo suficientemente finas para pasar adentro con la corriente, contra la acción giratoria que tiende a arrojarlas afuera, se mueven hacia el colector y la mayor parte son separadas, mientras el núcleo del fluido en rotación marcha hacia la salida.

---

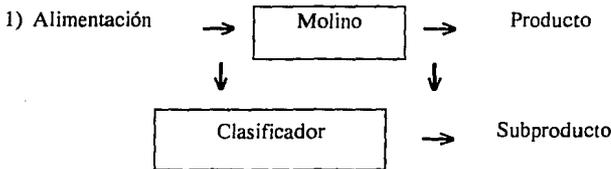
### 5.7 Proceso de molienda y Resultados

Después de conocer los posibles equipos a emplear vamos a proponer el proceso, que pudiéramos utilizar:



Se seleccionaron cuatro tipos de molinos para hacer la pulverización de la cáscara de nuez. Estos equipos son : Un molino de cuchillas, un pulverizador Denver, una quebradora giratoria y un molino de bolas. En los cuatro molinos se utilizó la misma cáscara de nuez.

a) **Molino de cuchillas.**- Proceso del tipo 1) pero modificado:

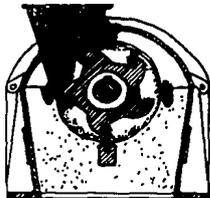


**Alimentación**= Se alimenta la cáscara de nuez, esta viene de diferentes tamaños, y con las venas, en algunos pedazos esta viene desprendida. En general se puede decir que es muy heterogénea, y presenta algo de humedad.

**Clasificador**= Se utiliza un extractor con el fin de quitar el polvo fino resultado de las venas, ya que en el molino, este polvo puede provocar un atascamiento del material, y si es muy grande esta cantidad puede hacer que disminuya la eficiencia del molino por pegarse a las cuchillas.

**Molino**= Es un molino de cuchillas o navajas. Un par de las cuchillas es fijo.

FIG 5.2 MOLINO DE CUCHILLAS



## MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

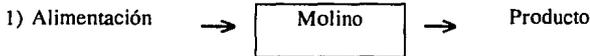
**Producto**= Como la diferencia de tamaños es muy grande se tamiza, y el polvo fino se junta con el obtenido anteriormente.

**Subproducto**= Es el polvo fino de cáscara de nuez.

**Ventajas**= Se puede obtener un producto muy homogéneo.

**Desventajas**= El tamaño de partícula es muy grande y no se puede disminuir mucho, porque la distancia entre las cuchillas es una gran limitante, ya que se pueden gastar si están muy juntas. El tamaño del subproducto es el adecuado pero la cantidad que se obtiene es muy pequeña por ser solo de las venas.

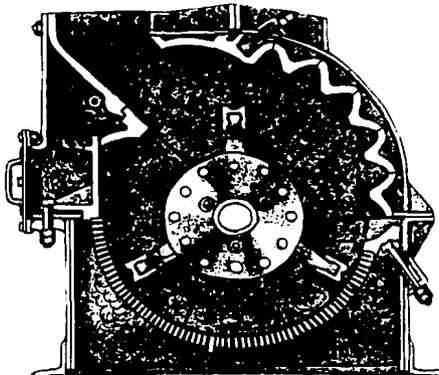
b) Pulverizador Denver.- Proceso del tipo 1):



**Alimentación**= Cáscara de nuez.

**Molino**= Pulverizador tipo Denver.

FIG 5.3 PULVERIZADOR DENVER



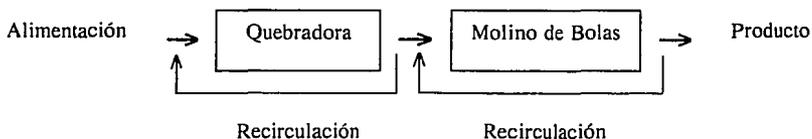
## MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

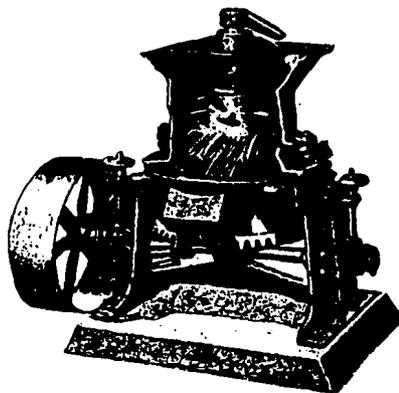
**Producto**= El mayor porcentaje es de un tamaño de partícula muy grande y un porcentaje muy pequeño es de un tamaño de partícula menor.

**Ventajas**= Se da el proceso relativamente rápido.

**Desventajas**= El tamaño de partícula es muy grande ya que el material no es pulverizado, porque se comporta como si fuera una hojuela elástica y en vez de quebrarse se aplana y pasa por entre los discos, sin quebrarse la mayoría de los pedazos de cáscara. Con esto podemos ver que la cáscaras muy elástica.

c) **Quebradora Giratoria.**- En este caso no se pensó que fuera del proceso, sino que se utilizara como preparación de un proceso:



**FIG 5.4 QUEBRADORA GIRATORIA****MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO**

Se alimenta el material a la quebradora con el fin de reducirlo a malla 10 para alimentarlo después al molino de bolas, ya que metiéndolo del tamaño original ocupa mucho espacio.

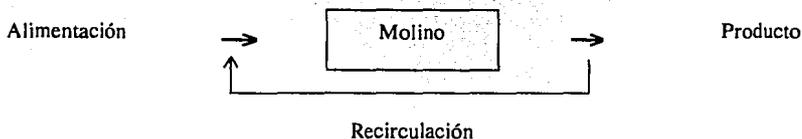
**Desventajas=** La cantidad que se reduce de tamaño no es muy grande, y se tiene que volver a pasar por la quebradora. Además de ser muy tardado el proceso.

El movimiento de la campana hace que flote la cáscara, en vez de caer y molerse más rápido.

Se paso este producto al molino de bolas y lo que se obtuvo de aquí era mas parecido a lo que necesitamos pero tomando en cuenta que el tiempo necesario es muy grande probamos nuevamente con el molino de bolas pero sin preparación de la alimentación.

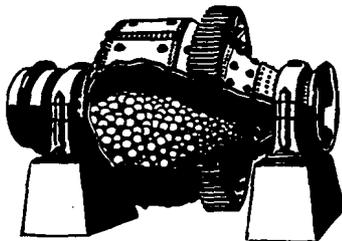
**d) Molino de bolas.-** Proceso del tipo 2):

---



**Molino**= Molino de bolas. Es necesario clasificar el material (tamizar) para volver a recircular y eficientar la segunda molienda.

**FIG 5.5 MOLINO DE BOLAS**



*MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO*

**Producto**= El material obtenido es el adecuado.

**Desventajas**= Es un proceso relativamente tardado.

**Ventajas**= Se pueden obtener tamices menores a malla 100.

Es importante aclarar que todas las pruebas se realizaron en seco, porque en el proceso de secado se tienen que hacer pruebas de humedad para minimizarla, y esto iba a aumentar el tiempo de proceso, ya que la humedad en el PVC es contraproducente. Sin embargo se debe aclarar que la cáscara tenía un poco de humedad por el medio ambiente y esto ayudo a que no

se produjera estática y por lo mismo no tuviéramos ninguna explosión en los molinos. Pero no es mayor a la que pudiera tener el PVC.

Se tomaron muestras del material que se obtuvo del molino de bolas y se separo por tamices, después se hicieron pruebas para ver hasta que tamiz era necesario llegar, para poder utilizar más adelante como carga para PVC.

Después de esta prueba se vio que pasando malla 100 era suficiente y se pulverizaron 2 Kg. de cáscara de nuez, para que se pudieran hacer las pruebas del capítulo 6.

Se hicieron también varias pruebas variando el tiempo, las cantidades de material alimentado. Las distribuciones más significativas que se obtuvieron, se encuentran en las tablas siguientes, y al final del capítulo se encuentran las gráficas de dichas distribuciones.

**Tabla 5.1 Distribución de Partículas**

	Prueba # 1		Prueba # 2		Prueba # 3	
Alimentación	346.60		318.20		362.10	
Tiempo (min)	10		10		10	
Malla	Gramos	%	Gramos	%	Gramos	%
+ 50	243.90	70.37	182.70	57.42	285.30	78.79
- 50	43.50	12.55	21.00	6.60	13.30	3.67
- 100	22.30	6.43	45.40	14.27	17.70	4.89
- 150	35.00	10.10	61.80	19.42	40.00	11.00
- 200	1.90	0.55	7.30	2.29	5.80	1.60
% < malla -100	17.08		35.98		17.64	

Alimentación Tiempo (min)	Prueba # 4		Prueba # 5	
	391.7 10		396.3 40	
Malla	Gramos	%	Gramos	%
+ 50	261.40	66.74	276.90	69.87
- 50	20.50	5.23	20.50	5.17
- 100	32.50	8.30	14.90	3.76
- 150	62.40	15.93	70.10	17.69
- 200	14.90	3.80	13.90	3.51
% < malla -100	28.03		24.96	

**DATOS EXPERIMENTALES**

La carga que se obtuvo tiene:

- a) Un buen grado de uniformidad, ya que el producto final es tamizado.
- b) Esta libre de impurezas metálicas y su abrasividad no es alta.
- c) El tamaño de partícula es pequeño (malla -100).
- d) No presenta humedad.

Hasta este momento podemos decir que el producto obtenido puede utilizarse como carga en los experimentos del siguiente capítulo.

De las gráficas de distribución podemos determinar cual es el caso más adecuado y vemos que es el caso #2, porque es cuando obtenemos más producto. Y de la tabla siguiente, podemos obtener las condiciones de operación para este caso.

Datos del molino donde se realizaron las pruebas:

Diámetro interno (cm) = 20

Longitud interna (cm) = 24

Volumen interno total sin bolas ( $\text{dm}^3$ ) = 4.16

Volumen carga seca máxima ( $\text{dm}^3$ ) = 2.53 que es el 60.70% aprox.

Carga de bolas (Kg) = 3

**Tabla 5.2 Condiciones de Operación.**

Prueba	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
Carga útil (kg) $\rho = 1.6$	1.98	1.82	2.07	2.24	2.26
Carga útil (kg) $\rho = 0.3$	0.346	0.318	0.362	0.392	0.396
Tiempo por carga (min)	10.00	10.00	10.00	10.00	40.00
% del volumen ocupado	49.00	45.00	51.00	55.00	56.00

**DATOS COMESA Y EXPERIMENTALES**

La carga útil es la cantidad de material que debemos añadir al molino.

Los datos de carga útil están dados para minerales con densidad de 1.6 aprox., pero como la cáscara de nuez sin pulverizar tiene una densidad de 0.3 aprox, se tiene que sacar el valor de la carga útil, para esta densidad.

Podemos ver que el caso que escogimos es donde se carga menos producto al molino, esto nos hace ver que sí lo llenamos más en vez de dar más producto, se baja la eficiencia de este y ya no rompe a las partículas.

Estos datos nos servirán en el capítulo 7 para obtener los costos de la pulverización de la cáscara de nuez.

Figura 5.6

### Distribución de Tamaño de la Cáscara Prueba # 1

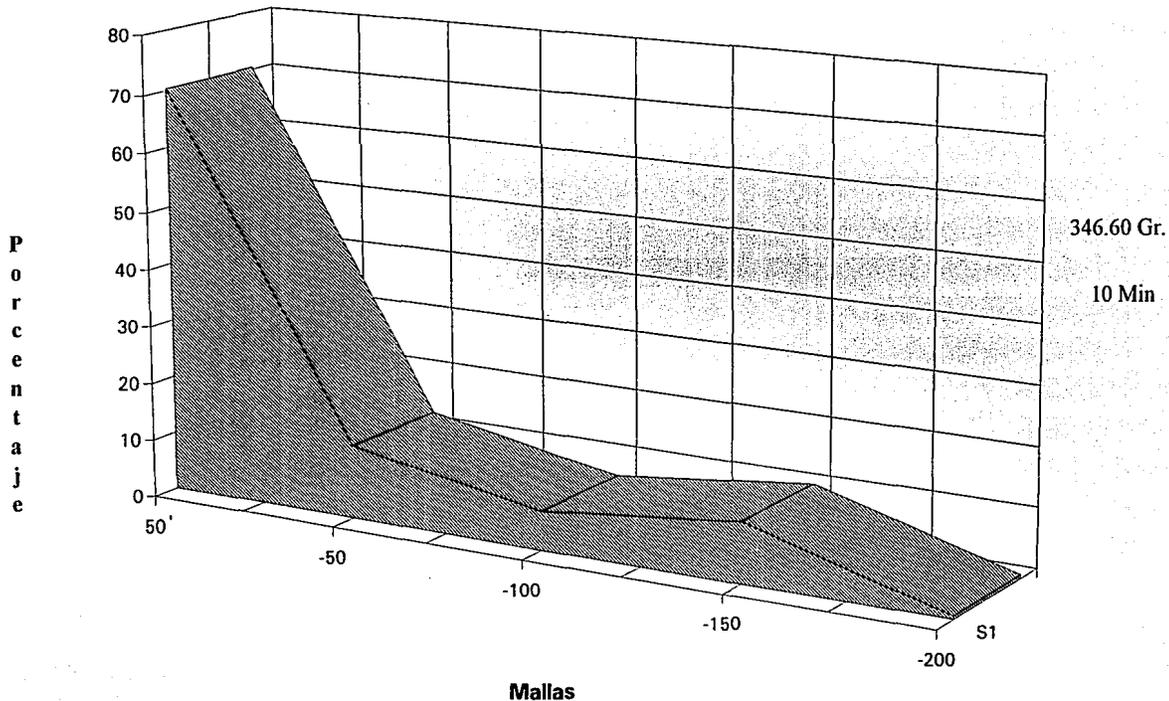


Figura 5.7

### Distribución de Tamaño de la Cáscara Prueba # 2

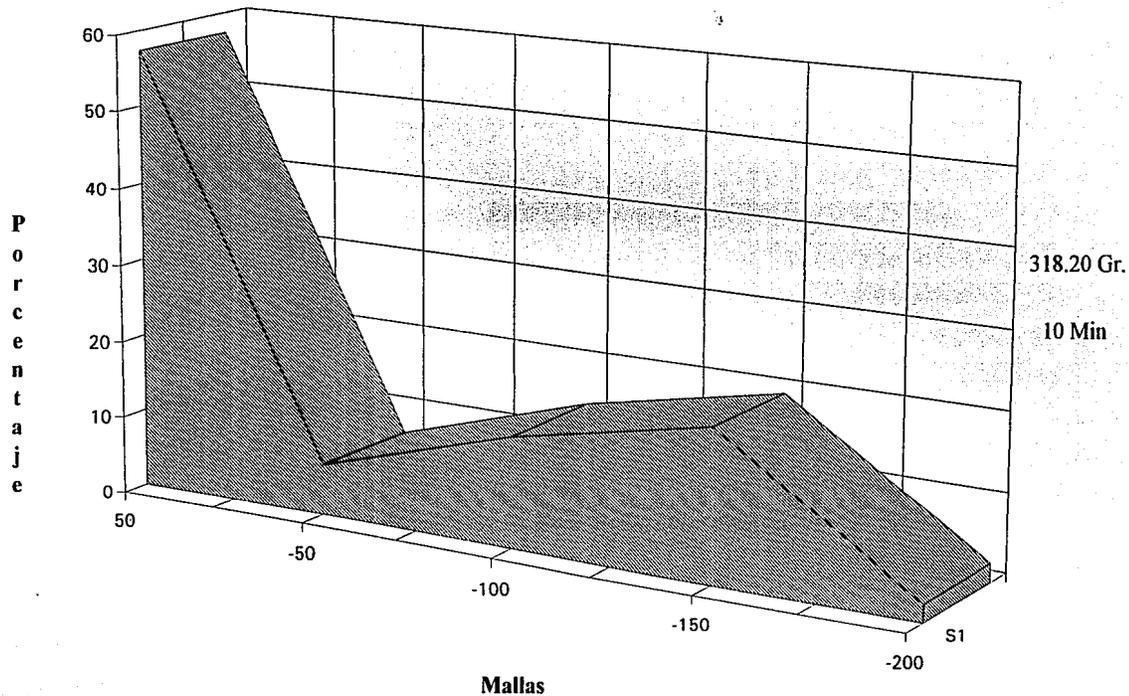


Figura 5.8

### Distribución de Tamaño de la Cáscara Prueba # 3

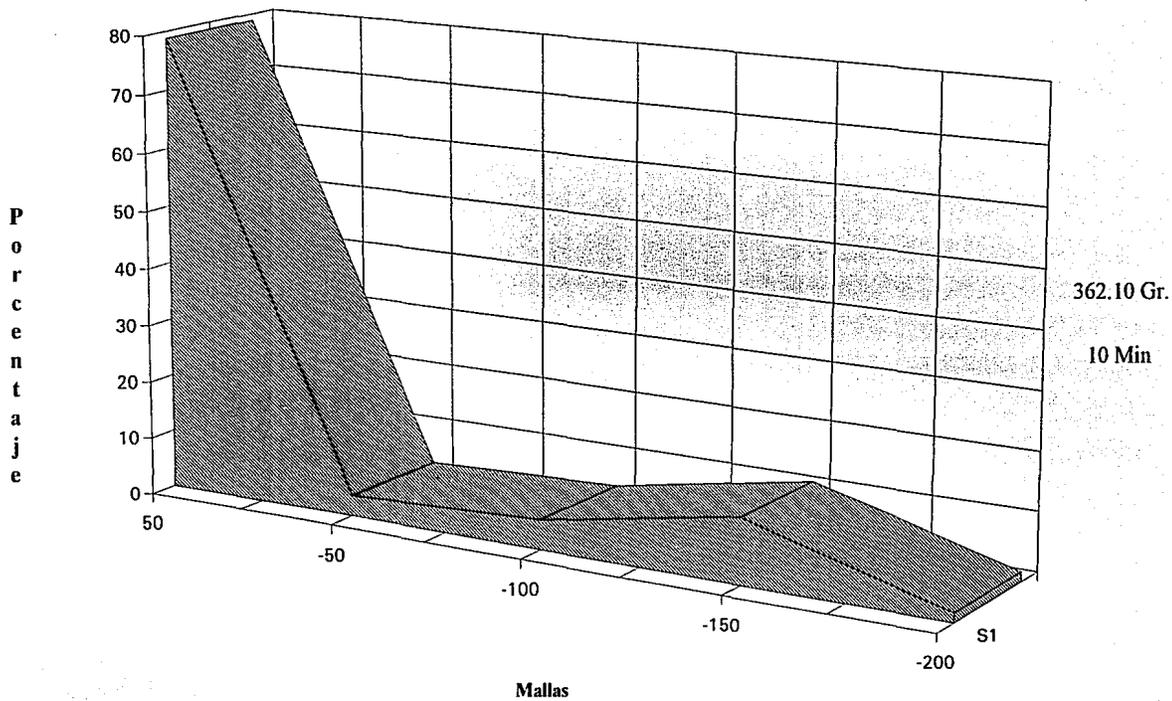


Figura 5.9

### Distribución de Tamaño de la Cáscara Prueba # 4

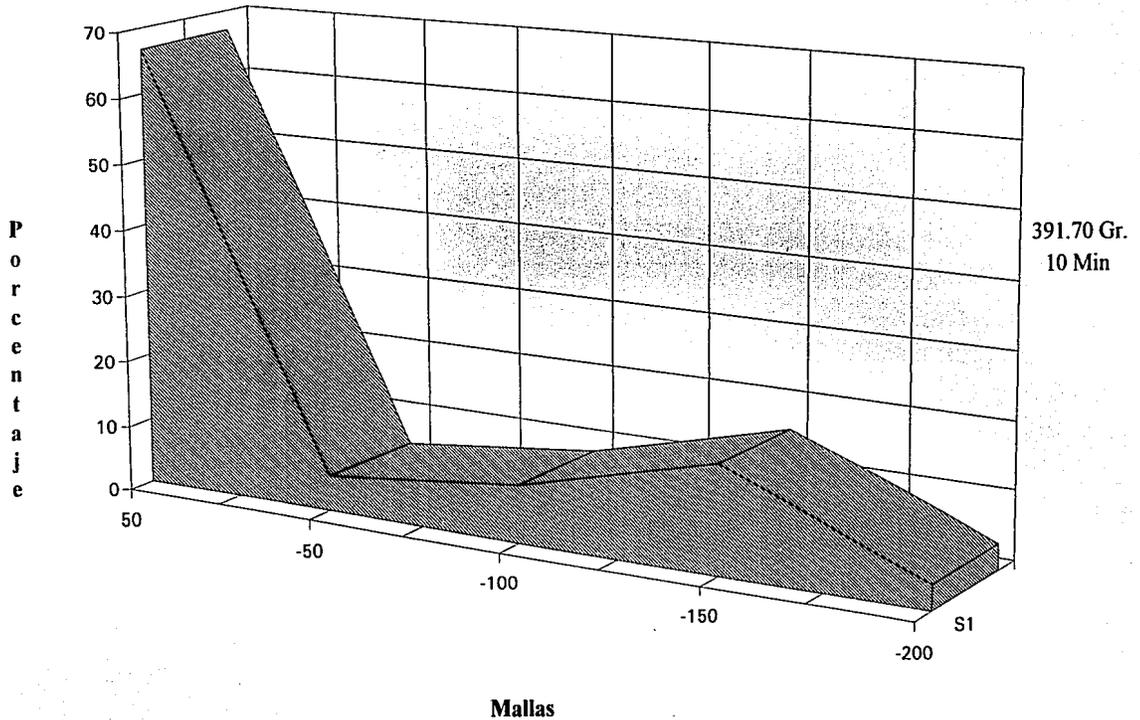
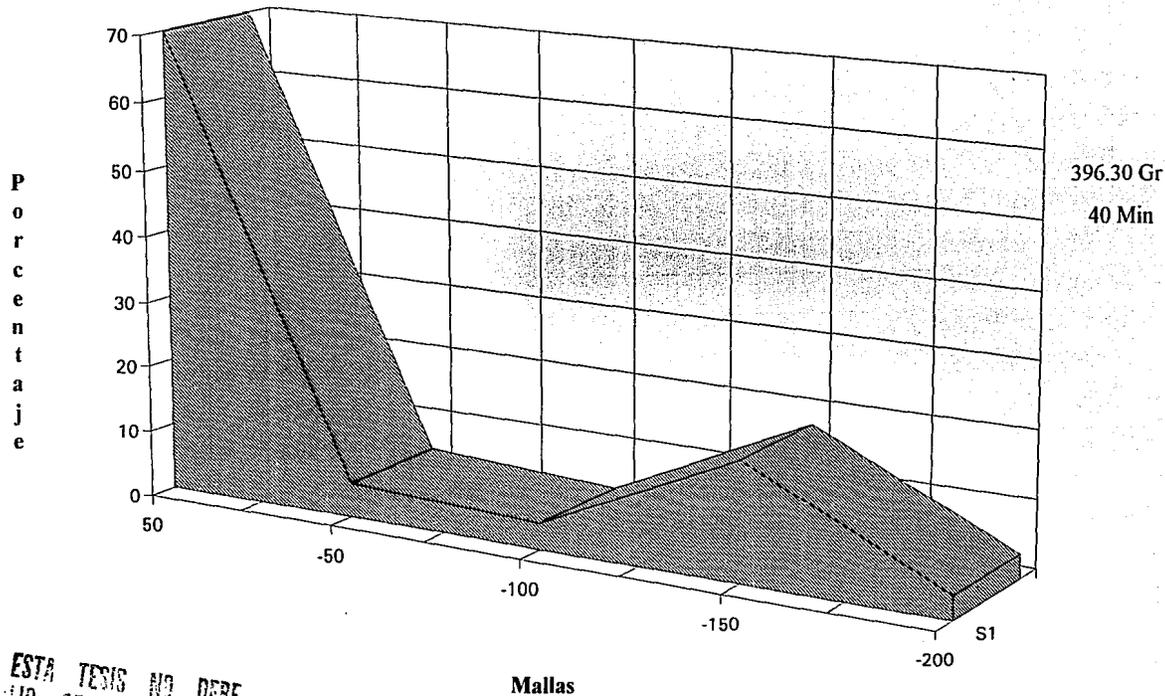


Figura 5.10

### Distribución de Tamaño de la Cáscara Prueba # 5

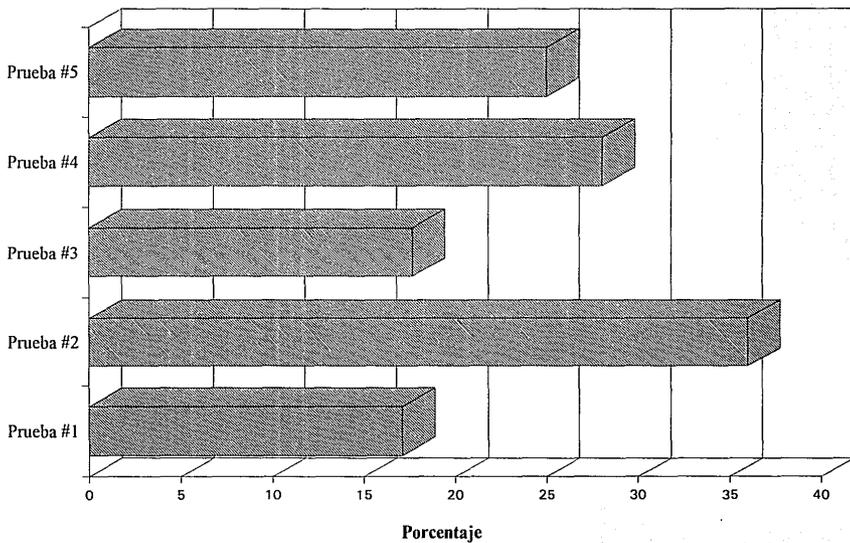


ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Figura 5.11

### Distribución de Tamaño de la Cáscara comparativo

% < Malla -100



## CAPÍTULO 6

### *Experimentación conceptual y resultados*

En este capítulo presentaremos las observaciones y resultados que se obtuvieron de trabajar con la mezcla de PVC y la cáscara de nuez ya pulverizada, analizando algunas de sus propiedades.

#### 6.1 Propiedades:

Las propiedades medibles de un compuesto de PVC bajo las cuales se controla su calidad o bien sirven de base para propósitos específicos de aplicación, son las que a continuación se mencionan:

<b>a) Físicas =</b>	Apariencia, textura, color, olor, densidad, brillo, materia volátil y contaminación.
<b>b) Mecánicas =</b>	Resistencia, rigidez, ductibilidad, dureza.
<b>c) Térmicas =</b>	Estabilidad al calor.
<b>d) Químicas =</b>	Reactividad.
<b>e) De moldeo =</b>	Procesamiento
<b>f) Ópticas =</b>	Transparencia
<b>g) Eléctricas =</b>	Resistividad volumétrica
<b>h) Otras =</b>	Exudación/Incompatibilidad, Atoxicidad, Encogimiento, Flamabilidad, resistencia a microorganismos, etc.

Para un caso general no es necesario evaluar todas las propiedades. Dependiendo del uso del compuesto o de las especificaciones requeridas se pueden evaluar más o menos según se requiera. A continuación se describen las propiedades principales o básicas a determinar en un compuesto:

**1) Dureza :** Está basada en la resistencia que oponen los cuerpos a la penetración de un cuerpo extraño. Se considera como una función inversa al contenido de plastificante. A mayor cantidad de éste, menor dureza y viceversa. Una menor dureza es sinónimo de mayor suavidad y flexibilidad.

---

Es importante conocer esta propiedad, ya que para cada uso se necesita de una determinada dureza, por ejemplo: la dureza requerida para un tubo es diferente a la que se necesita para un zapato, una manguera, un cable, o un juguete.

**2) Peso Específico :** La medición de esta propiedad se basa en el desplazamiento de un líquido por un material sólido sumergido en él. El peso específico es función directa de la carga incorporada al compuesto. A mayor cantidad de carga, mayor densidad. En menor grado está influenciada por el tipo de plastificante empleado.

El Peso Específico es la medida del peso en una área determinada. Esta propiedad es importante, ya que la mayoría de los productos se venden por pieza y no por peso. Si un plástico tiene un peso específico alto puede perjudicar al vendedor ya que él compra la materia prima por peso, y si la pieza tiene un peso mayor, a él le cuesta más ese producto. Para poder determinar el peso adecuado es necesario hacer un balance entre el costo y el peso.

**3) Resistencia a la ruptura y elongación originales (ASTM-D 638-90):** Resistencia típica que ofrecen los cuerpos al ser sometidos a la acción de dos fuerzas opuestas, sufriendo al mismo tiempo un estiramiento.

Estos parámetros dependen principalmente del tipo y cantidad de resina, plastificantes y cargas utilizadas.

**4) Retención de resistencia a la ruptura y elongación (ASTM-D 638-90):** Las muestras de compuesto se exponen a un envejecimiento acelerado en estufa con circulación de aire durante 7 días, dependiendo del tipo de compuesto. Las temperaturas de prueba pueden ser 100, 113, 121 y 136°C. Los valores obtenidos se reportan como un % de los valores originales encontrados en 3).

La retención de propiedades mecánicas estará influida en su mayor parte por el tipo de plastificante.

**5) Estabilidad Térmica:** Un compuesto de PVC, al ser sometido a la acción del calor, desprende Ácido Clorhídrico (HCl) que produce un ennegrecimiento en él. Este efecto se disminuye con el uso de estabilizadores térmicos.

Una mayor resistencia al calor está en razón directa al tipo y cantidad de estabilizador térmico empleado.

---

Las pruebas utilizadas para designar la estabilidad al calor de los compuestos o resinas puede dividirse en dos clases:

**a)Estabilidad Dinámica.-** Esta técnica determina la estabilidad al calor, mediante el trabajo que se le da al compuesto a una temperatura fija en un molino de dos rodillos. Se extraen muestras periódicamente para su comparación.

Otro procedimiento utiliza un Plasticorder Brabender, en donde se mastica el compuesto tipo en condiciones definidas de temperatura y proceso para observar durante el período de la prueba el efecto del color y la viscosidad.

**b)Estabilidad estática.-** Este método determina la estabilidad al calor mediante la preparación de muestras en un molino de dos rodillos. Estas muestras son placas de 60 milésimas de pulgada de espesor, todas de las mismas dimensiones, las cuales se colocan sobre charolas de aluminio y se ponen en un horno o estufa con circulación forzada de aire a temperatura elevada, normalmente 180°C. Las muestras son retiradas del horno periódicamente para su observación. Todavía no se ha obtenido una buena correlación entre la estabilidad dinámica y la estática. Se considera que el método dinámico es de mayor utilidad por sus condiciones simuladas de proceso.

Para observar la secuencia del cambio de color se ha elaborado una escala de referencia, la cual enumera los diferentes tonos de color. Dicha escala comprende los siguientes tonos:

0. Natural
1. Cambio imperceptible.
2. Cambio muy ligero.
3. Aspecto ligeramente amarillo.
4. Amarillo pálido.
5. Amarillo.
6. Matiz tenue de rojo.
7. Rojo pálido.
8. Rojo.
9. Rojo oscuro.
10. Rojo muy oscuro/negro.
11. Negro.

**6) Resistividad volumétrica o V.R :** Por resistividad volumétrica se entiende la resistencia que presente al paso de la corriente eléctrica, una placa de compuesto en un medidor con electrodos de mercurio. Este valor es útil para elegir compuestos que se utilizaran en la fabricación de cable.

Los valores altos de VR se generan con resinas y plastificantes de alto peso molecular.

### 6.2 Procedimiento de la experimentación.

a) Para poder evaluar estas propiedades primero es necesario tener la formulación de un compuesto con el que, compararemos al de la nueva carga, que llamaremos "Compuesto Patrón" y con la misma formulación solo que cambiando la carga tendremos al compuesto nuevo, al que llamaremos "Compuesto Prueba". Como sabemos el PVC se utiliza en productos muy diversos, como pueden ser rígidos y flexibles y cada uno tiene propiedades y características muy distintas por lo que se van a probar dos compuestos, uno flexible (fórmula 1) y uno rígido (fórmula 2).

#### Fórmula 1

	Compuesto Patrón (PCR)	Compuesto Prueba (PCR)
Resina de PVC	100.000	100.000
Estabilizador	6.500	6.500
Lubricantes	0.550	0.550
Plastificantes	85.000	85.000
Carga = Carbonato de Calcio	35.000	0.000
Carga = Cáscara de Nuez	0.000	35.000

### Fórmula 2

	Compuesto Patrón (PCR)	Compuesto Prueba (PCR)
Resina de PVC	100.000	100.000
Estabilizador	3.500	3.500
Lubricantes	1.600	1.600
Carga = Carbonato de Calcio	35.000	0.000
Carga = Cáscara de Nuez	0.000	35.000

b) Una vez que se seleccionaron las fórmulas, se van a hacer los compuestos, procurando que las mezclas sean homogéneas y hechas en las mismas condiciones, es necesario que se utilicen el mismo lote de resina, así como de aditivos. Como pudimos ver en las fórmulas anteriores, el único cambio es de  $\text{CaCO}_3$  por cáscara. Entonces para poder asegurar que los dos compuestos se hicieron en las mismas condiciones, se peso primero resina para hacer dos kilogramos de compuesto cristal (no lleva carga). Y así con todos los ingredientes. Una vez que tenemos pesada la resina se añade el estabilizador y se mezcla manualmente; se añaden los lubricantes, y en el caso del flexible también el plastificante.

Se mezcla nuevamente, verificando que sean homogéneas estas mezclas.

Ya con las dos mezclas base, dependiendo de la prueba a efectuar, se toma parte de este compuesto y se añade la parte proporcional de aditivos (carga: puede ser  $\text{CaCO}_3$ , ó cáscara) necesarios para la prueba.

Cuando se tienen estas mezclas, el siguiente paso será empezar a conocer el comportamiento de cada una de las fórmulas, para poder elegir las condiciones con las que se trabajará.

c) Estas muestras se van a procesar en los "rodillos" (en el anexo #2 se presentan los pasos para trabajar en los rodillos), estos se calientan a la temperatura requerida por medio de resistencias y giran para fundir al material. Es aquí donde podemos ver el comportamiento. Para poder analizar las propiedades de cada una de las mezclas es necesario, como vimos anteriormente el preparar distintos tipos de muestras, en este caso se requiere de hacer telas

---

plásticas de cada compuesto y para algunas pruebas , se requiere de fichas circulares de un espesor aproximado de 6 mm, un ejemplo de su uso es, para medir la dureza del compuesto.

En esta parte es donde se tendrá que trabajar todas las veces necesarias, cada una de las mezclas, con el fin de analizar su comportamiento y escoger las condiciones de trabajo.

d) Ya que se encontraron las condiciones más adecuadas, y las mejores muestras, se procede a evaluar cada una, y a observar en forma comparativa sus propiedades.

Estos resultados se presentan a continuación:

1.-La primera formulación que se probó, fue la del compuesto rígido, se comenzó a trabajar en los rodillos con el compuesto patrón, y se encontró que la temperatura de procesamiento es de 200°C, esta temperatura es importante ya que si uno le pone una temperatura mas alta al compuesto, se puede quemar; y si es una temperatura menor el compuesto no plastifica bien , y en ninguno de los dos casos se obtiene la tela. Después de ver el comportamiento del compuesto patrón, en las mismas condiciones se trabajo con el compuesto prueba y se pudo observar que a la misma temperatura se plastifica mucho más rápido que el patrón, y su comportamiento es bueno, pero después de pasar un tiempo en los rodillos, su comportamiento cambia, ya no es bueno y cuesta trabajo el despegar la tela. Se guardaron muestras y se pudo observar que a esta temperatura la cáscara se quema y se vuelve carbón, y hace que el plástico pierda sus propiedades de termoplástico , ya que al volverlo a calentar, se quema más y no se vuelve a fundir (Algo parecido a un termofijo).

En un principio se pensó que era por exceso de temperatura y se vio lo que pasaba a 195, 175, 170, 160, 155, y 150°C. Lo que se pudo observar, es que el comportamiento era muy parecido, se plastifica rápidamente, pero después de un rato, se vuelve como una hoja de papel y aunque este caliente no se integra con otro pedazo de plástico. A bajas temperaturas no se quema pero es muy difícil procesarlo y ya a la temperatura de 150°C , no se plastifica bien el compuesto (queda crudo).

Se trataron de hacer piezas circulares en la prensa, pero no se integra bien, y en muchas quedaron huecos de aire, e incluso se ven los dobleces de la tela que por presión sí quedo formada la pieza pero no en forma uniforme, como era el caso con el compuesto patrón.

Como se vio que era muy difícil el trabajar con compuesto rígido por la temperatura, se empezó a probar el flexible.

---

2.-En el caso del compuesto flexible, se comenzó a trabajar con el compuesto cristal, que es el primero que se preparó y no lleva carga , después con el compuesto patrón y por ultimo con el de prueba.

En este caso también se pudo observar que se plastifica mas rápidamente el que tiene cáscara que los otros dos, pero al ser compuestos flexibles, sí se puede procesar todo el tiempo el compuesto.

La temperatura a la que se procesaron los compuestos flexibles fue de 180°C.  
Con estos compuestos se hicieron telas y fichas circulares.

Además se evaluaron las propiedades con los métodos que se mencionaron anteriormente y que podemos encontrar un resumen de tres de ellos en el anexo #3.

Estas serán solo para el compuesto patrón y el de prueba, a continuación está una tabla con los resultados que se obtuvieron:

**Tabla 6.1. Resultados Obtenidos**

Propiedades	Compuesto Patrón	Compuesto Prueba
Dureza	A - 64	A - 65
Peso Específico	1.306	1.217
Resistividad Volumétrica V.R. * 10 <sup>12</sup>	0.030	0.040
Resistencia a la ruptura	125.000	98.000
% Elongación	350.000	300.000

REPORTE DEL LABORATORIO DE PRIMEX

En la tabla 6.2 se van a poner las observaciones que se tienen al comparar las telas, fichas y durante el trabajo con los tres compuestos; en base a propiedades que no tienen un método determinado para evaluarlas y que mas bien son de criterio.

## Resultados de la Prueba de Estabilidad Térmica

Temperatura = 160°C Minutos	PVC sin carga	PVC con CaCO <sub>3</sub>	PVC con cáscara de nuez	PVC sin carga	PVC con CaCO <sub>3</sub>	PVC con cáscara de nuez
0						
15						
30						
45						
60						
75						
90						
105						
120						

Tabla 6.2 Propiedades

PROPIEDADES	CRISTAL	PATRON $\text{CaCO}_3$	PRUEBA CÁSCARA
APARIENCIA	La tela es completamente transparente, se alcanzan a ver las impurezas, y es homogénea la mezcla.	La tela no se transparenta, se pierden un poco las impurezas, y también es homogénea.	No es completamente opaca, se transparenta algo. No se notan las impurezas, pero la tela no es homogénea, se observan las partículas de cáscara y se ve que la dispersión no es uniforme.
TEXTURA	Lisa.	Lisa, no se percibe el $\text{CaCO}_3$ al tacto.	Lisa, no se percibe la cáscara al tacto.
COLOR	Es transparente Subtono blanco	Es de color blanco por el $\text{CaCO}_3$ .	Es café, dependiendo de la cantidad, se va poniendo mas oscura y deja pasar menos luz.
OLOR	Característico del PVC.	Igual que el PVC cristal.	Igual que los otros dos. La cáscara no le proporciona ningún olor.
BRILLO	Tiene mucho brillo	Brilla pero no tanto como el cristal. La carga le quita algo de este brillo.	Brilla mucho, y también es por efecto del color oscuro que parece que brilla más. La carga no lo hace opaco.
MATERIAL VOLATIL	Durante su plastificación se perciben olores por el PVC estabilizadores y plastificantes.	Al añadir el $\text{CaCO}_3$ no huele diferente a que cuando esta solo.	No se percibe ningún olor diferente a los otros dos.
CONTAMINACION	Algunos puntos negros, que son de la resina.	La misma que en el PVC cristal.	No se perciben los puntos negros, ya que se pierden con la cáscara.
RESISTENCIA AL CORTE (RASGADO MANUAL DESPUES DE UN PEQUEÑO CORTE).	Es muy resistente, en sentido horizontal es mayor que en vertical. Se estira antes de romper.	Es el que menos resiste de los tres. En los dos sentidos se emplea casi la misma fuerza.	Es más resistente en sentido horizontal que en el vertical. Queda un tono más claro después de aplicar la fuerza, en el lugar del corte.
DUREZA	En la ficha = 57. La resina es la única que absorbe al plastificante.	En la ficha = 64. El carbonato absorbe parte del plastificante, por lo que es más duro, teniendo la misma cantidad de plastificante.	En la ficha = 65. La cáscara de nuez absorbe también al plastificante, pero un poco mas que el $\text{CaCO}_3$ . No existe mucha diferencia.
ESTABILIDAD TERMICA	Se empieza a degradar a los 30 min, pero es donde más se nota la degradación.	Se empieza a degradar a los 25 min, pero no es tan fuerte el cambio de color.	Se empieza a degradar a los 15 min, pero por su color oscuro, no se nota que esta degradado, se empieza a notar porque pierde brillo.

PROPIEDADES	CRISTAL	PATRON $\text{CaCO}_3$	PRUEBA CASCARA
REACTIVIDAD	Es muy resistente a ácidos y bases pero débil ante cetonas y solventes orgánicos como benceno.	No se nota ningún cambio en sus propiedades químicas.	En las pruebas, no se notó ningún cambio tampoco, en sus propiedades químicas
PROCESAMIENTO	Fue bueno, y no se tiene ningún problema para plastificarlo, es el más pegajoso de los tres.	Fue bueno, es fácilmente plastificable, y no es tan pegajoso, como el cristal.	Fue bueno, algo que se notó es que plastifica mucho más rápido que los otros dos, no es nada pegajoso, y fácil de trabajar.
TRANSPARENCIA	Completamente transparente.	No es transparente, sin importar la cantidad que tenga de $\text{CaCO}_3$ .	Depende de la cantidad de cáscara, a mayor cantidad menor transparencia.
EXUDACION / INCOMPATIBILIDAD	No se notó que ningún aditivo emigrará.*	No se presenta migración, es compatible.	No se presenta migración. La cáscara también es compatible.
ENCOGIMIENTO	Para la pruebas de estabilidad se cortaron cuadros iguales y mientras más tiempo pasó más se deformaron.	Los cuadros también presentan encogimiento.	No se nota tanto encogimiento en los cuadros de esta carga. Es menor el encogimiento.
FLAMABILIDAD	Solo arde con la flama, en el momento de quitar la se autoextingue, y hay un olor muy fuerte a cloro.	Se comporta igual que el cristal, también se autoextingue y el olor es a cloro, solo que queda un poco más de carbón en donde estaba la flama.	Al igual que los otros dos, se autoextingue. Pero el olor es una mezcla de cloro con carbón, y queda más cantidad de carbón por la cáscara.
PIGMENTACION	Al ser transparente acepta cualquier tipo de pigmento sin problemas, y se pigmenta homogéneamente.	Acepta muchos colores, solo que en algunos casos requiere de un poco mas de pigmento porque se disminuye su poder tintorio con el $\text{CaCO}_3$ .	No es fácil de pigmentar, ya que la cáscara de nuez, no se pigmenta, lo único que queda coloreado es el PVC. Se dan efectos ópticos, por la mezcla con el color café de la cáscara, pero contra la luz permanece el color dependiendo del pigmento.
OBSERVACIONES	Se puede usar en todos los productos, pero sale muy caro.	Se puede usar en la mayoría de las aplicaciones del PVC y es mas barato.	Se podría usar en determinados compuestos y productos, dependiendo del proceso y del pigmento necesario. Se tiene que estudiar para cada aplicación.

\* Cuando uno de los aditivos, que se añaden a un compuesto no es compatible, en el momento de mezclarlo se verá que se integro bien, sin embargo después de un tiempo, se ve el objeto y se observa en la superficie, la presencia de grasa, que es el aditivo que esta migrando hacia la superficie.

### 6.3 Análisis de resultados

En esta parte se enumeran los comentarios referentes a los resultados obtenidos durante la experimentación.

1.- El comportamiento del PVC con cáscara de nuez es muy distinto para flexibles y rígidos; pienso que esta, le da características similares a los termofijos cuando es rígido por exceso de carbón.

2.- Si el tamaño de partícula fuera menor, podemos pensar que sí se obtendría una dispersión uniforme.

3.- De los datos experimentales podemos ver que sus usos están limitados a ciertos productos por su estabilidad, trabajo en el proceso y dificultad para pigmentar principalmente. Sin embargo no podemos generalizar sus propiedades con otros plásticos, por ser diferentes las condiciones de procesamiento.

4.- Del estudio experimental sabemos que no se puede hacer compuestos rígidos utilizando la cáscara como carga, y que en cambio para compuestos flexibles sí puede emplearse, de lo que concluimos que el plastificante lo ayuda a dar un mejor comportamiento, e incluso a retardar su degradación (carbonización). En los resultados de la dureza se puede observar que la cáscara absorbe más plastificante que el  $\text{CaCO}_3$ , por lo que su dureza es un grado más alto. Quedan las posibilidades de volver a estudiar los compuestos rígidos, pero añadiendo mezclas de  $\text{CaCO}_3$  y cáscara o poniendo esta última en menor cantidad.

5.- Sabemos que está limitado a usarse en productos de colores muy oscuros (café y negro), por no poderse pigmentar. Solo en algunos casos se podría aprovechar su efecto óptico, pero conociéndolo de antemano. Si tuviera un tamaño menor de partícula, se podría utilizar como pigmento, analizando con anterioridad su poder tintorio.

6.- Una cualidad muy importante que le dio a los compuestos fue la de acelerador y ayuda de plastificación, y sería intensamente más adelante el estudiar sí en menor cantidad y mezclado con algún aditivo, sirve como ayuda de proceso, permitiendo un buen comportamiento durante todo el proceso. Es bueno recordar que el costo de las ayudas de proceso es mucho más alto que el de las cargas.

---

7.- El peso específico que le da a los compuestos es menor que el que tiene cuando se usa  $\text{CaCO}_3$ , por lo que se podrán obtener compuestos más ligeros. Esto se generaliza para todos los plásticos.

8.- Debido a sus características, eléctricas y de flamabilidad, se podrían hacer más estudios para encontrar una formulación adecuada para cable y alambre, teniendo que mejorar la fórmula en cuanto a estabilidad y simulando las condiciones de vida del producto, y observar si no lo afecta la temperatura que se genera en los cables y alambres cuando conducen la energía eléctrica, carbonizándolo o perdiendo propiedades.

9.- No se recomienda, en artículos que estén diseñados para soportar una fuerza de elongación, por no ser resistente.

10.- Por el momento se puede mencionar, que podría usarse en compuesto para calzado, y que su costo permite mejorar la fórmula con más estabilizadores, abaratando de todas maneras el producto.

11.- Para piezas donde el porcentaje de encogimiento, al enfriarse el material es determinante, sería bueno estudiar el uso de la cáscara, ó mezclas de  $\text{CaCO}_3$ -cáscara, para mejorar esta propiedad.

12.- También sería recomendable estudiar el uso de esta cáscara con productos procesados a partir de recuperados, reprocesos o reciclados. Algunos de estos productos podrían ser:

Polietileno=	Bolsas de basura.
Poliestireno=	Bandejas de autoservicio.
Policloruro de vinilo =	Tubos de drenaje ó conducción.
	Soportes de chips de computadora.
	Perfiles para ventanas.
	Mejorar la textura de los abonos.

13.- Para cada nueva o posible aplicación, es necesario realizar un estudio experimental, para comprobar o analizar las características necesarias.

### 6.4 Diseño experimental

Una vez que se realizó la experimentación conceptual, se tienen las bases para hacer un diseño de experimentos, el cual podría aplicarse cuando se desee hacer un estudio específico para un producto.

Ya que se identificó el sistema, que es la mezcla polímero-carga, se procede a determinar cuales son las variables, que nos interesa modificar de las muchas que se tienen.

En este caso algunas de las variables de nuestro interés podrán ser:

- 1) La distribución del tamaño medio de partículas.
- 2) La influencia de las partes en peso de cáscara que se añaden al polímero.
- 3) El tiempo de residencia del compuesto durante el proceso en que se va a utilizar.
- 4) El tipo de carga que se le va a poner al polímero.

Ya que se evaluaron estas variables, se elige el tipo de diseño experimental a utilizar, pudiendo ser:

- a) Factorial.
- b) Factorial Fraccionado.
- c) De Box-Wilson.

Un diseño experimental propuesto del tipo de Box-Wilson, podrá ser tomando las variables 1 y 2 que se mencionaron anteriormente, al hablar de dos variables, entonces la deducción de modelo matemático del proceso, estaría formado por :

$$\text{número de términos} = \frac{(p+1)(p+2)}{2}$$

*donde: p = número de variables.*

número de términos = 6

Y estos términos son:

- 1) Términos lineales en cada una de las variables.  $x_1$ ,  $x_2$ .
- 2) Términos al cuadrado en cada una de las variables.  $x_1^2$ ,  $x_2^2$ .
- 3) Productos cruzados de los términos.  $x_1x_2$ .

Quedando un modelo para dos variables, de la siguiente manera:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2$$

Después se especifican el número de niveles en los que se llevaran a cabo las pruebas, y dependiendo de este número, se ponen los valores a los que se evaluara cada variable, se hacen las combinaciones de estos valores con los de la otra variable, y esto nos da el número de pruebas que se tienen que hacer.

Por ejemplo:

Dos variables, con tres niveles.

Variable	Valores		
Tamaño de partícula	-100	-150	-200
Partes de Carga	20	30	35

Número de pruebas = 9

-100 y 20	-100 y 30	-100 y 35
-150 y 20	-150 y 30	-150 y 35
-200 y 20	-200 y 30	-200 y 35

Ya determinadas estas pruebas se miden una o varias propiedades que nos interesen, y se obtienen los resultados para cada prueba, estos se utilizan en el modelo y por medio de una

---

regresión se encuentran las constantes para el modelo, obteniendo la representación funcional del proceso y se hace un análisis de varianza para ver la confiabilidad de esta, para cada propiedad.

Posteriormente, se substituyen los valores en las ecuaciones de regresión, seleccionando aquella combinación que brinde las mejores características conforme a los objetivos perseguidos ó requisitos para la operación.

---

## CAPÍTULO 7

### *Estudio económico*

En este capítulo analizaremos, el costo de la pulverización de la cáscara de nuez; para poder hacer este análisis vamos a considerar lo siguiente:

1. La cáscara de nuez se llevará a un tamaño de partícula que pase a través de malla 100 para asegurar que sea una carga adecuada para PVC.

2. Se va a pulverizar en un molino de bolas, con recubrimiento de porcelana, tanto para el molino como para las bolas, esto ayuda a que la carga no vaya a adquirir ninguna impureza metálica durante el proceso.

3. Se considerará que se tiene una planta, donde se fábrica compuesto de PVC y normalmente se consume  $\text{CaCO}_3$  como carga para los compuestos y que su precio es de  $\text{N}\$1.00 / \text{Kg}$ .

4. Para utilizar en esta planta cáscara de nuez en lugar del  $\text{CaCO}_3$  que siempre se utiliza, solamente será necesario, comprar un molino de bolas y contratar a una persona que se dedique a pulverizar la cáscara. En el estudio económico no se van a poner los gastos que implica el hacer un contrato de compra con el vendedor de la cáscara, ni el buscar flete para traerla a la planta; estos costos serían muy bajos y al hablar de que es una planta ya instituida, la persona que se dedicaba a buscar el  $\text{CaCO}_3$ , podrá hacer este trabajo en lugar del de conseguir  $\text{CaCO}_3$  sin causar un gasto extra.

5. El costo de la pulverización de la cáscara se obtendrá incluyendo solo los gastos que implicaría solo el uso del molino en este proceso y los que se detallan mas adelante en el estudio.

El análisis económico lo dividimos en dos partes:

a) En la primera parte se consiguieron los datos de 26 molinos de bolas, marca COMESA de diferentes tamaños y para las condiciones de operación que se

encuentran en el capítulo 5. Con el fin de determinar si en alguno de los casos es económicamente factible el cambio del uso de carga. Para determinar este beneficio se le puso a la carga de cáscara de nuez el precio de venta al que se compra el  $\text{CaCO}_3$ .

Dependiendo de estos resultados se ve cuál es la mejor opción, viendo el costo inversión-beneficio, y de la producción.

b) Ya que se eligió un caso especial de molino se puede saber el costo de la carga y se le añade un 10 % de utilidad y se compara con los precios de las otras cargas comerciales, analizando que tan caro o barato esta en comparación de las otras opciones, que ofrece el mercado.

### Primera Parte

En la primera tabla podemos encontrar los datos básicos de cada molino, como son:

**MODELO DEL MOLINO:** Son las claves de los molinos marca COMESA (Construcción Maquinaria y Equipo S.A.) que fue la empresa de donde se obtuvo la información.

**DIAMETRO INTERNO:** Es dato de cada molino y esta dado en cm.

**LONGITUD:** Es dato de cada molino y esta dado en cm.

**VOLUMEN INTERIOR SIN BOLAS:** Es dato del molino, está dado en  $\text{dm}^3$  y solo considera la capacidad del molino vacío.

**CARGA UTIL:** Es un dato del molino, esta en Kg y nos indica la cantidad de material que debemos añadir al molino, esta depende del porcentaje que se utilice de carga.

**CARGA DE BOLAS:** Es dato del molino, esta en Kg y nos indica la cantidad de bolas que debemos agregar a nuestro molino para asegurar una buena eficiencia.

**TIEMPO/CARGA:** Es un dato del molino, esta dado en min. y nos indica el tiempo necesario que debemos dejar el material dentro del molino para asegurar una eficiencia determinada, (36%).

---

**CARGAS/HORA:** 60 min. / (tiempo/carga).

**MOTOR :** Es un dato del molino, esta dado en HP y nos indica la potencia que se requiere para moverlo.

**RPM DEL CILINDRO:** Es un dato del molino, y nos indica el número de RPM en que debe girar el cilindro (molino).

**CAPACIDAD:** Esta dada en Kg/Año y se obtiene con la fórmula siguiente: Capacidad = Carga útil \* Cargas/hora \* 8 horas diario \* 20 días \* 12 meses \* 0.36 de eficiencia en el molino.

**COSTO DEL MOLINO:** Es dato de cada molino y esta dado en N\$.

En la segunda tabla se obtiene el costo de producción de la cáscara al mes y por Kg.

**KG DE CASCARA AL MES:** Kg de cáscara de nuez = Capacidad / 12 meses \* 1.02 Considerando una merma del 2% durante el proceso.

**VOLUMEN OCUPADO:** Volumen ocupado (por la cáscara) = Kg de cáscara / 0.3 que es la densidad promedio.

**MATERIA PRIMA:** Materia prima = Kg de cáscara \* Costo unitario del Kg de cáscara de nuez. De la investigación que se hizo para obtener la cáscara de nuez, se obtuvo la información de que una empresa, esta vendiendo la cáscara de nuez a N\$0.10 el Kg y es el precio de compra que vamos a tomar para el estudio.

**FLETE:** Flete = Volumen ocupado \* costo del flete por kg de cáscara. Sabemos que la cáscara de nuez se puede comprar en plantas beneficiadoras que están (las principales) en: Pachuca, San Luis Potosí y Sonora. Se consiguieron los costos de flete con Fletes Modernos, S.A. de C.V. (ver tabla 7.1).

---

Tabla 7.1 Costo del flete

	Camioneta 3.5 Ton	Rabón 10 Ton	Torton 15 Ton
Pachuca	450	700	850
San Luis Potosí	1,500	2,000	2,500
Hermosillo	4,700	5,100	5,500
Nogales	5,300	5,800	6,800

FLETES MODERNOS, S.A DE C.V.

Con esta diferencia de precios podemos ver que la mejor opción es traer la cáscara de nuez de Pachuca porque en los otros casos vamos a pagar más en flete que lo que cuesta la cáscara de nuez.

**MERMA:** Merma = Materia Prima \* 0.02 de merma.

**MANO DE OBRA:** Se considera el sueldo de una sola persona que se dedicaría solamente a la pulverización de la cáscara.

Mano de obra = N\$500 + 20% de prestaciones = N\$600.00

**ENERGIA ELECTRICA:** La energía eléctrica se toma en base al consumo del molino por el motor que requiere cada caso.

Se toma el costo de KWH al mes = N\$0.210 \* 8 horas al día \* 20 días = N\$33.60

Energía eléctrica = N\$33.60 \* Motor(HP) / 1.341 KWH/HP

**MANTENIMIENTO:** Se considera mensualmente para el molino, que aparte de aceite, en algunos meses será del cambio de bolas o recubrimiento con porcelana del mismo.

**DEPRECIACION:** Se le considera un tiempo de vida al molino de 10 años aunque sabemos que con un mantenimiento periódico puede durar mucho más tiempo.

**COSTO TOTAL AL MES:** Es la suma del subtotal y la depreciación.

**COSTO TOTAL POR KG:** Kg total al mes / Costo total.

Se presenta una tercera tabla donde están los resultados proforma, en esta parte vamos a tomar como que la carga de cáscara nos la vamos a autovender, por lo tanto la utilidad que obtenemos es en realidad la cantidad de dinero que vamos a dejar de pagar al no usar el  $\text{CaCO}_3$  y de forma indirecta nos da también la información al obtener el tiempo de retorno de la inversión de que rendimientos nos podría dar, la comercialización de la cáscara si fuera un negocio aparte.

Se toma como "costo de la inversión", para determinar el retorno, solamente el precio del molino, ya que la instalación de este, es muy barata y viene incluido el traslado a la planta en el costo.

Para elegir el molino que se utilizará, al hacer la tabla de la segunda parte de este estudio (inciso b), se utilizarán las gráficas que se encuentran en el anexo #4, junto con las tablas de todos los molinos calculados.

El molino escogido es el MB.#6, ya que al observar la gráfica de costo-inversión-recuperación, vemos que es donde se cruzan la curva de inversión con la de recuperación, y esto significa que es la mejor opción. Sin embargo se puede observar que se tienen varias opciones, que no son malas.

### Segunda Parte

Al final de este capítulo está la tabla 7.2 con los precios de algunas cargas que se mencionaron en el capítulo 3.

Se puede ver en la tabla que algunos de estos tipos de cargas, se elevan mucho en su precio, y en otros casos hay una disminución; esto es porque aunque todas son cargas, no todas se pueden utilizar para los mismo usos, ya que proporcionan diferentes características, se agregan en diferentes cantidades, y cada una es utilizada en una aplicación determinada.

---

Tabla 7.2 Precio de venta de algunas cargas

CARGA	PRECIO DE VENTA (NUEVOS PESOS)
Hidróxido de Ca	0.21 - 0.23
CaCO <sub>3</sub> micronizado	0.38 - 0.70
Caolín	0.4
Mica	0.34 - 0.40
Arcilla	0.40 - 0.50
Talco	0.43 - 0.50
Silicato de Mg	0.5
Sulfato de Ba	0.6
Carbón Mineral	0.7
Cáscara de nuez	0.75
CaCO <sub>3</sub> precipitado	1.00 - 1.30
Grafito	1.8
Oxido de Mg	2.42
Oxido de Zn	5.99 - 6.18
Negro de Humo	15.9

## CAPÍTULO 8

### *Conclusiones*

Después del trabajo teórico, de investigación, experimental y económico, podemos concluir lo siguiente:

1.- La cáscara de nuez es realmente un desecho, que por su densidad ocupa mucho volumen. Como se vio es fácilmente pulverizada. El proceso no es complicado y solamente se requiere de un molino de bolas.

2.- Por el estudio experimental sabemos que la cáscara de nuez es compatible con el PVC pero es necesario a través de otros estudios, el evaluar sus propiedades para algunas aplicaciones especiales, como las mencionadas en el análisis de resultados del capítulo 6, haciendo para cada caso su validación estadística. Con la experimentación podemos concluir que la cáscara de nuez, se puede utilizar pero no tiene que ser de la misma manera que el  $\text{CaCO}_3$ .

3.- Por el estudio económico, sabemos que podrá ser una buena propuesta, la pulverización de la cáscara de nuez y su uso, analizando la rápida recuperación de la inversión y la utilidad que se obtiene.

Tomando como referencia el costo de las otras cargas podemos ver que la cáscara de nuez tiene un precio competitivo. Pero para evaluar el costo de un determinado producto, es necesario hacer un estudio particular de él, en donde se suplirá la carga utilizada normalmente, de su fórmula por la cáscara de nuez. Se debe verificar que cumplan con los mismos requerimientos, para esto será necesario añadir otros aditivos. Ya que se consiguió igualar los productos se procede a evaluar su costo y es cuando se podrá analizar la competitividad.

4.- Como propuesta de estudio quedaran:

Probar su comportamiento con otros plásticos, en los que también es usado un porcentaje importante de carga.

Además podemos ver que la cáscara de nuez, tiene una gran cantidad de carbón, y que se carboniza a una temperatura fácilmente alcanzable, por lo que sería bueno, analizar las propiedades de este carbón. Cabe la posibilidad de que fuera carbón activado, y que tal vez repercutiría una mayor utilidad, que utilizándolo como carga.

---

5.- "La elaboración de una tesis experimental, puede enseñar fácilmente como se da la reacción en cadena, ya que en el momento en que se aprende o descubre algo nuevo, nos damos cuenta de que existen muchas otras, que se deben estudiar mejor, esto lleva a que después del primer conocimiento que se adquiere seguirá indefinidamente una serie de conocimientos por descubrir y estudiar, logrando una superación continua ."

"Lo más importante que me dejó este trabajo, fue la experiencia adquirida, ya que nunca se da cuenta uno de lo que puede hacer hasta que lo ve realizado, además de que al experimentar un conocimiento es como coserlo a nuestro ser, esto nunca se olvidará, porque fue parte de nuestra vida..."

---

## CAPÍTULO 9

*Anexos*

---

# **ANEXO # 1**

*Dibujos y Diagramas*

*de Molinos*

---

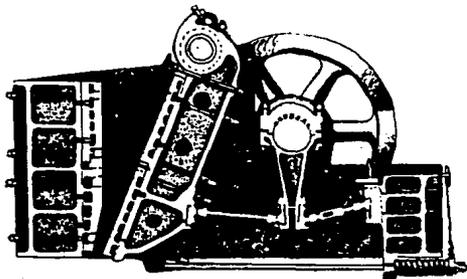


Fig. 9.1 Quebradora de quijadas tipo Blake

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

## Máquinas de presión directa

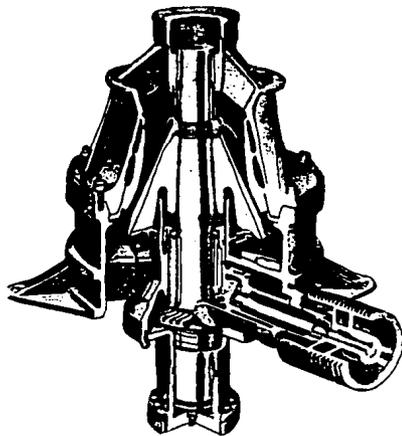


Fig. 9.2 Machacadora Hidrocone

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

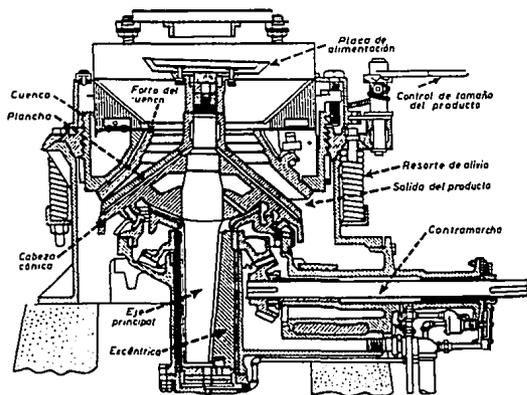


Fig. 9.3 Machacadora cónica de Symons

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

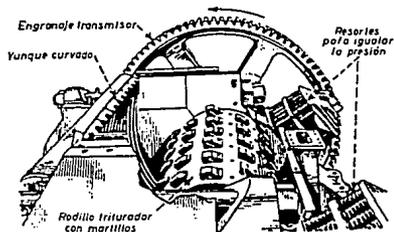


Fig. 9.4 Machacadora Fairmount de un solo cilindro

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

## Molinos de discos

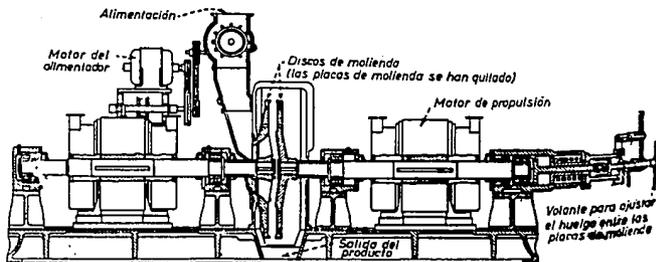


Fig. 9.5 Molino de atrición con dos discos giratorios

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

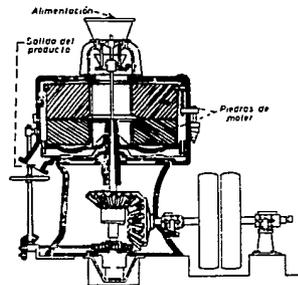


Fig. 9.6 Molino de piedra cuarzosa

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

## Molinos de rodillos

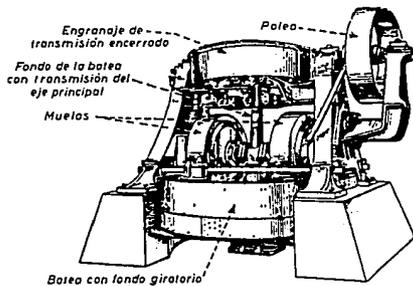


Fig. 9.7 Molino de rodillos y solera para trabajo pesado

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

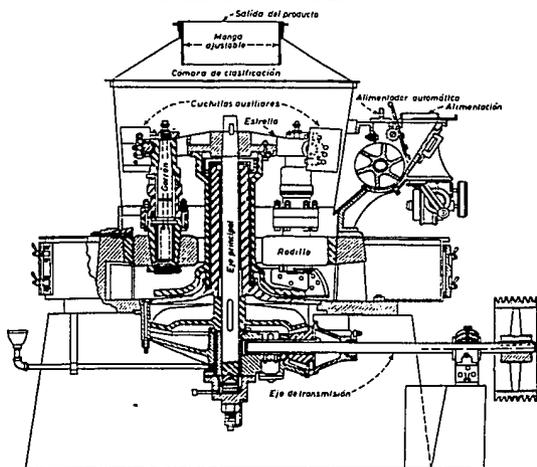


Fig. 9.8 Molino de rodillos y anillo

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

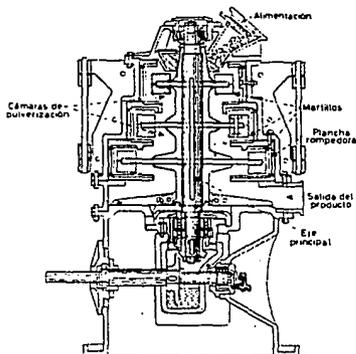


Fig. 9.9 Pulverizador de torbellino

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

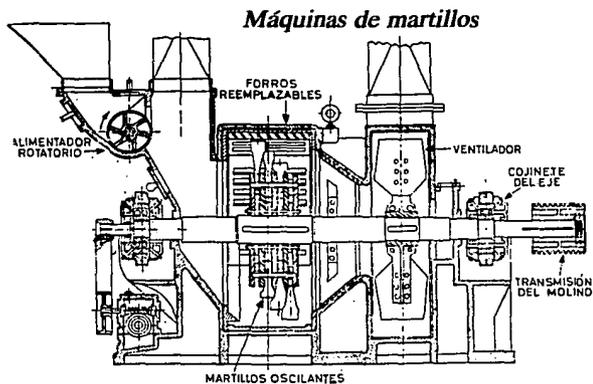


Fig. 9.10 Molino de martillos

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

### Molino de cilindros

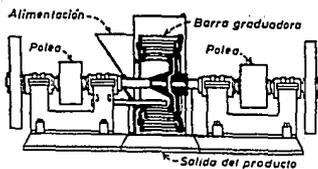


Fig. 9.11 Desintegrador o molino de jaula múltiple

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

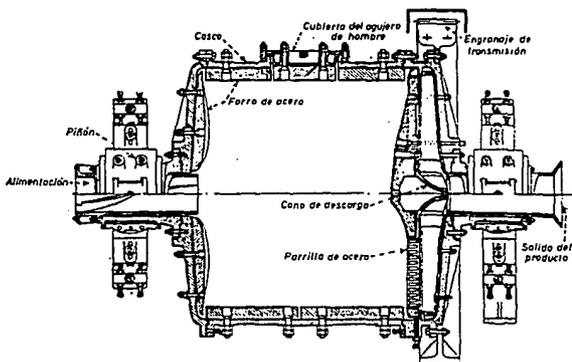


Fig. 9.12 Molino de Marcy, tipo de bolas continuo con rejilla

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

## Máquinas de martillos

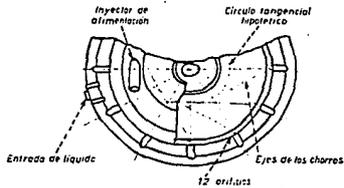
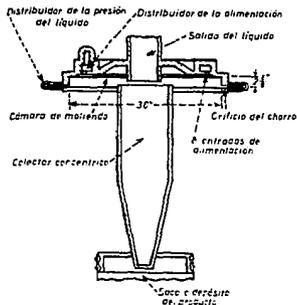


Fig. 9.13 Molino micronizador de chorro

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

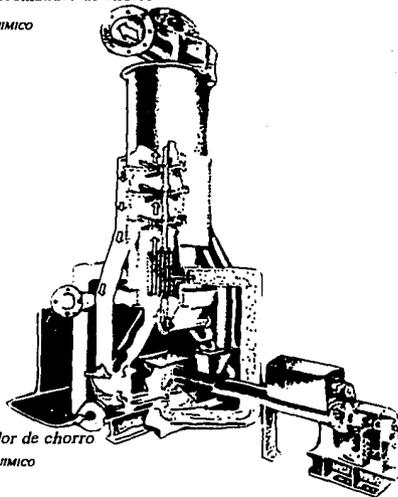


Fig. 9.14 Pulverizador de chorro

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO

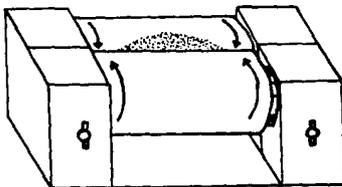
**ANEXO # 2**

*Uso de los Rodillos*

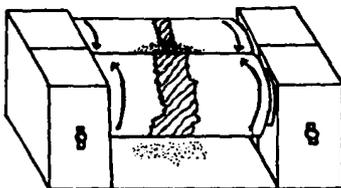
---

### Uso de los rodillos

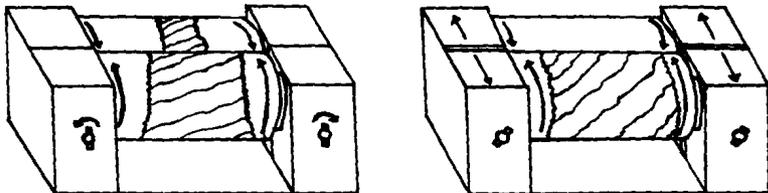
1. Los rodillos se prenden, y se elige la temperatura a la que se va a trabajar.
2. En el momento en que, el indicador de temperatura, empieza a prender y apagar, será la señal de que ya alcanzó la temperatura requerida y está listo para empezar a trabajar.
3. Los dos rodillos pueden estar juntos o separados. Para comenzar a plastificar el material, se tienen que cerrar lo mas posible, se pone encima de los dos rodillos, el compuesto en polvo que vamos a plastificar; ya que está ahí, se oprime el botón, que hace que giren los rodillos y comenzamos a trabajar.



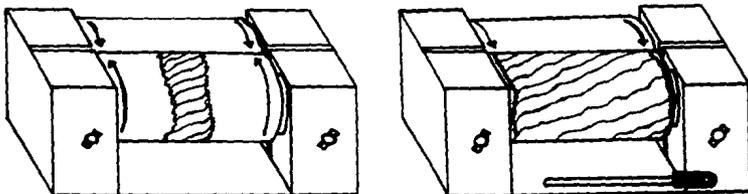
4. En las primeras vueltas, la mayoría del material se va a caer y muy poco va a quedar adherido a los rodillos, lo que se cayó, se vuelve a echar en los rodillos, las veces que sea necesario.



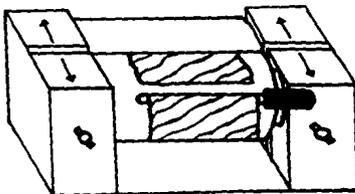
5. Cuando todo el material esta adherido a los rodillos, se van a abrir un poco y se va a tomar el material del rodillo posterior para pasarlo al delantero.



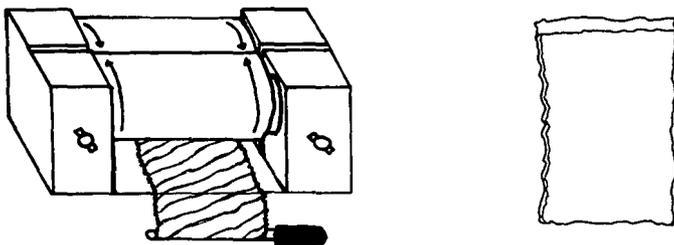
6. Se sigue trabajando un rato con el material, cada vez que gire el rodillo ira, pasándose ó extendiéndose a las orillas, y nosotros con la ayuda de una espátula, lo iremos mandando al centro.



7. Después de cinco minutos, o cuando notemos que ya esta plastificado, paramos los rodillos, los separamos más, cortamos la tela y la detenemos con la espátula.



8. Volvemos a presionar el botón de giro y sacamos la tela.



Se debe de tener mucho cuidado para no quemarse.

Para hacer las fichas, se toma un molde metálico, y cuando se tiene este material fundido, se junta y se llena el molde, se pasa a una prensa que también está caliente, se deja un momento, se saca, se deja enfriar y se desmolda.

## **A N E X O # 3**

*Resumen de los*

*Métodos ASTM*

---

### Método ASTM-D 2240 para medir la Dureza de los Plásticos:

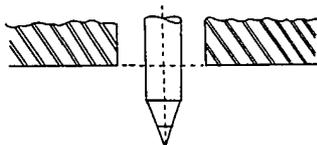
**Objetivos.-** Este método se puede utilizar para medir dos tipos de dureza: Shore A y Shore D. La dureza A se utiliza para plásticos flexibles y la dureza D para plásticos rígidos.

Este método permite medir la penetración inicial, la penetración después de un intervalo de tiempo o ambas.

Está basado en la resistencia que oponen los cuerpos a la penetración de un cuerpo extraño, bajo determinadas condiciones. Se considera como una función inversa al contenido de plastificante. A mayor cantidad de éste, menor dureza y viceversa. Se puede decir que una menor dureza es sinónimo de mayor suavidad y flexibilidad.

**Aparato Necesario.-** Se requiere de un durómetro; este consiste de los siguientes componentes: Una base, un penetrador y un indicador donde se puede dar lectura de la medida de dureza.

**FIG 9.15 PUNTA DEL DUROMETRO**



#### **METODO ASTM-D 2240**

**Muestras.-** Es necesario que las muestras de las que se vaya a medir la dureza tengan un espesor aproximado de 6 mm como mínimo para poder asegurar que el penetrador podrá medir realmente la dureza del material y no la de la superficie que sostiene al material.

Además la pieza debe de tener la superficie necesaria para que la base del durómetro quede perfectamente soportada en esta, para evitar errores en la medición.

---

**Condiciones.-** Se deben de condicionar las piezas a una temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ya que la medición de la dureza puede variar si se toma a otra temperatura. Si no es posible es conveniente tomar la temperatura a la que se midió considerando que a una temperatura mas baja la dureza puede ser mayor, a la real.

**Método.-** Se deben de poner las piezas previamente acondicionadas en una superficie dura, lisa y horizontal. Después se coloca el durómetro encima de la pieza checando que quede perfectamente apoyado y se le aplica presión provocando que el penetrador entre a la pieza y se procede a dar lectura, tomando nota. Esta medida puede ser en el instante o esperando un tiempo para que la fuerza sea uniforme y la medición sea estable.

Tome 5 medidas en diferentes lugares de la pieza y saque el promedio, este será el valor que debe reportar.

Es importante considerar que el durómetro puede ser calibrado con una placa que trae cuando se compra o sabiendo que la dureza del cristal es de 100 Shore A.

Método ASTM-D 792 para medir la gravedad específica(densidad relativa) o densidad de los plásticos por desplazamiento:

**Objetivos.-** Este método es utilizado para determinar la gravedad específica (densidad relativa) y la densidad de plásticos en forma de películas, varillas, tubos o cualquier pieza moldeada. Se puede determinar la densidad en agua o en otro líquido.

La gravedad específica o densidad de un sólido es una propiedad que puede ser medida para identificar a un material, para seguir la secuencia de un cambio físico en una muestra, para indicar el grado de uniformidad de un artículo grande.

Los cambios en la densidad de una muestra, pueden ser ocasionados por algún cambio en la cristalinidad de la resina, perdida de plastificante absorción , de un solvente, o por otras causas. Diferentes porciones de una sola muestra pueden variar, en densidad por diferencia en su historia térmica, porosidad de la muestra y composición (plastificantes, pigmentos, carga, resina, etc.) de la misma.

La densidad es utilizada para calcular las proporciones entre resistencia-peso y costo-peso.

---

- Aparatos.-**
- a) Una Balanza Analítica equipada con un soporte fijo que permita poder sumergir la muestra en el líquido y pesar.
  - b) Un Alambre resistente a la corrosión para sumergir la muestra.
  - c) Un hundidor. Este se utiliza si la muestra tiene una densidad menor a la del agua y para poderlo sumergir es necesario aplicar una fuerza.
  - d) Un Vaso de inmersión, de boca ancha para facilitar la inmersión de la muestra en el líquido.
  - e) Termómetro

**Muestras.-** Las muestras deben de ser piezas del material que se esta determinando de cualquier tamaño pero que sea conveniente al equipo con el que se evaluarán. Estas no deben tener un volumen menor a  $1\text{cm}^3$  y la superficie debe ser lisa. El espesor de la muestra debe tener como mínimo 1mm por cada gramo que pese la muestra.

Estas piezas también deberán estar libres de grasa, aceite o cualquier otro tipo de material.

**Condiciones.-** Las muestras deben estar acondicionadas por lo menos 40 horas antes de hacer la evaluación a una temperatura de  $23 \pm 2\text{ C}$  y una humedad relativa de  $50 \pm 5\%$ .

El líquido en el que se sumergirán las muestras será agua que deberá estar libre de aire, y que sea desmineralizada o destilada.

**Método.-** Pese la muestra. Con una variación de 0.1 mg para especímenes que pesan de 1 a 10 g o con una variación de un mg para especímenes entre 10 y 50 g.

Enganche a la balanza el alambre, cuidando de que este sea lo suficientemente largo como para asegurar que la muestra será sumergida en el vaso.

Enganche la muestra al alambre y manténgalo suspendido aproximadamente a 2.5 cm de la superficie del vaso.

Ahora monte el vaso en el soporte, llénelo de agua a  $23 \pm 2\text{ C}$  y complete la inmersión del material. Remueva todas las burbujas adheridas a la muestra, alambre y en caso de necesitar sumergidor también de este. Normalmente estas burbujas pueden ser removidas con un alambre, si no se pueden remover o continúan formándose es recomendable usar vacío.

Se toma el peso de esta muestra con precisión y se toma como "b". Si no hay otra indicación, se debe pasar rápidamente para minimizar la cantidad de agua absorbida por la muestra.

Quite la muestra y ahora pese el alambre y el sumergidor si uso, en agua cuidando que tengan la misma posición que cuando se peso la muestra y tome este valor como "w".

Repita el mismo procedimiento para todas las muestras, se recomienda hacerlo por lo menos con dos de ellas.

La medición de está propiedad se basa en el desplazamiento de un líquido por un material sólido sumergido en él. El peso específico es función directa de la carga incorporada al compuesto. A mayor cantidad de carga, mayor densidad. En menor grado está influenciada por el tipo de plastificante empleado.

#### Método ASTM-D 257-90 para medir la resistencia o conductancia D-C de materiales aislantes.

**Objetivo.-** Este método sirve para determinar la resistencia al paso de la corriente directa (aislante), la resistencia y resistividad volumétricas y superficiales para materiales considerados como aislantes eléctricos.

Los materiales aislantes son usados en componentes aislantes de sistemas eléctricos (para cada fase y para la tierra) así como para soportes mecánicos de estos mismos. Para estos propósitos es conveniente tener la resistencia lo más alto posible, siempre que se mantengan las propiedades de resistencia mecánica, química y calórica, requeridas en el compuesto.

La resistencia o conductancia pueden ser usadas para predecir indirectamente, la baja frecuencia dieléctrica y las propiedades del factor de disipación de algunos materiales. Normalmente son usadas como medidas indirectas del contenido de humedad, el grado de vulcanización, la continuidad mecánica y el deterioro de varios tipos. El uso de estas medidas deben estar basadas en una correlación teórico y experimental dependiendo de la investigación.

El cambio de la resistencia y la conductividad por la temperatura y humedad pueden ser conocidos con las condiciones de operación. Estos valores volumétricos determinados, pueden ser utilizados para checar la uniformidad que se tuvo durante el proceso de fabricación del

---

---

material, o para detectar impurezas conductoras, que afectan las cualidades del material y que pueden ser no detectadas por otros métodos.

**Aparatos.-** Suministro de Energía. Esta debe ser voltaje directo, puede ser una batería.

Medidores directos de corriente.

Un puente de Wheatstone para comparación.

Un sistema de electrodos adecuado a la muestra de material aislante a evaluar.

**Muestras.-** Variables.

**Método.-** a) Resistencia o conductividad (aislante) : Montar apropiadamente la muestra en la celda acondicionada para la prueba, si la celda de comparación y la de prueba son la misma, las muestras pueden ser montadas antes de empezar a acondicionar la celda. A menos de que haya otra especificación, el tiempo de electrificación podrá ser de 60 s y la aplicación de voltaje directo de 500 V. Se hace la medición con un aparato confiable por su sensibilidad y exactitud.

b) Resistividad o conductividad Volumétrica: Medir las dimensiones de los electrodos, la distancia entre ellos se le conocerá como "g". Hacer la medición con el equipo y condiciones iguales que en el caso anterior.

c) Resistencia o conductancia superficial: Con los datos anteriores medir entre los electrodos 1 y 2 con el equipo confiable.

---

## **A N E X O # 4**

*Estudio Económico de  
la pulverización de  
la cáscara de nuez*

---

Tabla 9.1 Datos del molino

	M.B.1	M.B.2	M.B.3	M.B.4	M.B.5	M.B.6
MODELO DEL MOLINO						
DIAMETRO INT.(CM)	46	53.5	61	61	61	76
LONGITUD INT.(CM)	61	71	61	76	91.5	76
VOL.INT.TOTAL SIN BOLAS(dm <sup>3</sup> )	56	102	113	147	177	249
CARGA UTIL (KG)	4.6	7.5	8.8	11.25	12.75	18.75
CARGA DE BOLAS(KG)	40	81	59	104	131	133
TIEMPO/CARGA	15	20	20	20	20	25
CARGAS/HORA	4	3	3	3	3	2.4
MOTOR (HP)	0.75	1	1.5	1.5	1.5	2
RPM DEL CILINDRO	45	45	40	40	40	36
CAPACIDAD (KG/AÑO)	12,718	15,552	18,248	23,328	26,438	31,104
COSTO DEL MOLINO	10,984	12,392	13,870	14,808	15,544	18,123

DATOS COMESA

Tabla 9.2 Estructura de costos

COSTO  
UNITARIO

KG DE CASCARA AL MES	1,081	1,322	1,551	1,983	2,247	2,644
VOLUMEN OCUPADO	3,603	4,406	5,170	6,610	7,491	8,813
MATERIA PRIMA	0.1	108	132	155	198	264
FLETE	0.06	252	308	362	463	617
MERMA		2	3	3	4	5
MANO DE OBRA		600	600	600	600	600
ENERGIA ELECTRICA	33.6	19	25	38	38	50
MANTENIMIENTO		100	100	100	100	100
<b>SUBTOTAL</b>		1,081	1,168	1,258	1,403	1,491
DEPRECIACION		92	103	116	123	130
<b>COSTO TOTAL AL MES</b>		1,173	1,272	1,373	1,526	1,621
<b>COSTO TOTAL POR KG</b>		1.08	0.96	0.89	0.77	0.72

Tabla 9.3 Resultados proforma

COSTO  
UNITARIO

VENTAS(Kg/AÑO)	1	12,718	15,552	18,248	23,328	26,438	31,104
COSTO (Kg/AÑO)		13,798	14,960	16,156	17,952	19,067	21,032
UTILIDAD BRUTA		(1,080)	592	2,091	5,376	7,371	10,072
INVERSION		10,984	12,392	13,870	14,808	15,544	18,123
RETORNO DE LA INVERSION			20.94	6.63	2.75	2.11	1.80

Tabla 9.1 Datos del molino

	M.B.7	M.B.8	M.B.9	M.B.10	M.B.11
MODELO DEL MOLINO	76	91.5	91.5	106.5	122
DIAMETRO INT.(CM)	91.5	106.5	122	122	122
LONGITUD INT.(CM)	302	492	586	813	1090
VOL.INT.TOTAL SIN BOLAS(dm <sup>3</sup> )	22.87	37.5	44.625	61.12	82.31
CARGA UTIL (KG)	211	340	454	590	746
CARGA DE BOLAS(KG)	25	25	25	30	30
TIEMPO/CARGA	2.4	2.4	2.4	2	2
CARGAS/HORA	2	3	3	5	5
MOTOR (HP)	36	32	32	29	25
RPM DEL CILINDRO	37,939	62,208	74,028	84,492	113,785
CAPACIDAD (KG/AÑO)	19,164	24,176	25,321	31,407	35,256
COSTO DEL MOLINO					

DATOS COMESA

Tabla 9.2 Estructura de costos

COSTO  
UNITARIO

KG DE CASCARA AL MES		3,225	5,288	6,292	7,182	9,672
VOLUMEN OCUPADO		10,749	17,626	20,974	23,939	32,239
MATERIA PRIMA	0.1	322	529	629	718	967
FLETE	0.06	645	1,058	1,258	1,436	1,934
MERMA		6	11	13	14	19
MANO DE OBRA		600	600	600	600	600
ENERGIA ELECTRICA	33.6	50	75	75	125	125
MANTENIMIENTO		100	100	100	100	100
SUBTOTAL		1,724	2,372	2,675	2,994	3,746
DEPRECIACION		160	201	211		294
COSTO TOTAL AL MES		1,884	2,574	2,886	2,994	4,040
COSTO TOTAL POR KG		0.58	0.49	0.46	0.42	0.42

Tabla 9.3 Resultados proforma

COSTO  
UNITARIO

VENTAS(Kg/AÑO)	1	37,939	62,208	74,028	84,492	113,785
COSTO (Kg/AÑO)		22,161	30,277	33,958	35,226	47,529
UTILIDAD BRUTA		15,777	31,931	40,069	49,266	66,257
INVERSION		19,164	24,176	25,321	31,407	35,256
RETORNO DE LA INVERSION		1.21	0.76	0.63	0.64	0.53

Tabla 9.1 Datos del molino

	M.B.12	M.B.13	M.B.14	M.B.15	M.B.16
MODELO DEL MOLINO	122	137	137	137	152.5
DIAMETRO INT.(CM)	152.5	106.5	122	152.5	122
LONGITUD INT.(CM)	1400	1211	1355	1725	1760
VOL.INT.TOTAL SIN BOLAS(dm3)	104.62	91.5	102.94	130.12	131.81
CARGA UTIL (KG)	1089	908	953	1175	1166
CARGA DE BOLAS(KG)	30	30	30	35	35
TIEMPO/CARGA	2	2	2	1.7	1.7
CARGAS/HORA	7.5	7.5	7.5	10	10
MOTOR (HP)	25	22	22	22	22
RPM DEL CILINDRO	144,627	126,490	142,304	152,896	154,882
CAPACIDAD (KG/AÑO)	46,630	44,087	46,590	57,316	57,018
COSTO DEL MOLINO					

DATOS COMESA

Tabla 9.2 Estructura de costos

COSTO  
UNITARIO

KG DE CASCARA AL MES		12,293	10,752	12,096	12,996	13,165
VOLUMEN OCUPADO		40,978	35,839	40,320	43,321	43,883
MATERIA PRIMA	0.1	1,229	1,075	1,210	1,300	1,316
FLETE	0.06	2,459	2,150	2,419	2,599	2,633
MERMA		25	22	24	26	26
MANO DE OBRA		600	600	600	600	600
ENERGIA ELECTRICA	33.6	188	188	188	251	251
MANTENIMIENTO		100	100	100	100	100
SUBTOTAL		4,600	4,135	4,541	4,875	4,926
DEPRECIACION		389	367	388	478	475
COSTO TOTAL AL MES		4,989	4,502	4,929	5,353	5,402
COSTO TOTAL POR KG		0.41	0.42	0.41	0.41	0.41

Tabla 9.3 Resultados proforma

COSTO  
UNITARIO

VENTAS(Kg/AÑO)	1	144,627	126,490	142,304	152,896	154,882
COSTO (Kg/AÑO)		58,695	52,968	57,990	62,977	63,547
UTILIDAD BRUTA		85,932	73,521	84,315	89,919	91,335
INVERSION		46,630	44,087	46,590	57,316	57,018
RETORNO DE LA INVERSION		0.54	0.60	0.55	0.64	0.62

Tabla 9.1 Datos del molino

	M.B.17	M.B.18	M.B.19	M.B.20	M.B.21
MODELO DEL MOLINO					
DIAMETRO INT.(CM)	152.5	152.5	183	183	183
LONGITUD INT.(CM)	152.5	183	152.5	177	213
VOL.INT.TOTAL SIN BOLAS(dm <sup>3</sup> )	2168	2725	3292	3761	4617
CARGA UTIL(KG)	163.31	204.19	246.75	285.94	348
CARGA DE BOLAS(KG)	1498	1906	2270	2615	3223
TIEMPO/CARGA	35	35	35	35	40
CARGAS/HORA	1.7	1.7	1.7	1.7	1.5
MOTOR (HP)	10	15	15	15	20
RPM DEL CILINDRO	22	22	19	19	19
CAPACIDAD (KG/AÑO)	191,896	239,931	289,941	335,991	360,806
COSTO DEL MOLINO	62,858	82,225	89,317	95,518	125,455

DATOS COMESA

Tabla 9.2 Estructura de costos

COSTO  
UNITARIO

KG DE CASCARA AL MES		16,311	20,394	24,645	28,559	30,669
VOLUMEN OCUPADO		54,370	67,981	82,150	95,197	102,228
MATERIA PRIMA	0.1	1,631	2,039	2,464	2,856	3,067
FLETE	0.06	3,262	4,079	4,929	5,712	6,134
MERMA		33	41	49	57	61
MANO DE OBRA		600	600	600	600	600
ENERGIA ELECTRICA	33.6	251	376	376	376	501
MANTENIMIENTO		100	100	100	100	100
SUBTOTAL		5,877	7,235	8,519	9,701	10,463
DEPRECIACION		524	685	744	796	1,045
COSTO TOTAL AL MES		6,400	7,920	9,263	10,497	11,508
COSTO TOTAL POR KG		0.39	0.39	0.38	0.37	0.38

Tabla 9.3 Resultados proforma

COSTO  
UNITARIO

VENTAS(Kg/AÑO)	1	191,896	239,931	289,941	335,991	360,806
COSTO (Kg/AÑO)		75,298	93,177	108,976	123,491	135,394
UTILIDAD BRUTA		116,598	146,754	180,965	212,500	225,413
INVERSION		62,858	82,225	89,317	95,518	125,455
RETORNO DE LA INVERSION		0.54	0.56	0.49	0.45	0.56

Tabla 9.1 Datos del molino

	M.B.22	M.B.23	M.B.24	M.B.25	M.B.26
MODELO DEL MOLINO					
DIAMETRO INT.(CM)	183	183	237	237	237
LONGITUD INT.(CM)	244	305	237	305	366
VOL.INT.TOTAL SIN BOLAS(dm <sup>3</sup> )	5374	6813	9245	11883	14302
CARGA UTIL (KG)	408.56	510.75	693	893.62	1072.12
CARGA DE BOLAS(KG)	3677	4994	6682	8535	10625
TIEMPO/CARGA	40	40	45	45	45
CARGAS/HORA	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3
MOTOR (HP)	20	25	35	40	50
RPM DEL CILINDRO	19	19	16	16	16
CAPACIDAD (KG/AÑO)	423,595	529,546	622,702	802,971	963,364
COSTO DEL MOLINO	134,298	158,581	200,731	229,329	285,304

DATOS COMESA

Tabla 9.2 Estructura de costos

COSTO  
UNITARIO

		36,006	45,011	52,930	68,253	94,484
KG DE CASCARA AL MES						
VOLUMEN OCUPADO		120,019	150,038	176,432	227,509	314,946
MATERIA PRIMA	0.1	3,601	4,501	5,293	6,825	9,448
FLETE	0.06	7,201	9,002	10,586	13,651	18,897
MERMA		72	90	106	137	189
MANO DE OBRA		600	600	600	600	600
ENERGIA ELECTRICA	33.6	501	626	877	1,002	1,253
MANTENIMIENTO		100	100	100	100	100
SUBTOTAL		12,075	14,920	17,562	22,315	30,487
DEPRECIACION		1,119	1,322	1,673	1,911	2,378
COSTO TOTAL AL MES		13,194	16,241	19,234	24,226	32,864
COSTO TOTAL POR KG		0.37	0.36	0.36	0.35	0.35

Tabla 9.3 Resultados proforma

COSTO  
UNITARIO

		423,595	529,546	622,702	802,971	963,364
VENTAS(Kg/AÑO)	1					
COSTO (Kg/AÑO)		155,223	191,075	226,288	285,007	335,088
UTILIDAD BRUTA		268,372	338,471	396,414	517,964	628,276
INVERSION		134,298	158,581	200,731	229,329	285,304
RETORNO DE LA INVERSION		0.50	0.47	0.51	0.44	0.45

Fig 9.16 Estudio Económico  
Costo por kilogramo

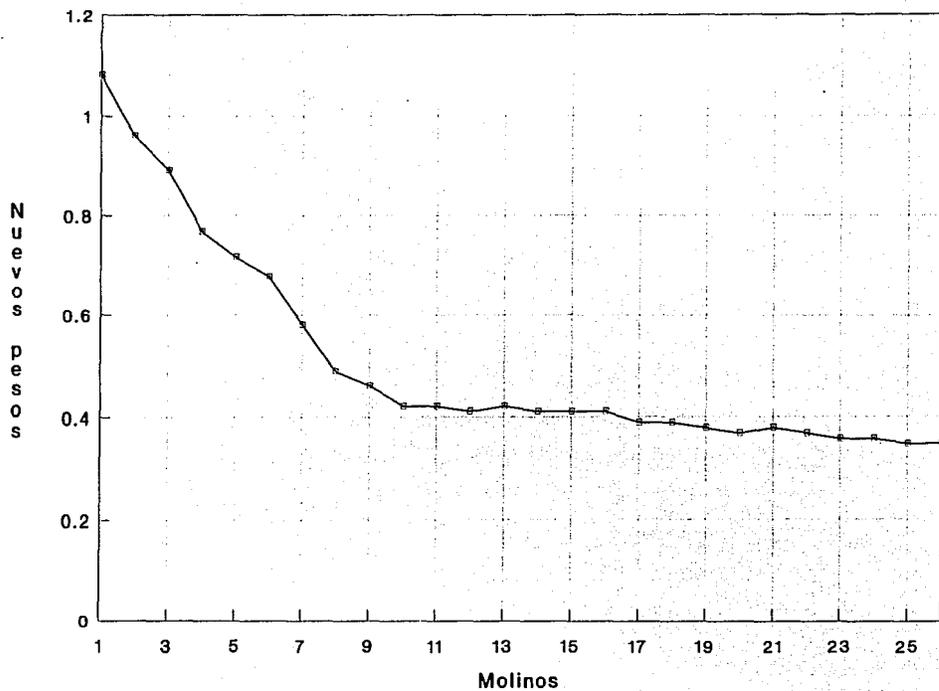


Fig 9.17 Estudio Económico  
Inversión

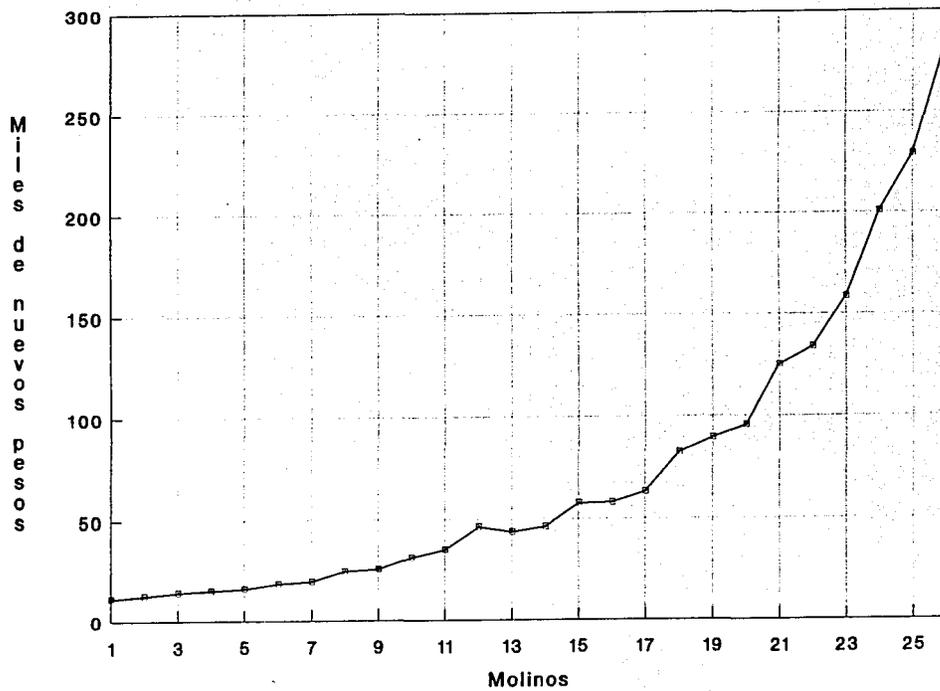


Fig 9.18 Estudio Económico  
Recuperación

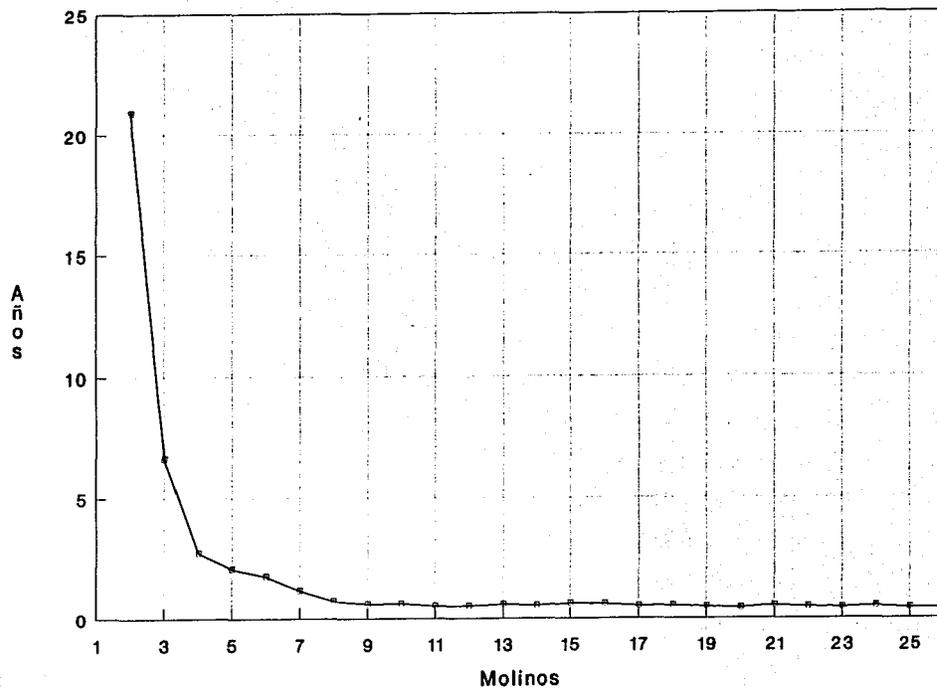
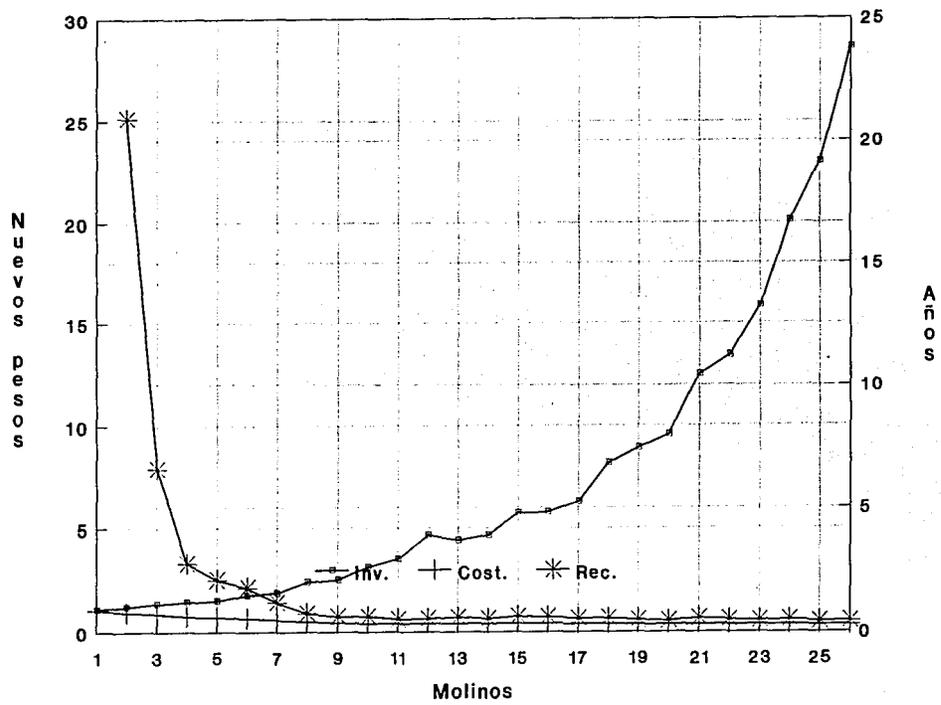
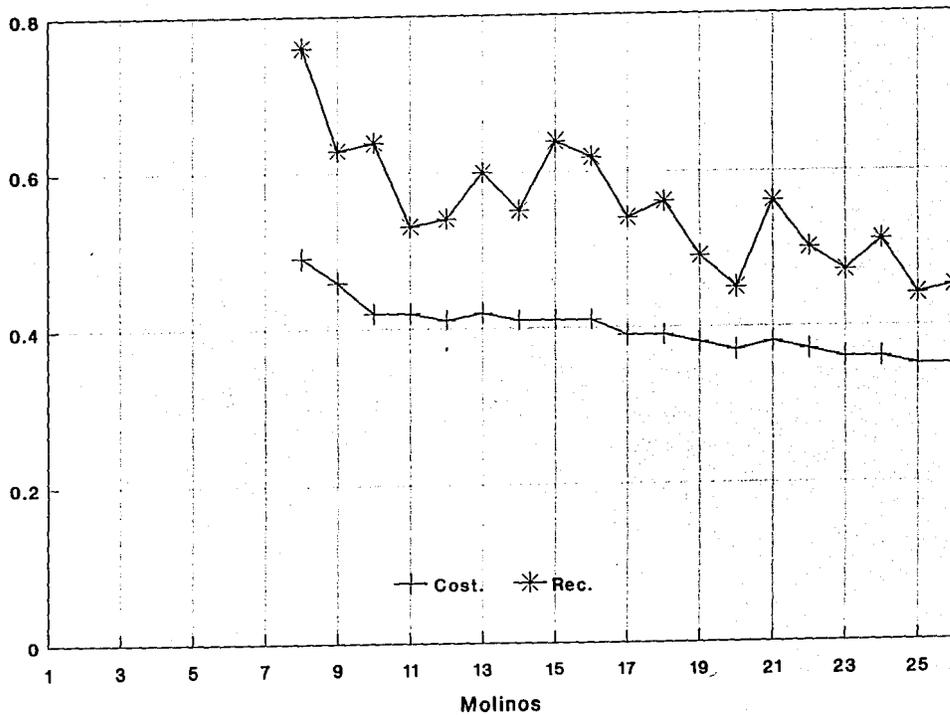


Fig 9.19 Estudio Económico  
Costo-Inversión-Recuperación



Inv. se multiplica por N\$10,000

Fig 9.20 Estudio Económico  
Amplificación de la fig 9.19



---

## CAPÍTULO 10

### *Glosario*

- AISSLANTE:** Nombre genérico de las materias que, por su gran resistencia eléctrica, pueden ser utilizadas como no conductores. Un conductor puede ejercer acciones electrostáticas sobre otro conductor próximo del cual se halle separado por un aislante. Este se llama entonces dieléctrico y el conjunto forma un condensador.
- ALQUITRAN:** Substancia resinosa y empireumática que se saca principalmente por destilación de la hulla, turba, esquistos, lignito y madera. Este y sus derivados se usan para la fabricación de colorantes, materias plásticas, perfumes sintéticos, protección de la madera, etc.
- CATALIZADOR:** Cuerpo capaz de acelerar una reacción química sin descomponerse ni combinarse.
- CAUSTICO:** Que ataca o corroe los tejidos animales o vegetales.
- CICLICAS:** Aromática. Conjunto formado por los compuestos orgánicos cuya molécula contiene una o varias cadenas cerradas, por oposición a la serie acíclica.
- COAGULACION:** Acción de un agente físico o químico en virtud de la cual una substancia coloidal se agrega o solidifica.
- COHESION:** Adherencia, fuerza que une las moléculas de un cuerpo.
- CONCENTRICO:** Dícese de dos o más figuras que tienen un mismo centro.
- CONSTANTE DIELECTRICA:** Relación entre la capacidad de un condensador provisto de un dieléctrico determinado y la capacidad del mismo cuando sus armaduras se hallan separadas por el aire.
-

---

<b>CONVERSION:</b>	Acción de convertir una cosa en otra.
<b>DEXTRINA:</b>	Substancia gomosa, análoga a la goma arábiga, que resulta de la despolimerización del almidón. Se usa para encolar papeles, como espesante de líquidos y como apresto de telas.
<b>DIELECTRICO:</b>	Carecen de conductividad eléctrica (ver aislante), pero en su interior puede existir un campo eléctrico al estado estático.
<b>DILATAACION:</b>	Aumento de volumen de un cuerpo por efecto del calor que separa sus moléculas y disminuye su densidad.
<b>DIPOLO:</b>	Conjunto formado por dos polos magnéticos infinitamente cercanos y de masas magnéticas opuestas.
<b>ESCALA MOH:</b>	1-Talco, 2-Yeso, 3-Calcita, 4-Fluoruro, 5-Apatita, 6-Feldspato, 7-Cuarzo, 8-Topacio, 9-Corindón, 10-Diamante.
<b>ESTEQUIOMETRICAS:</b>	Proporciones en que se combinan o reaccionan los cuerpos.
<b>EXOTERMICA:</b>	Que desprende calor.
<b>EXTINCION:</b>	Acción y efecto de extinguir o apagar.
<b>GUIJARROS:</b>	Canto rodado, piedra alisada a fuerza de frotar con otras en el lecho de un río o en las playas.
<b>HIGROSCOPICIDAD:</b>	Dícese de las substancias ávidas de agua y de aquellas sobre las cuales se condensa fácilmente el vapor de agua atmosférico.
<b>HUELGO:</b>	Respiraderos, de un molde de fundición por los que salen los gases al vaciar el metal.
<b>HUSO:</b>	Palo redondo, con los extremos puntiagudos.

---

---

<b>INTERCADENA:</b>	Entre las cadenas.
<b>ISOTROPICO:</b>	Dícese de los cuerpos y medios cuyas propiedades físicas se manifiestan igualmente en todas las direcciones.
<b>LIGADURAS QUIMICAS:</b>	Enlaces.
<b>MONOMERO:</b>	Dícese del cuerpo cuyas moléculas pueden, mediante una reacción apropiada, unirse unas con otras para formar las macromoléculas de un polímero.
<b>PETROQUIMICO BASICO:</b>	Derivado del petróleo. Se les llama básicos a los que resultan directamente del cracking del petróleo.
<b>PIROLISIS:</b>	Descomposición química que se obtiene por calentamiento intenso.
<b>POLIMERO:</b>	Dícese del compuesto cuya molécula se halla constituida por la unión de varias moléculas idénticas.
<b>REMANENTE:</b>	Que perdura.
<b>SOLERA:</b>	Muela del molino asentada horizontalmente y sobre la cual rueda la volandera (muela vertical).
<b>TERMOFIJO:</b>	Material que sufre una reacción química por la acción de calor, catalizadores, luz UV, etc., dando lugar a un estado relativamente infusible y que básicamente no puede reblan- decerse repetidamente.
<b>TERMOPLASTICO:</b>	Se dice de los plásticos que cada vez que son calentados, el calor los ablanda, pero al enfriarse recobran su forma.
<b>TOBERA:</b>	Conducto apropiadamente perfilado para que el fluido que por el circula aumente su velocidad (con pérdida de presión) o su presión (reduciendo entonces su velocidad).

---

**TREN DE  
OXICLORACION:**

Es el lugar donde se lleva a cabo la oxiclорación (cuando dos átomos de cloro de un cloruro son reemplazados por átomos de oxígeno).

**VORTICE:**

Torbellino que se forma en un recipiente cuando se vacía por un orificio situado en el fondo.

---

---

## BIBLIOGRAFIA

1. Baron, L.C., Peanut J. and Nut World, 28, N°1, 77-80 (1948).
  2. Billmeyer Fred W. Jr.  
Ciencia de los Polímeros.  
Editorial Reverté. Barcelona. 1975.
  3. Cargas en los Plásticos. Panorama Plástico. Num 29 Año 5 pág 34, Abril 1989
  4. Ferdinand Rodríguez.  
Principios de Sistemas de Polímeros.  
Editorial el Manual Moderno.México. 1985
  5. Hernández Espinoza Fernando.  
Criterios termodinámicos para selección de pigmentos en termoplásticos y su evaluación práctica.  
Tesis profesional de Ingeniería Química. ULSA. 1988.
  6. Instituto Mexicano del Plástico Industrial,S.C.Policloruro de Vinilo (PVC). Panorama Plástico. Num16 Año3 pág 37, Mayo/Junio 1987.
  7. Lindsay Karen F. with Mapleston Peter. Chemicals and Additives. Modern Plastics International. Vol 23 No.9 pág 33, September 1993.
  8. Métodos de control para resinas de suspensión. Panorama Plástico.Num22 Año 4 pág 9, Mayo/Junio 1988.
  9. Mezclado y Preparación de compuestos de PVC. Panorama Plástico. Num 24 Año 4 pág 13, Sep/Octubre 1988.
  10. Modificadores de Impacto y de Flujo. Panorama Plástico. Num29 Año 5 pág 9 , Abril 1989.
  11. Perry J. H.  
Manual del Ingeniero Químico.
-

---

Mc Graw-Hill. México. 1987

12. Reciclado; LDPE (Polietileno de Baja Densidad). Hules y Plásticos de México. Revista Tecnológica. Año 1, No.4, pág 23 Mayo 1993.
  13. Rogers Jack K. Global Report "Filler cuts acid Fumes from burned PVC. Modern Plastics International. Vol.23 No.8 pág 9, August 1993.
  14. Sattler Eric R. Lost- core molding offers a route to hollow parts with complex geometries. Modern Plastics International. Vol.23 No.1 pág 38, January 1993.
  15. Simonds Herbert R.  
Plásticos : Formulación y moldeo .  
Editorial Continental. México. 1985
  16. Tuczaí Eva and Cortolano Frank. Making Reformulated PVC work. Modern Plastics International. Vol.69 No.10 pág 123, October 1992.
  17. Uribe Velasco Miguel  
Los Polímeros: síntesis y características .  
Editorial Limusa. México. 1987
  18. Métodos ASTM.  
D 792 -86 Standard Test Methods for Specific Gravity (Relative Density) and Density of Plastics by Displacement.  
D 2240 -86 Standard Test Methods for Rubber Property - Durometer Hardness.  
D 257 -90 Standard Test Methods for D-C Resistance or Conductance of Insulating Materials.  
D 638 -90 Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics.
  19. Información de:  
  
ALTARESIN (Empresa). Comunicación Oral . Uso de Instalaciones.  
  
CENTRAL DE ABASTOS. Comunicación Oral.  
  
COMESA (Empresa). Comunicación Oral.
-

**MOLINERA DEL BAJIO (Empresa). Comunicación Oral.**

**PRIMEX (Empresa). Comunicación Oral. uso de Instalaciones.**

**LAB. DE METALURGIA DE LA DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM. Comunicación Oral. Uso de Instalaciones.**

---