

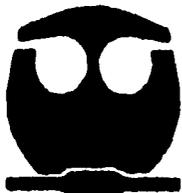
98  
297  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**ESTUDIO PARA ESTABLECER LA IMPORTANCIA DE LA  
DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE PARTICULA DE .  
POLIETILENO ALTA DENSIDAD (P.E.A.D.) PULVERIZADO,  
APLICADO AL PROCESO DE TRANSFORMACION DE  
MATERIALES PLASTICOS POR MOLDEO ROTACIONAL**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
GABRIEL ALEJANDRO OCAÑA FUENTES**



MEXICO, D. I.

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

**JURADO ASIGNADO**

<b>PRESIDENTE</b>	<b>PROF. CARLOS SANCHEZ MORENO</b>
<b>VOCAL</b>	<b>PROF. HUMBERTO RANGEL DAVALOS</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>PROF. MARCO ANTONIO URESTI MALDONADO</b>
<b>1er. SUPLENTE</b>	<b>PROF. LUIS MIGUEL RIVERA CHAVEZ</b>
<b>2º SUPLENTE</b>	<b>PROF. GERARDO REYES ALDEROSO</b>

**LUGAR DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

**INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO ( I.M.P. )**  
EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS No. 152  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
C.P. 07730 MEXICO, D.F.  
TEL. 3-68-59-11, 3-68-93-33 Y 5-87-29-77

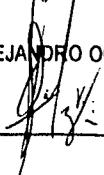
**ROTOPLAS S.A. DE C.V.**  
ANAHUAC No. 91  
COL. EL MIRADOR C.P. 04950  
DELEGACIÓN COYOACAN  
MEXICO, D.F. TEL. 6-73-03-39

**ASESOR DEL TEMA: ING. QUIMICO HUMBERTO RANGEL DAVALOS**

  
\_\_\_\_\_

**SUSTENTANTE:**

**SR. GABRIEL ALEJANDRO OCAÑA FUENTES**

  
\_\_\_\_\_

**A MI ASESOR DE TESIS Y PROFESOR DE LA FACULTAD:  
I.Q. HUMBERTO RANGEL DAVALOS, POR LA  
CONFIANZA DEPOSITADA Y LOS CONOCIMIENTOS  
PROPORCIONADOS PARA OBTENER LA LICENCIATURA.**

**AL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO ( I.M.P. )  
Y A ROTOPLAS S.A.DE C.V. POR APOYARME Y  
FACILITARME LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS UTILIZADOS.**

**AGRADESCO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO ( U.N.A.M. ) LA OPORTUNIDAD  
DE PODER REALIZAR MIS ESTUDIOS PROFESIONALES.,  
PERO EN ESPECIAL, A LA FACULTAD DE QUIMICA ;  
PUESTO QUE LA CONSIDERO TAN MIA Y EL PODER  
PRESUMIR DE ELLA Y DEFENDERLA.  
POR LOS RECUERDOS DE LOGROS Y FRACASOS QUE  
ME DEJA, PERO SOBRE TODO POR LAS ALEGRÍAS Y  
EXPERIENCIAS...**

A MIS PADRES CELIA Y ROGELIO. POR QUE  
EN BASE A SU ESFUERZO Y TRABAJO. ME  
PROPORCIONARON LA EDUCACION, ESTUDIOS.  
PRINCIPIOS, APOYO, AMOR Y CARINO.

A MI ESPOSA YOLI, QUIEN SIEMPRE ME HA  
APOYADO DURANTE TODO EL TIEMPO  
QUE HEMOS COMPARTIDO.

POR QUE ME HA AYUDADO A FORMARME UN  
CARACTER DE FORTALEZA Y CONSTANCIA Y  
POR EL ESFUERZO REALIZADO POR ELLA MISMA.  
PARA SU LICENCIATURA DE Q.F.B. MICROBIOLOGIA.

A LA MEMORIA DE MI ABUELITA ANTONIA  
A LA MEMORIA DE MI PAPA JESUS OCAÑA  
A LA MEMORIA DE MI AMIGA, BERTHA VILLAGOMEZ B.

**POR LA GRAN SATISFACCION DE PODERLES  
BRINDAR ESTE TRABAJO A MIS HERMANOS :  
GERARDO Y CESAR ., EL CUAL QUIERO QUE  
LO ACEPTEN COMO SUYO.**

**CON ENORME AGRADECIMIENTO A  
MINERVA RODRIGUEZ., POR LA GRAN  
AYUDA BRINDADA DESINTEREZADAMENTE.  
PARA LA ELABORACION DEL ESCRITO DE ESTA TESIS**

**A MI TIA RAQUEL, POR EL INTERES Y CUIDADO  
QUE SIEMPRE MOSTRO PARA DURANTE TODO  
EL TRAYECTO DE MI PREPARACION PERSONAL  
Y PROFESIONAL.**

**A TODOS MIS AMIGOS., EN ESPECIAL:  
A LAURA Y A JORGE Y A MIS AMIGOS  
DE TODA LA VIDA., POR QUE ELLOS  
JAMAS SE OLVIDAN.**

**A MI ABUELITO JESUS, POR SU VIDA TRABAJADORA.**

**A TODOS AQUELLOS PROFESORES., QUE A LO LARGO  
DE MIS ESTUDIOS HAN INTERVENIDO PARA MI  
FORMACION PROFESIONAL .**

**A LA FAMILIA DIAZ, POR LA ACEPTACION  
Y BUEN TRATO QUE HAN TENIDO  
PARA CONMIGO.**

**ESTA TESIS, ME LA DEDICO A MI MISMO.,  
PARA MANTENER POR SIEMPRE LA  
CONSTANCIA, TENACIDAD, POSITIVISMO,  
FORTALEZA Y SEGURIDAD PROPIA PARA  
HACER FRENTE A CUALQUIER OBSTACULO  
Y CONSEGUIR LOGROS.**

**PARA APLICAR BIEN Y HONESTAMENTE MIS  
CONOCIMIENTOS , LOGRANDO UNA  
SATISFACCION PROPIA, DE MI FAMILIA Y DE  
CUANTOS ME RODEAN.**

# INDICE

	<b>Página</b>
Prologo .....	1
Diagrama de bloques correspondiente a los capítulos .....	2
Capítulo I.- Introducción .....	3
Capítulo II.- Generalidades sobre materiales plásticos .....	5
II.1.- Plásticos Termofijo o Termoestables .....	6
II.1.a.- Silicones .....	7
II.1.b.- Fenólicos .....	7
II.1.c.- Celulosa .....	7
II.1.d.- Polímeros Acetálicos .....	8
II.1.e.- Acrílicos .....	8
II.1.f.- Epóxicos .....	8
II.2.- Plásticos Termoplásticos .....	8
II.2.a.- Polietilen Tereftalato .....	9
II.2.b.- Polietileno baja densidad .....	9
II.2.c.- Polietileno alta densidad .....	9
II.2.d.- Fluorocarbono .....	10
II.2.e.- Estireno Acrilo Nitrilo .....	10
II.2.f.- Polibutylene .....	10
II.2.g.- Poliámidas .....	10
II.2.h.- Policarbonato .....	11
II.2.i.- Etilen Vinil Acetato .....	11
II.2.j.- Poli Vinil Cloruro .....	11
Capítulo III.- Objetivos .....	13
Capítulo IV.- Principales procesos de transformación de los materiales plásticos ..	14
IV.1.- Proceso de extrusión-soplado .....	14
IV.2.- Proceso de extrusión-estirado-soplado .....	18
IV.3.- Proceso de inyección-estirado-soplado .....	19
IV.4.- Proceso de calandreo .....	19
IV.5.- Moldeo por inyección .....	20
IV.6.- Moldeo por compresión .....	20
IV.7.- Proceso de termoformado .....	21
IV.8.- Proceso de vaciado o "Casting" .....	22
IV.9.- Proceso de moldeo rotacional .....	22

Capítulo V.- Polietileno de alta densidad y su importancia .....	26
V.1.- Importancia económica del polietileno .....	26
V.2.- Química básica y materias primas requeridas para la elaboración del polietileno .....	27
V.3.- Clasificación del polietileno .....	29
V.3.1.- Polietileno de alta densidad .....	29
V.3.2.- Polietileno de baja densidad .....	29
V.3.3.- Polietileno lineal de baja densidad .....	29
V.3.4.- Polietileno de cadena cruzada .....	30
V.4.- Elaboración del Polietileno .....	30
V.4.1.- Tamaño y aspectos de control .....	31
V.5.- Tipos de polimerización .....	31
V.5.1.- Polimerización en solución .....	31
V.5.2.- Polimerización en suspensión .....	31
V.5.3.- Polimerización en fase gaseosa .....	32
V.6.- Propiedades del polietileno .....	32
V.7.- Comparativo de condiciones de proceso de diferentes productores de polietileno .....	34
Capítulo VI.- Descripción detallada del Proceso de Moldeo Rotacional .....	35
VI.1.- Diagrama de flujo general para la inspección de la materia prima (P.E.A.D.) y proceso de transformación .....	36
VI.2.- Pulverizado de la resina de P.E.A.D. ....	40
VI.2.1.- Clasificación del equipo de molienda .....	40
VI.2.2.- Procedimiento de arranque y operación del molino .....	48
VI.2.2.a.- Mantenimiento del molino .....	49
VI.2.2.a.1.- Limpieza de discos .....	49
VI.2.2.a.2.- Limpieza de tamices .....	52
VI.2.2.a.3.- Limpieza del extractor del molino .....	52
VI.2.2.a.4.- Limpieza exterior del molino .....	54
VI.3.- Proceso de moldeo rotacional .....	54
VI.3.1.- Definición del proceso de moldeo rotacional .....	54
VI.3.2.- Ventajas del proceso .....	56
VI.4.- Tipo de maquinaria seleccionada para el proceso de moldeo rotacional ....	57
Capítulo VII.- Métodos de prueba a productos .....	59
VII.1.- Melt index o índice de fluidez A.S.T.M. D-1238 .....	59
VII.2.- Density o densidad .....	60
VII.3.- Factor de densidad a granel A.S.T.M. D-1895 .....	62
VII.4.- Fluidez seca A.S.T.M. D-1895 .....	63
VII.5.- Distribución de tamaño de partícula A.S.T.M. D-1921 .....	63
VII.6.- Propiedades tensiles de los materiales plásticos A.S.T.M. D-638 .....	65
VII.7.- Propiedades flexibles de los materiales plásticos A.S.T.M. D-790 .....	67
VII.7.a.- Resistencia a la tensión .....	67

VII.7.b.- Esfuerzo a la tensión .....	67
VII.7.c.- Porcentaje de elongación .....	67
VII.8.- Temperatura de deflexión al calor A.S.T.M. D-1637 .....	68
VII.9.- Resistencia al impacto A.S.T.M. D-2564 y D-3029 .....	69
VII.9.a.- Resistencia al impacto prueba Izod D-256 método A .....	69
VII.9.b.- Resistencia al impacto prueba Izod D-256 método E .....	69
VII.9.c.- Resistencia al impacto prueba Izod D-256 método D .....	69
VII.9.d.- Resistencia al impacto prueba Charpy D-256 método B .....	70
VII.10.- Resistencia al impacto método de caída libre A.S.T.M. D-3029 .....	72
VII.11.- Ensayo de envejecimiento acelerado (E.S.C.R.) A.S.T.M. D-4329 y D-5208 .....	72
Capítulo VIII.- Parte experimental .....	74
VIII.1.- Descripción del experimento .....	74
VIII.2.- Pruebas realizadas .....	75
VIII.2.1.- Cálculo de consumo de gas por sistema de turboquemadores .....	77
VIII.2.2.- Requerimiento de refrigeración para molino de discos .....	78
VIII.3.- Análisis de resultados técnicos y eliminación de alternativas no aceptables técnicamente .....	79
VIII.4.- Evaluación económica de alternativas técnicamente aceptables .....	80
VIII.5.- Resultados .....	81
Capítulo IX.- Conclusiones y recomendaciones .....	90
Capítulo X.- Bibliografía .....	92

## PROLOGO

El desarrollo de la actividad industrial depende de la elevada calidad de la materia prima y por consiguiente del producto terminado, implica también al proceso de transformación; por eso es importante la eficiencia de la infraestructura y del cumplimiento de las normas de calidad y de fabricación para que el artículo final cubra el servicio, necesidad y satisfacción del cliente.

El desarrollo de esta tesis consta de diez capítulos; los primeros cinco capítulos tratan de las generalidades de los materiales plásticos y de los procesos de transformación de los mismos, resaltando la aplicación del Polietileno de Alta Densidad, siendo la materia prima usada en el proceso de Moldeo Rotacional en esta parte experimental.

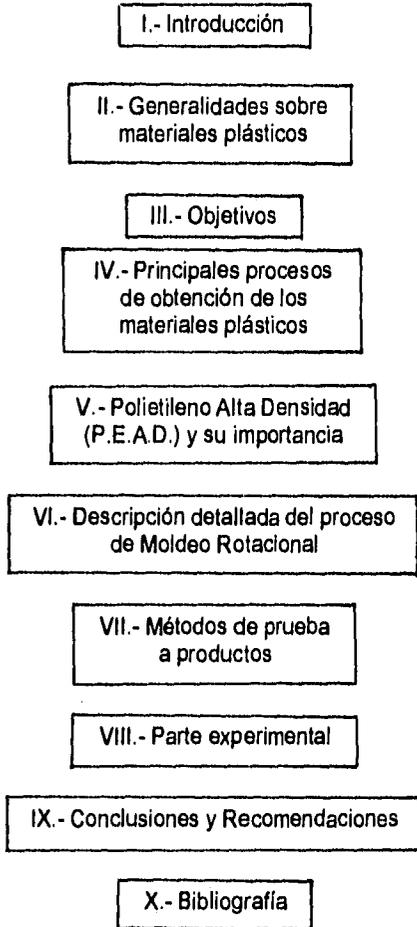
En el capítulo VI se describe el proceso de Moldeo Rotacional.

En el capítulo VII se muestran los métodos de prueba como aseguramiento de calidad a los artículos fabricados, tales como el índice de fluidez, densidad, distribución del tamaño de partícula, entre otros.

En los capítulos subsecuentes se desarrollan la parte experimental y el análisis a los resultados obtenidos, determinando la muestra conveniente para ser aplicada en el proceso de Moldeo Rotacional y mostrando las ventajas por las cuales fué determinada como la muestra más conveniente.

La finalidad de este trabajo escrito, es hacer eficiente el proceso de transformación, las condiciones de molienda y aprovechar al máximo la utilización del Polietileno de Alta Densidad como la principal materia prima que afectan la calidad del artículo fabricado, así como reducir los costos involucrados.

**DIAGRAMA DE BLOQUES  
CORRESPONDIENTE A LOS CAPITULOS  
DE LA TESIS**



# CAPITULO I

## INTRODUCCION

Los plásticos no son nuevos, su origen se remonta a millones de años antes de que el hombre apareciera sobre la tierra, siendo los más importantes, en esta categoría de plásticos naturales, las fosilizaciones de resinas vegetales y la goma laca.

El hombre, desde la antigüedad ha transformado una gran cantidad y variedad de materiales (piedra, cobre, bronce, hierro y materiales plásticos) que le permitan facilitar sus actividades, labores y necesidades y su aplicación la ha sabido utilizar para crear una igual cantidad de artículos. El plástico es un material que comprende toda una gama de productos, que por sus propiedades y aplicaciones, sustituyen en muchas funciones a otros materiales tradicionales.(1)

La búsqueda y el encuentro de los materiales plásticos o poliméricos se inicio con estudios de algún tipo de material que hiciera posible la sustitución de la madera, cerámica, cuero, fibras naturales, metales y del caucho natural. La historia de este tipo de materiales tan especiales, se remonta hacia el año de 1870 D.C., año en el cual fue creado un producto moldeable llamado Celuloide, el cual es producto de la mezcla de Alcanfor y Nitro Celulosa en determinadas condiciones de concentración, presión y temperatura. Y a partir del año de 1912 en que se dio a la búsqueda de otros y mejores productos a los ya existentes en aquella época, descubriendo así los Esteres del Acido Fosfórico y del Acido Ftálico.(2)

Si se habla de materiales plásticos o se quiere hablar de ellos como tal, es necesario conocer el origen, concepto o el significado de dicha palabra: "plásticos". La palabra "plástico" se traduce de manera literal de la lengua alemana Kunststoffe: traducida como plástico o resina sintética.(3)

La traducción se puede prestar a confusiones, ya que se tiende a pensar que estos materiales son fabricados artificialmente, contrariamente a la forma de los naturales, lo que no siempre es verdad, ya que varios materiales de estos son elaborados y originados de la transformación de sustancias naturales aún y cuando estas sustancias se encuentren en la naturaleza o sin la intervención del hombre para su elaboración.

Los plásticos son Polímeros o Macromoléculas, la palabra polímero que se deriva del griego  $\mu\upsilon\lambda\lambda\omicron\varsigma$  = muchos,  $\pi\omicron\lambda\lambda\omicron\varsigma$  = partícula y  $\mu\omicron\lambda\omicron\varsigma$  = solo Monómero del griego sólo; al material antes de reaccionar.(4)

La palabra polímero tiene el sentido general de las numerosas unidades estructurales que forman la macro-molécula, la que consta de varios átomos; según el tipo de material inicial o monómero.

El monómero, esta compuesto de combinaciones de átomos de C,O,H,N y otros elementos orgánicos e inorgánicos, en su caso más simple, se une una estructura molecular detrás de otra, simulando a eslabones de una cadena en alguna fase de su elaboración y por consiguiente puede recibir diversas formas mediante la aplicación aislada o conjunta de Presión y Calor.(5)

En los últimos años, los plásticos han sido objeto de ataques por parte de grupos ecológicos y de agencias gubernamentales en los países con mayor grado de desarrollo industrial. Estos ataques se fundamentan en dos razones: los materiales plásticos no son biodegradables y las materias primas involucradas en su fabricación y/o procesamiento son sospechosas de ser agentes cancerígenos.

Se tiene la tendencia a pensar que con la industrialización se desarrolla una enfermedad de la civilización: el cáncer, debido al uso creciente de productos químicos y a la contaminación industrial; pero se olvida que el consumo de tabaco y alcohol representan en el ser humano el 50% de los casos de cáncer y en los factores alimenticios de un 30% aproximadamente. Las estadísticas muestran que los inconvenientes de la industrialización son mínimos con relación a sus ventajas; no olvidar que la esperanza de vida ha pasado de 20 años en 1775 a 73 años en 1985.

Los problemas de contaminación del suelo y medio ambiente preocupan hoy a todo el mundo, lo que ha hecho surgir gran interés en el reciclaje de los materiales plásticos.

Los desperdicios que se generan durante el proceso de transformación de los plásticos es posible reincorporarlos después de molidos y granulados al mismo ciclo, siempre y cuando no sobrepasen el 25% en combinación con el material virgen, lo cual en sí, es la más sencilla de las etapas de reciclaje.

Una sociedad y gobierno más conscientes del cuidado del ambiente pueden adoptar acciones decisivas que afecten a la industria de los plásticos, al rechazar sus productos o incluso al llegar a prohibirlos, si la industria misma no toma la iniciativa e ignora sus responsabilidades, afectando la economía de un país.(6)

México, a pesar de ser un país productor de petróleo y contar con infraestructura para la producción de polietileno en sus diversos grados, 150,000 toneladas anuales, sólo alcanza a cubrir el 40% de la demanda nacional de este material, originando la importación de polietileno para cubrir el mercado de consumo.(7)

## **CAPITULO II**

### **GENERALIDADES SOBRE MATERIALES PLASTICOS**

#### **II.1.- PLASTICOS TERMOFIJOS O TERMOESTABLES**

#### **II.2.- PLASTICOS TERMOPLASTICOS**

## **II GENERALIDADES SOBRE MATERIALES PLASTICOS**

Los polímeros del etileno se conocen desde hace tiempo. En 1933 la compañía Imperial Chemical Industries (I.C.I.), produjo en Inglaterra el primer gran polímero del etileno durante un programa de investigación sobre reacciones químicas a presiones de trabajo superiores a 1,000 atmosferas.(8)

Durante los años 1937 y 1938 se produjo el Polietileno en forma continua a nivel de planta piloto.

La producción comercial del Polietileno comenzó en Inglaterra en 1939 y su uso se aplicó para aislamiento de cables de alta frecuencia para radar. En 1940 se exportó de Inglaterra a E.U.A. para cableado telefónico y en este país comienza su producción industrial en el año de 1943. En Alemania la producción de polietileno comenzó en 1942 y hoy en día existen prácticamente fábricas para la elaboración de este polímero en casi todos los países del mundo.(9)

Los materiales plásticos son el material de nuestra Era, presente en todas las actividades industriales modernas. En el año de 1900 se conocían menos de diez; actualmente son más de 1800 tipos de plásticos, 10,000 grados, mezclas y aleaciones.

Es por eso que la literatura existente en conocimientos de plásticos, si bien es precisa, al clasificar este tipo de materiales, es cada vez menos concreta, debido a la versatilidad que en información, investigación, desarrollo, aplicación y descubrimiento de nuevos productos, grados y nuevos procesos de elaboración representa.(10)

Y a diferencia de otros materiales, los plásticos están siempre en evolución, en continuo adelanto, desechándose unos para ser sustituidos por otros, cada vez con mayores ventajas. Los plásticos en Ingeniería son aquellos que combinan su ligereza y resistencia mecánica y de ambiente, manteniendo sus propiedades de rigidez y dureza, aunado todo ello, a una vida útil razonable.

### **II.1.- PLASTICOS TERMOFIJOS O TERMOESTABLES**

Existen dos grandes grupos de materiales plásticos. El primero de ellos es el de Los Plásticos Termofijos o Termoestables y son aquellos plásticos que adoptan una forma permanente al aplicárseles calos y presión.(11)

Las resinas de este tipo toman la forma de pastas o líquidos. El polvo de Moldeo Termofijo o Termoestable se obtiene mediante el secado de la resina líquida.

Existen dos procesos para la producción de las resinas termofijas: uno de ellos consiste en la producción continua y en masa; que, mediante la instalación de un reactor de capacidad considerablemente mayor, puede ahorrar costos de producción pero el tamaño del reactor puede ser limitado para controlar la uniformidad de las reacciones y obtener un producto de calidad aceptable.

El otro tipo de proceso para las resinas termofijas, es la preparación de lotes de resina a diversas concentraciones o grados de policondensación. En este proceso debe limitarse las dimensiones del reactor, para asegurar la uniformidad de las reacciones y la buena calidad de la resina (12)

Asimismo entre este grupo de materiales se distinguen los Poliuretanos, Disocianatos y Silicones entre otros, asimismo los Poliésteres que son utilizados para aislamiento térmico doméstico e industrial, fabricación de recipientes térmicos, en la industria del empaque y embalaje, en la industria de la construcción y marítima, como espumas rígidas y flexibles y en tecnologías de biorretención. A continuación se presenta una breve descripción de Plásticos Termofijos o Termoestables:

**a) SILICONES.-** Son materiales moldeables con regular resistencia a alcalis y solventes orgánicos. Tienen baja resistencia a las condiciones ambientales.

Se aplican para sellos de piezas y recubrimientos.

Su temperatura de proceso es de 150° - 180°C.(13)

**b) FENOLICOS.-** Su estado físico generalmente es en polvo y normalmente son materiales no inflamables y bajos en su conducción, de calor y electricidad. Su resistencia a la intemperie es buena, aunque en tonos claros son afectados por la luz.

Tienen aplicaciones en manijas para planchas eléctricas y para recipientes metálicos, se procesa con materiales de refuerzo para telas, cuerdas, equipo electrónico y bases para válvulas.

Sus temperaturas de proceso van de 140°-200°C.(13)

**c) CELULOSA.-** Este material se presenta en tonos variados desde transparentes hasta opacos.

Sus propiedades a la intemperie van de buenas a excelentes, dependiendo de las formulaciones de aditivos para la intemperie, sufre decoloraciones si se expone a óxidos de nitrógeno y humos de tabaco, que generalmente existen en la atmósfera. Un ambiente húmedo le provoca exudación.

Se usa en la fabricación de juguetes, botones, hebillas, tacones para calzado, accesorios varios, empaques, señales, tubos para bolígrafos, volantes de automóviles, goggles, manijas para herramienta, cintas adhesivas, etc.

Sus temperaturas de proceso varían de 150°-200°C.(13)

**d) POLIMEROS ACETALICOS.-** Sus propiedades a la intemperie son buenas, observándose cambios en sus propiedades físicas bajo períodos en ambientes fríos y húmedos.

Sus aplicaciones incluyen: forros, soportes para instrumentos, máquinas para oficina, partes automotrices, cajas para instrumentos científicos, bloques aislantes, accesorios de tubería, grapas, válvulas, bandas transportadoras, etc.

Sus temperaturas de proceso varían de 90°-120°C.(13)

**e) ACRILICOS.-** Por lo general se procesan para la formación de laminados, aunque se pueden moldear por extrusión e inyección.

Presenta aceptable resistencia a la intemperie reduciendo sus propiedades mecánicas y físicas en un ambiente seco incrementando su opacidad con exposición prolongada a la luz.

Sus aplicaciones van de artículos sanitarios, pantallas para lámparas, reflectores, placas de identidad, señales, gabinetes, etc.(13)

**f) EPOXICOS.-** Se encuentran disponibles en estado líquido, a los que se les agregan sustancias endurecedoras.

Sus aplicaciones abarcan las formulaciones para adhesivos, cubiertas y recubrimientos.

Sus temperaturas de proceso varían de la temperatura ambiente, a los 200°C. Dependiendo del proceso, su curado es variado (hasta 24 hrs. o más, a temperatura ambiente) y puede aplicarse con materiales de refuerzo.(13)

## **II.2 TERMOPLASTICOS**

El segundo gran grupo de materiales plásticos es el de los termoplásticos y son aquellos que sufren un ablandamiento al ser calentados y se endurecen al enfriarse, propiedad que les permite ser reutilizados.(11)

Las resinas termoplásticas son producidas principalmente en forma de comprimidos, grageas o polvo.

La resina termoplástica es un polímero controlado en su reacción de polimerización que en su elaboración son aprovechadas sus características térmicas reversibles.

Para la producción de las resinas termoplásticas existe un sinnúmero de procesos de elaboración, dependiendo del tipo de resina a elaborar. Sin embargo, es posible obtener distintas propiedades con su procedimiento de fusión de polímeros o por un tratamiento subsecuente como la irradiación. En estos procesos, las resinas termoplásticas llegan al reactor de polimerización mediante ductos en fase líquido-gas.

Actualmente las principales materias primas para la elaboración de resinas termoplásticas se obtienen de derivados del petróleo. En los últimos años, su uso se ha incrementado considerablemente y el gran desarrollo alcanzado en este campo, ha permitido encontrar nuevas formas de manejo, de combinaciones y de un mejor aprovechamiento de sus propiedades, logrando así una gran variedad de procesos de elaboración y de aplicaciones.

Entre los materiales plásticos de este segundo gran grupo, se encuentran: El polipropileno, usado en películas, raffias, empaques, envases; El Cloruro de Polivinilo usado en envases, láminas, películas y tuberías. El Poliestireno usado en envases y espumados. (14) A continuación se presenta una breve descripción de Termoplásticos.

**a) EL POLIETILEN TEREFALATO.- (P.E.T.)** Por sus siglas en inglés, aplicado en envases, láminas, películas El Policarbonato usado en envases y El Polietileno aplicado a envases, cajas, tarimas, películas, recipientes de uso común, contenedores, juguetes, etc. (13)

**b) POLIETILENO BAJA DENSIDAD.- (L.D.P.E.)** Por sus siglas en inglés. Es un material flexible y con rigidez media, duro y fácil de procesar. Pulverizado es variable con estabilizadores de luz Ultravioleta y grados de aprobación con buena resistencia química.

Sus aplicaciones incluyen: juguetes, contenedores, partes industriales, recipientes diversos para varios usos, esferas para nadar, goggles, bolas de boliche, balones, recubrimiento de cables eléctricos, laminados, películas, recubrimientos para papel y cartón, tubería, etc.

Su intervalo de temperatura de procesado es : 140°C a 250°C.

**c) POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.- (H.D.P.E.)** Por sus siglas en inglés. Es el más utilizado de los otros tipos de polietileno, resistente a fracturas y fuerzas ambientales. Es el más rígido de los polietilenos, tiene excelente resistencia química es fácil de procesar y de bajo costo;

sus aplicaciones incluyen: la fabricación de cercas, tanques de gasolina, cisternas, contenedores, recubrimientos para vestidos, para papel y cartón, calzado, juguetes, muebles diversos, maniquies, asientos para consultorio, partes automotrices, tubería y accesorios entre otros.(13)

Ambos tipos de polietileno son susceptibles de entrecruzarse mediante un agente formador de unión, o entrecruzarse con el material durante el ciclo de moldeo, formando una unión de cadenas con moléculas similares a los plásticos termofijos. Esta reacción mejora su dureza, la resistencia a la tensión y a la fractura, que son propiedades importantes para piezas con detalles finos.(13)

**d) FLUOROCARBONO.-** (Teflón). Puede ser procesado por algunas de las técnicas para termoplásticos, siendo un material autoextinguible, tiene sobresalientes propiedades a la exposición a la intemperie.

Sus principales aplicaciones van de aislante eléctrico y térmico, elaboración de diafragmas, filamentos, cintas y películas para empaques especiales.(13)

**e) ESTIRENO ACRILO NITRILO.-** (S.A.N.) Por sus siglas en inglés. Este material presenta una tonalidad blanco translúcido, con un ligero tinte amarillento y en general azulado. Tiene regular resistencia a productos químicos y excelente resistencia a condiciones ambientales.

Su aplicación es en muebles para cocina, mangos para cepillos y cepillos dentales, piezas para refrigeradores, empaques, etc.

Su temperatura de proceso va de 180°C a 270°C,(13)

**f) POLIBUTILENO.-** Es un material blando y flexible, por lo que se debe moldear con precauciones en su curado y enfriado, ya que pueden presentar cambios hasta de 2 a 5 días. Presenta elevada resistencia a las temperaturas. Es pobre en propiedades a la resistencia ambiental.

Sus temperaturas de proceso van de 190°C a 290°C.(13)

**g) POLIAMIDAS.-**Nylon en sus diferentes grados.

**Nylon 6:** es excelente a las fuerzas de tensión, rígido y resistente al impacto, tiene gran resistencia al calor, así sus propiedades son mantenidas a temperaturas elevadas y presenta excelente resistencia química y auto extingible.

Sus aplicaciones incluyen, tanques para combustibles militares, aceite hidráulico y solventes, cubos para granos y ductos para aire, artículos de vestir, forros, carcasas, instrumentos automotrices, impulsores para bombas, muebles diversos, plumas estilográficas, aparatos de flash, carteles,etc.

La temperatura para procesarlo es de 225°C a 280°. (13)

**Nylon 12:** Presenta absorción de humedad, su punto de fundido y propiedades mecánicas son menores al nylon 6, pero es más fácil de procesar. Tiene excelente resistencia a productos químicos, así como a hidrocarburos.

Sus principales aplicaciones incluyen, la elaboración de ductos para calentamiento y aire acondicionado, tanques para gasolina y para sustancias químicas, piezas de maquinaria, cubiertas, botones de interruptores, anillos de sellado, aislantes, artículos de vestir, pantallas de lámparas, etc.

Sus temperaturas de proceso van de 250°C a 320°C. (13)

**h) POLICARBONATO.-** Presenta excelentes propiedades mecánicas, incluyendo dureza, fuerza de tensión y resistencia a la abrasión. Es el más resistente de impacto que todos los plásticos rígidos, tiene alta resistencia al calor y puede moldearse limpiamente.

Sus principales aplicaciones son: artículos para globos ligeros, esquís motorizados para nieve y acuáticos, contenedores de embarcaciones, piezas de accesorios de todo tipo en la industria eléctrica, cubiertas para cajas de interruptores, núcleos de bobinas, enchufes, carcazas, globos para lámparas de muchos tipos, gafas para bloquear los rayos solares, etc.

Su temperatura de proceso va de 275°C a 320°C. (13)

**I) ETILEN VINIL ACETATO.-** (E.V.A.) Su transformación es similar a la del polietileno pero a menor temperatura y no debe incrementarse ésta u ocurre la degradación.

Al incrementarse la concentración de vinilo se reduce la cristalinidad, pero se aumenta su flexibilidad. Posee pobre resistencia a productos químicos y a la luz ultra violeta.

Sus principales aplicaciones son: mangueras y tubos flexibles, forros, aislantes de cables, películas para empaque, juguetes, guantes y suelas de calzado.

Sus temperaturas de proceso son de 100°C a 230°C. (13)

**J) POLI CLORURO DE VINILO.-** (P.V.C.) Es una resina termoplástica lineal, producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo. Puede ser moldeado en forma líquida o en polvo.

Los compuestos de P.V.C. son de costo modeardo y fáciles de procesar, pueden ser formulados para producir piezas con intervalo flexibles a semi-rígidas.

Tiene baja resistencia a productos químicos.

Sus aplicaciones incluyen: botones, cabezas de muñecas, chupones, plantas artificiales, fuelles flexibles, películas, empaques, botellas y recipientes diversos, calzado, etc.

Sus temperaturas de proceso van de 150°C. a 180°C.(13)

## **CAPITULO III**

### **Objetivos**

- Ilustrar los distintos procesos de transformación de los materiales plásticos en general.
- Destacar la importancia industrial del P.E.A.D.
- Ilustrar los principales procesos de obtención del P.E.A.D.
- Comentar las características del proceso de obtención de P.E.A.D., que se efectúa en México.
- Determinar experimentalmente en una planta industrial productora de PEAD, las dimensiones y características de partícula de Polietileno Alta Densidad (P.E.A.D.) pulverizado, más adecuadas al proceso de transformación de plásticos por Moldeo Rotacional.
- Comparar y analizar los resultados, para definir condiciones óptimas del proceso.
- Emitir las recomendaciones pertinentes

## CAPITULO IV

### PRINCIPALES PROCESOS DE TRANSFORMACION DE LOS MATERIALES PLASTICOS

En nuestro tiempo y de acuerdo al avance tecnológico un gran número de fabricantes de piezas de cuerpos huecos y sólidos, tienen actualmente la disposición de equipos para la elaboración de tales productos plásticos, habiéndose acumulado información que ha permitido llegar a soluciones concretas en asuntos relacionados con la técnica de cada tipo de proceso y de la maquinaria en cuestión a cada uno de ellos.

Se reconoce, que parte de la calidad de una pieza plástica elaborada, reside en la maquinaria y en la materia prima.

La capacidad de los equipos ha aumentado de forma progresiva a raíz de las mejores técnicas de cada uno de los procesos de elaboración y de las mejoras y desarrollo correspondientes a la maquinaria y a los propiedades del material.

#### IV.1.- PROCESO DE EXTRUSION-SOPLADO

Es el proceso de producción más utilizado para la fabricación de envases en general con capacidades que van desde un mililitro hasta mil litros.

El equipo de extrusión, requiere una extrusora, es decir, una maquinaria que cuenta con una abertura circular en forma de tubo o cañón de husillo por donde se hará pasar el plástico fundido. También deberá contar con un husillo especial (tornillo con cuerda helicoidal de dimensiones específicas de longitud y diámetro, que al girar provoca el flujo del material plástico fundido), para procesar según el tipo de material, normalmente con una relación de 20 L/D y en ocasiones de hasta 24 L/D.

L = Longitud, D = Diámetro, con relaciones de compresión desde 2.5:1 si se extruye en polvo o bien 2:1 si se encuentra en forma de Pellet.

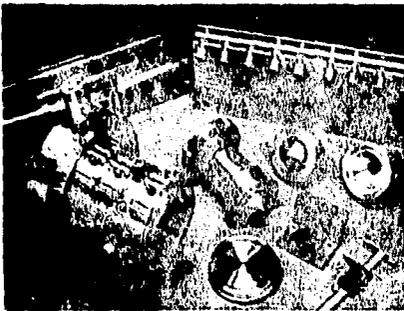
Para poder fundir el material, el husillo se sitúa dentro de un cañón para husillo, que se divide en varias zonas de calentamiento cubierto por resistencias eléctricas.

En la tabla No. 1 se localizan dos extrusoras típicas del proceso convencional de soplado.

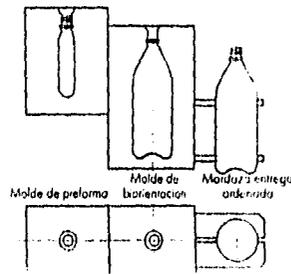
	Unidad	A	B
Diámetro husillo	mm	38	60
Largo del husillo (zona de trabajo)	L/D	20	20
R.P.M. del husillo	50HZ t/min	20...120	16...100
Engranaje: reductor con variador	rpm (69Hz)	(24...144)	
Rendimiento máximo	HP (DIN)	7,5	13,5
Rendimiento de plastificación	kg/h	18-20	28-30
Zonas de calefacción, cabezal simple	cantidad	4	5
Zonas de calefacción, cabezal doble	cantidad	6	7
Potencia de calefacción extrusora + cabezal	kW	5	6,5
Boquillas	cantidad	1-2	1-2
Diámetro máximo de boquilla, cabezal simple	mm	38	38
Diámetro máximo de boquilla, cabezal doble	mm	20	20
Distancia entre boquillas, cabezal doble	mm	50	50

La unidad de soplado se inicia justamente en el final del husillo y la placa portamallas, y requieren diseño especial para cada tipo de máquina. Consta de las siguientes partes principales: cabezal, dado, molde y unidad de soplado propiamente dicha.

Ver figura. No. 1



Unidad de cabeza 1



Unidad de molde

## **A) CABEZAL**

Es la parte que va unida a la extrusora y por la cual el material continúa su recorrido para llegar al dado. Consta esencialmente de una curva de 90° por donde llega el material a la araña y finalmente al juego dado-mandríl.

Para este tipo de cabezales, el flujo de materiales continuo, es decir, que mientras se forma el envase en el molde instalado en la unidad de soplado, el material no deja de fluir en ningún momento.

## **B) MOLDE**

Un molde es un objeto que presenta una cavidad en el que se introduce una materia en polvo, pastosa o líquida, que toma la forma de dicha cavidad, solidificandose.

En las etapas iniciales del diseño de moldes, tres integrantes principales se reúnen para discutir sobre el molde. El inversionista del producto o empresario trata con un diseñador de moldes, quien luego convierte el producto conceptual en un diseño. Antes de que el inversionista inicie la producción, tanto él como el diseñador deben discutir con el fabricante del molde de los posibles problemas que puedan alargar los ciclos de producción.

Actualmente se pueden predecir rápida y eficientemente los tiempos de ciclos (período en el cual se fabrica una determinada pieza o producto), la capacidad de enfriamiento del molde y calcular el costo por pieza.

Todos estos análisis deben hacerse antes de cortar el molde para así reducir errores de costos en las proyecciones del costo de producción. Con respecto al molde, se puede decir que un artículo depende del diseño y construcción del mismo, incluyendo el enfriamiento de éste, mediante el paso de un líquido refrigerante (agua a baja temperatura) por los canales internos del mismo molde, lo cual es un factor fundamental para mejorar la productividad.

## **C) UNIDAD DE SOPLADO**

Existen diferencias en lo que se refiere a su construcción, aunque la finalidad es la misma: producir artículos por soplado. Al salir el material de la máquina, lo hace en forma de tubo, al que se le da el nombre de manga o "parison". Este parison es atrapado por el molde y de inmediato se introduce un perno de soplado por donde se alimenta aire para formar el envase. El perno de soplado puede introducirse por la base del molde, o por la parte superior del mismo.

En ambos casos, la introducción del perno se hace por la parte que va a formar el cuello y boca del envase. Después de un determinado tiempo de enfriamiento el molde se abre y cae el envase formado, quedando listo el molde para atrapar otra manga y repetir la operación de soplado.<sup>(16)</sup>

Los movimientos de la unidad de soplado se efectúan por sistemas mecánicos e hidráulicos.

Ver figura No. 2

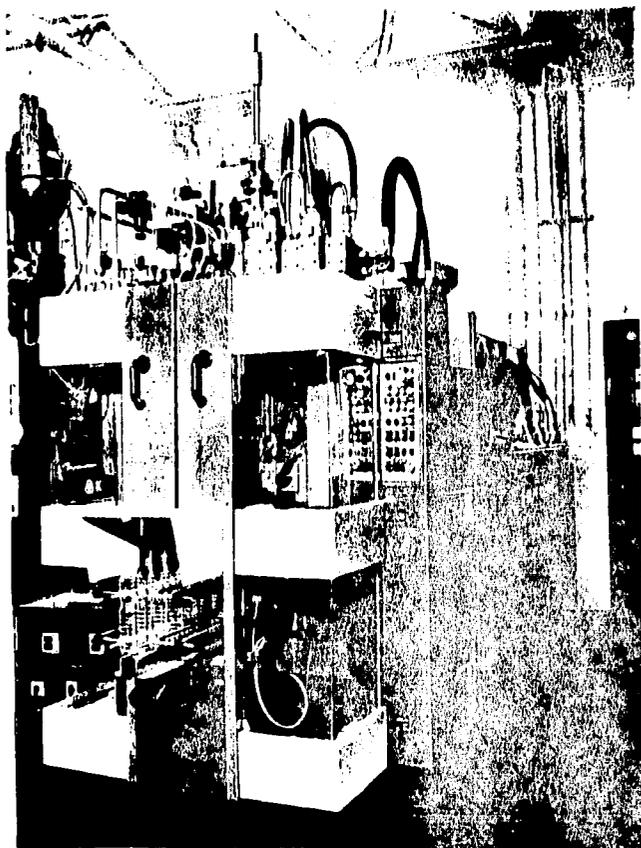


Figura No.2 Máquina de Extrusión - Soplado

Las unidades de soplado pueden ser:

. De una estación, lo cual significa que por un movimiento lateral o frontal, el molde es desplazado para atrapar a la manga extruída. Por otro movimiento, el molde es conducido a la posición original para efectuar el soplado, el enfriamiento y la expulsión del artículo.

. De dos estaciones, de construcción similar al de una estación, ofrece la posibilidad de aumentar la productividad debido a que mientras en un molde se está formando el artículo, el otro hace su recorrido para recoger la manga y formar otro artículo.<sup>(16)</sup>

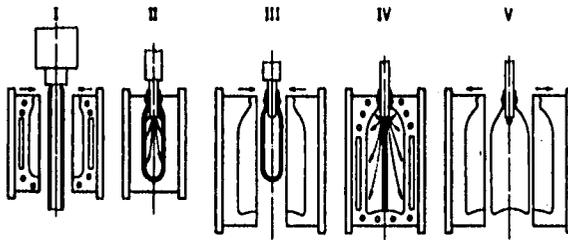
#### IV.2.- PROCESO DE EXTRUSION-ESTIRADO-SOPLADO

Este tipo de proceso, consta de dos etapas:

La primera es la extrusión soplado convencional de una preforma, la cual se inicia con la toma del parison o manga a la salida del extrusor.

La segunda etapa inicia cuando la preforma es tomada por el molde final, donde se somete a un estiramiento longitudinal por el accionar de un vástago; y posteriormente se expande transversalmente con el uso de aire. Una vez concluida la bi-orientación, el envase es expulsado del molde.<sup>(16)</sup>

Ver figura No. 3



##### Desarrollo del proceso

- I. Extrusión de una manga plástica
- II. Primeras fases de formación, pinzado y soldado del fondo, retracción del cuello y soplado de la preforma
- III. Toma de la preforma en rebabas en el segundo molde de soplado y bi-orientación
- IV. Estiramiento y soplado de la preforma hasta formar el artículo terminado
- V. Desmoldeo de la pieza, entrega a la máquina de entrega ordenada

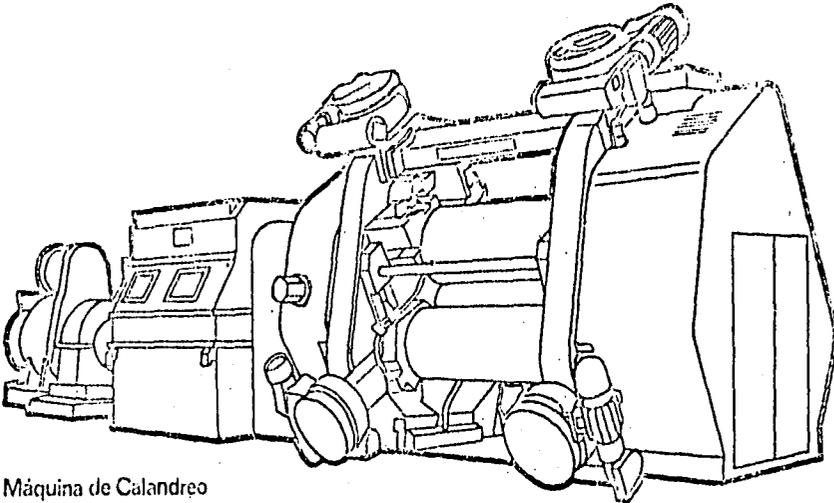
#### IV.3.- PROCESO INYECCION-ESTIRADO-SOPLADO

Este proceso difiere del anterior, en que la preforma es inyectada y una vez que ha sido suficientemente enfriada por la refrigeración de la cavidad de inyección, es extraída del molde y transportada con una temperatura entre 55°C y 70°C. a la unidad de acondicionamiento hasta temperatura a 105°C-115°C. Posteriormente, la preforma es llevada a la unidad de soplado donde se someterá al estirado-soplado bajo las mismas condiciones de un proceso de extrusión-estirado-soplado.

#### IV.4.- PROCESO DE CALANDREO

El proceso consiste, primero en extruir el material y posteriormente hacerlo pasar por un dispositivo de tres o más rodillos horizontales y con espaciamento, velocidad y temperatura controlados, alineándose el compuesto previamente fundido para que por rotación y compresión se forme la película o lámina; según el espesor deseado.<sup>116)</sup>

Ver figura No. 4



Máquina de Calandreo

#### IV.5.- MOLDEO POR INYECCION

El equipo consta de un extrusor, en que el cañón del husillo y el husillo, son una sección móvil mediante un sistema mecánico o hidráulico. En la punta del husillo se encuentra una boquilla que será por donde se inyecte el plástico fundido al molde, con condiciones de alta presión y temperatura.<sup>(15)</sup>

Por este método se pueden moldear piezas sólidas y huecas en moldes de una o varias cavidades a velocidades altas, con magnífica retención de formas y acabados.<sup>(15)</sup>

Ver figura No. 5

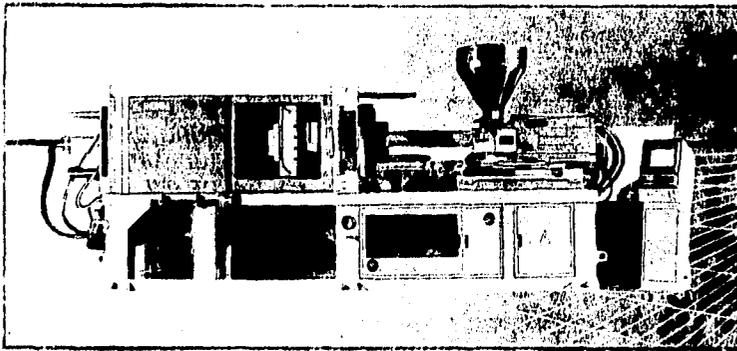


Figura No. 5 Máquina de inyección.

#### IV.6.- MOLDEO POR COMPRESION

Consiste en dar forma a materiales plásticos vertidos en moldes por aplicación simultánea de presión, seguida de un ciclo de enfriamiento y apertura.<sup>(15)</sup>

Ver figura No. 6

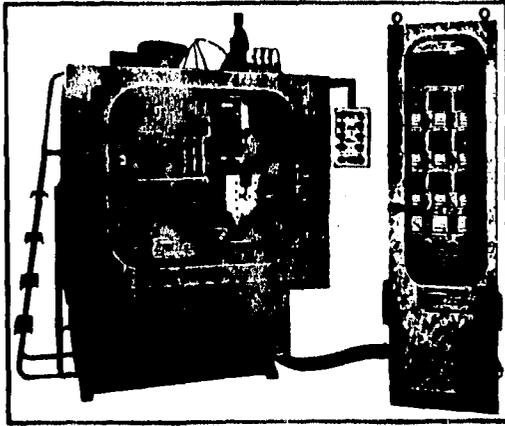


Figura No. 6 Máquina compresora de plástico.

#### IV.7- PROCESO DE TERMOFORMADO

En este proceso, el material plástico se reblandece mediante calentamiento, el material previamente extraído o calandreado en forma de hojas se ajusta a la forma del molde, mediante la aplicación de presión o vacío.<sup>(16)</sup>

Ver figura No. 7

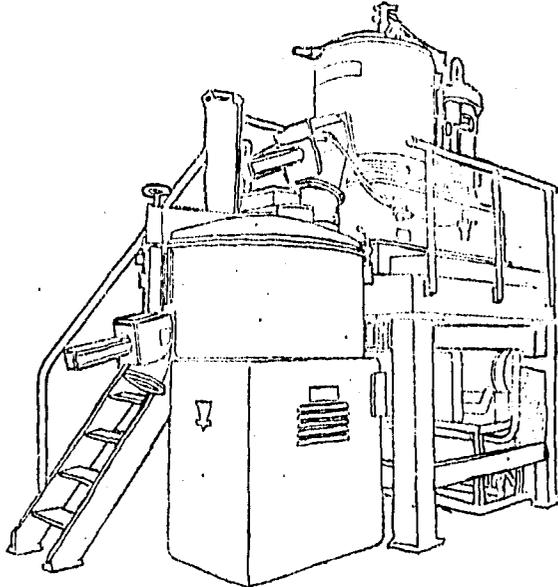


Figura No.7  
Máquina de  
Termoformado.

#### IV.8.- PROCESO DE VACIADO O "CASTING"

Este método consiste en llenar un molde con plástico fundido semilíquido (plastisol) y extraerlo después de gelificado en un horno. El molde caliente es llenado y vaciado, formando una película de espesor dependiente de la temperatura del molde. Posteriormente se aplica más temperatura para que la película cure adecuadamente y se extrae el objeto moldeado. Los productos típicos de este proceso son las cabezas de muñecas.<sup>(15)</sup>

#### IV.9.- MOLDEO ROTACIONAL

El moldeo rotacional es una técnica relativamente nueva para el procesamiento de los plásticos en comparación con los otros métodos de transformación de los mismos.

Al molde frío se le aplica una cantidad de sustancia desmoldante en las paredes internas, se agrega el material plastificante en polvo y se cierra herméticamente. La maquinaria que soporta el molde puede estar integrada a un horno o bien con quemadores para combustión de la flama a cielo abierto o cerrado; donde el artículo se formará por el curado del material mediante la aplicación del calor, rotación e inclinaciones que pudiera tener el molde.

Ver figura No. 9A y 9B

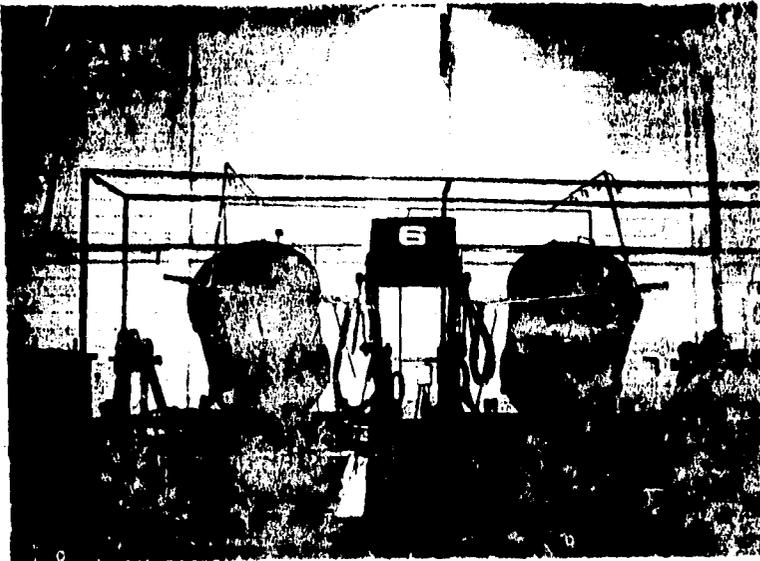


Figura No. 9A Máquina de Moldeo Rotacional

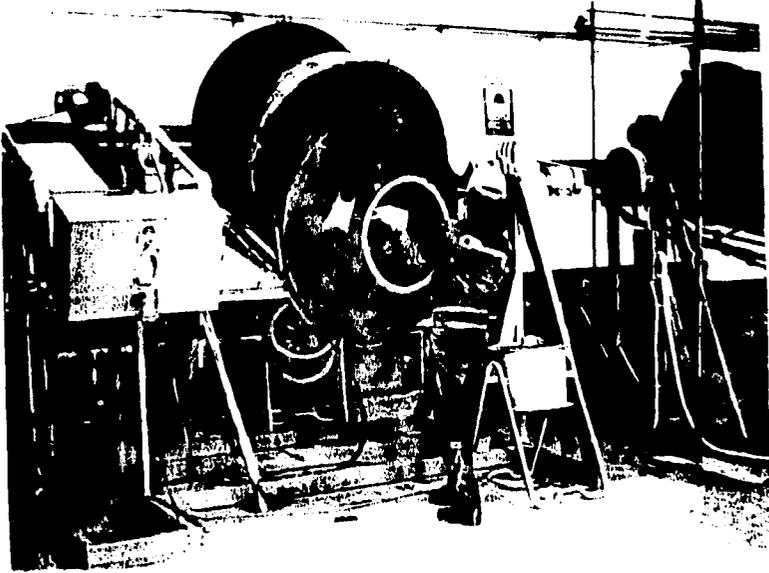


Figura 9B Máquina de Moldeo Rotacional.

Este tipo de proceso se fija idealmente a piezas con proporciones relativamente grandes; parcial o totalmente cerradas, de forma regular o irregular, donde los cambios de giro sobre el eje de rotación y los grados de inclinación respecto a la línea imaginaria de la horizontal, permiten que el material cubra los ángulos opuestos al sentido de la rotación del molde.

Este proceso se generó en los Estados Unidos de América en Nueva York, en la época de los años 30's y la introducción a este proceso del polietileno pulverizado fue en los años 50's y proporcionó a la industria plástica un material ideal para los procesos de este tipo. Desde entonces la industria continúa creciendo con una rapidez constante.

Con el moldeo rotacional también se producen piezas pequeñas, pero tiene sus ventajas en piezas dimensionalmente grandes en comparación para fabricarlas por los otros procesos. Además, es un proceso que requiere bajas presiones y fuerzas mínimas en los moldes. Los resultados surgen de la habilidad para producir piezas grandes y complejas, usando moldes y la maquinaria a bajo costo y tiene la ventaja de que las partes producidas son relativamente más resistentes comparadas con las de otros procesos a altas presiones.

La maquinaria, que puede ser de diversos tipos y modelos, es ideal para producciones grandes o pequeñas.

Cualquier material plástico, puede virtual y teóricamente ser moldeado por rotación. Esto incluye los termoplásticos y termo fijos.

Son dos los requerimientos primarios para que un material pueda moldearse rotacionalmente. El primero, es que el material tenga un adecuado flujo (Melt Index o Índice de fluidez) (Ver Capítulo VII), para que pueda fluir, rellenar o cubrir las cavidades cuando el molde es girado. El segundo requerimiento, es que sea térmicamente estable a las temperaturas de curado cuando es procesado por el tiempo de ciclo requerido.

Muchos de los materiales plásticos para este proceso son formulaciones especiales y la fabricación en grandes proporciones debe justificar el revelado de la composición especial de estos plásticos cuando son descubiertos para obtener una alta fluidez y estabilidad térmica superior.

Muchas resinas son pasadas por un tamiz de malla número 35 cuando tienen un "melt" más rápido y uniforme que las perlas (Pellet's). Para resinas iguales, las perlas pequeñas pueden tener un costo menor que el material pulverizado.

Las propiedades y apariencia de cualquier material, puede cambiar con aditivos. Los más comunes son los colorantes o pigmentos. Usualmente las características afectadas son la mezcla seca, el moldeo y el color con una buena dispersión.<sup>(16)</sup>

Si se usan pellets, el color puede ser preparado en la elaboración de estos, por lo que no se requerirán grandes esfuerzos por dispersar el colorante. Otros aditivos son usados para el propósito que su nombre implica:

**PIGMENTOS:** Compuestos que imparten color a los plásticos, tales como: orgánicos, inorgánicos, fluorescentes, perlescentes, metálicos.<sup>(17)</sup>

**ADITIVOS:** Productos químicos que adicionados en pequeñas cantidades al polímero, modifican sus propiedades físicas y reológicas.<sup>(17)</sup>

**DESILIZANTES ANTIBLOQUEANTES:** Tienen un efecto conjunto de deslizamiento por lubricación de la superficie del plástico e impiden la adhesión de películas sujetas a presión o incremento de temperatura.<sup>(17)</sup>

**ANTIESTATICOS:** Impiden la acumulación de cargas electrostáticas en los productos. Estas se manifiestan en atracción de polvo, adhesión de películas plásticas a las partes metálicas de máquinas y descargas eléctricas de riesgo.<sup>(17)</sup>

**ANTIOXIDANTES:** Compuestos que inhiben o retardan la oxidación del polímero por efecto de la acción térmica o química.<sup>(17)</sup>

**FILTROS ULTRAVIOLETA:** Compuestos que previenen o retardan la destrucción del polímero por efectos de los rayos Ultravioleta de la luz solar, en especial aquellos con longitud de onda mayor a  $290 \times 10^{-9}m$ .<sup>(17)</sup>

**AYUDAS DE PROCESO:** Regulan el proceso de los polímeros, al regular su viscosidad aparente, permiten un mejor desmoldamiento, eliminan la fractura de fundido, disminuye carbonizaciones, y temperaturas de proceso.<sup>(17)</sup>

**CARGAS:** Están elaboradas con minerales de diversos tipos, las cuales confieren o modifican algunas propiedades mecánicas de los polímeros.<sup>(17)</sup>

**FOTODEGRADABLES:** Aceleran la descomposición del polímero, al ser expuestos a la acción de la luz solar.<sup>(17)</sup>

**BIODEGRADABLES:** Elaborados a base de almidón de maíz con tratamiento químico especial que los hace compatibles con los polímeros, permitiendo la degradación del plástico al ser expuesto al medio ambiente.<sup>(17)</sup>

**ANTIDERRAPANTES:** Agentes que impiden el deslizamiento entre películas plásticas.<sup>(17)</sup>

**DEPRESORES DE VISCOSIDAD:** Permiten modificar la viscosidad de un polímero aumentando su procesabilidad.<sup>(17)</sup>

**ESPUMANTES:** Productos químicos que permiten la formación de micro-burbujas, aumentando el aislamiento térmico y la resistencia al impacto, pero disminuyen las propiedades de resistencia a la fractura.<sup>(17)</sup>

## CAPITULO V

### POLIETILENO ALTA DENSIDAD Y SU IMPORTANCIA

#### V.1 IMPORTANCIA ECONOMICA DEL POLIETILENO

El rotomoldeo es una industria basada en material plástico. Aproximadamente 150 millones de libras de plásticos estaban siendo rotomoldeadas en 1968. De este total, 45 millones de libras eran polietileno de alta densidad, 15 millones de libras de polietileno de baja densidad. Los restantes 90 millones de libras, eran plastisoles y un pequeño volumen de materiales misceláneos.

La participación del polietileno en el mercado total fue de sólo 40%, en 1968, pero pronto este maravilloso material dominaría toda la industria. Para 1982, 110 millones de libras de polietileno en polvo era rotomoldeado, 50 millones de libras eran de baja densidad y 13 millones libras eran de alta densidad.

El polietileno de cadena cruzada sumaba 47 millones de libras, a pesar del hecho de que este material había estado en el mercado sólo por casi dos años. La una vez dominante y todavía importante participación del vinil en el mercado, había caído aproximadamente al 8%.

El mercado mundial total para plásticos rotomoldeados fue de 392 millones de libras en 1989. Ahora el polietileno, se ha convertido en el primer material de rotomoldeo. Los diversos tipos de polietileno ahora suman aproximadamente un 80% del mercado total del rotomoldeo.<sup>(18)</sup>

Estas ventajas significantes, permitirán que el rotomoldeo continúe creciendo. La expansión en el mercado, está estimada actualmente en 10 a 15% por año. Todo indica que éste crecimiento continuará a través de un futuro predecible. El rotomoldeo es una industria basada en el material plástico y su bienestar futuro estará basado en la disponibilidad del desarrollo y comercialización de materiales plásticos expandiéndose a nuevos mercados.

La constante investigación y desarrollo que se continúa haciendo lo mantiene actualizado. En estos tiempos se ha transformado además en otra gran ventaja, su costo. Esto se debe a que el petróleo, cuyo precio varía constantemente incide sobre el 100% del P.E.

De la demanda mundial de resina de P.E. del consumo antes mencionado, estos crecimientos no son los mismos para todas las regiones, por ejemplo, durante 1989 en Sudamérica el

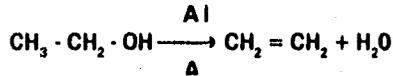
crecimiento fue del 19.5%, en Asia y Cuenca del Pacífico del 12.3%, en Europa Occidental de 8.6% y en Norteamérica del 8.4%.<sup>(19)</sup>

## V.2 QUIMICA BASICA Y MATERIAS PRIMAS REQUERIDAS PARA LA ELABORACION DEL POLIETILENO.

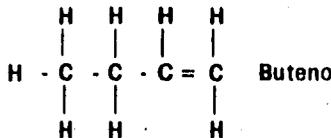
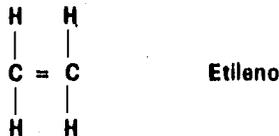
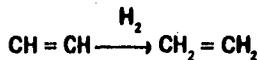
El Polietileno es el polímero producido por la reacción del etileno con un comonomero (buteno, hexeno, etc.)

El etileno es un gas a temperatura y presión normal. La preparación del polietileno exige una materia prima de extraordinaria pureza. Se obtiene etileno altamente puro haciendo pasar vapores de alcohol etílico puro sobre aluminio a una temperatura entre 350-400°C.

El alcohol se descompone claramente en etileno y agua.



Industrialmente es más importante el procedimiento de pirólisis (Cracking del petróleo), por el que se llega a obtener etileno con 99.9% de pureza. También se puede obtener por hidrogenación catalítica del acetileno.<sup>(20) y (21)</sup>





### V.3 CLASIFICACION DEL POLIETILENO

El polietileno es el plástico de más bajo costo y de más volumen usado en la industria del rotomoldeo. Todos los polietilenos están compuestos de átomos de carbono e hidrógeno. Los químicos de polímeros pueden producir diferentes clases de polietileno, que tendrán propiedades físicas y características de procesamiento ampliamente variables. Esta habilidad para cambiar el material básico, es una de las razones de porqué el polietileno ha sido capaz de satisfacer un rango tan amplio de requerimientos de uso final.

**V.3.1.- POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.** Es básicamente una molécula lineal recta, con sólo una a tres ramas por miles de carbono (fig. No. 10). Esto les permite a las moléculas individuales el agruparse compactamente. Como resultado, las fuerzas intermoleculares son altas y el material es fuerte.

El alargamiento y la fuerza al impacto son más bajos, pero la resistencia a la temperatura es más alta. El encogimiento de moldes es variable.

**V.3.2.- POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.** Es altamente ramificado, con diez o treinta ramas laterales por mil carbonos, (fig. No. 11). Las muchas ramas laterales impiden a las moléculas agruparse compactamente. Las fuerzas intermoleculares son más débiles y el material no es tan fuerte como el polietileno de alta densidad. Las numerosas ramas laterales se enredan más con otras y esto mejora el alargamiento del material y la fuerza al impacto.

El polietileno de baja densidad se procesa más fácilmente y requiere de menor energía que el polietileno de alta densidad.

**V.3.3.- POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD.** Es como lo implica su nombre, más lineal que el polietileno convencional de baja densidad. Tiene aún más ramas laterales, pero el largo de las ramas laterales tiende a ser más corto (fig. No. 12).

Estas moléculas se pueden agrupar más compactamente que el polietileno de baja densidad, pero no tanto como el polietileno de alta densidad.

Como resultado, las propiedades físicas y la facilidad de proceso están entre el polietileno de alta y baja densidad.

El polietileno lineal de baja densidad es ahora, el miembro de mayor volumen y crecimiento más rápido de la familia del polietileno.

V.3.4.-POLIETILENO DE CADENA CRUZADA. Fueron introducidos en 1969, y se desarrollaron específicamente para la industria del rotomoldeo.

El polietileno de cadena cruzada difiere de los otros polietilenos en que muchas de las moléculas están físicamente unidas unas a otras en una red rígida. (fig. No. 13)

La fuerza intermolecular es por ello muy alta y las propiedades físicas del material son mejoradas. La densidad de la pieza moldeada será menor que la densidad original del material, antes de que ocurriera el cruzamiento de cadena.

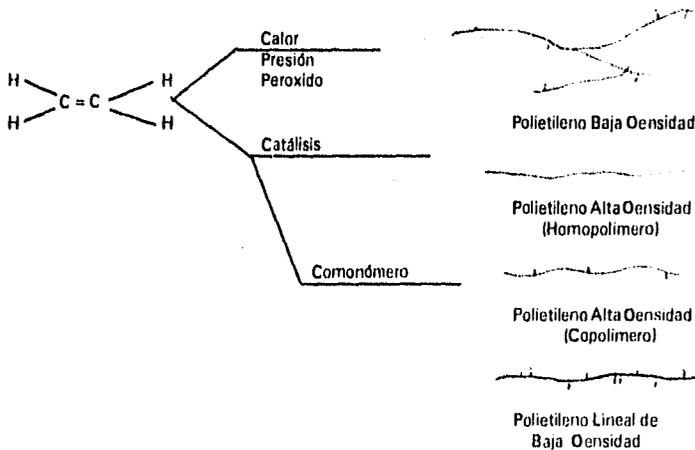
Estos materiales dan una mejor fuerza al impacto, resistencia a deformarse permanentemente por tensión, resistencia al rasgado y resistencia a quebrarse al medio ambiente (Ver Cap. VII E.S.C.R.) que la mayoría de los otros polietilenos de cadena.

Las propiedades de permeación al vapor y químicos, y la fuerza mejorada al impacto, del polietileno de cadena cruzada, lo hacen una buena opción para tanques de combustible y grandes contenedores de almacenamiento.

Comparado con otros polietilenos, los materiales de cadena cruzada requieren un tiempo más largo de calentamiento en horno y cura, de modo que se activa la reacción de cruzamiento de cadena para asegurar propiedades físicas al máximo.

La reacción de cruzamiento de cadena, libera un gas que debe ser ventilado hacia el exterior de la pieza, para evitar sobrepresurizar el molde. La piezas moldeadas grandes, deben ser ventiladas después del moldeo para quitar estos vapores. Esto es especialmente necesario, si alguien va a entrar a inspeccionar el producto.<sup>(22)</sup>

#### V.4.- ELABORACION DE POLIETILENO (fig. No. 14)



#### V.4.1.- TAMAÑO Y ASPECTOS DE CONTROL.

Son cinco las características básicas del control de los procesos de polimerización.

- . Promedio de la longitud de la molécula (M-I).
- . Rango de las longitudes de las moléculas (MFR, MWD).
- . Longitud de las cadenas laterales por moléculas (Densidad).
- . Número de cadenas laterales por molécula (Densidad).
- . Distribución de cadenas laterales (Densidad).

M-I: Melt Index o Índice de Fundición

M-F-I: Melt Flow Rate o Rápidez del Flujo de Fundición.

D: Density o Densidad.

M-W-D: Molecular Weight Distribution o Distribución del Peso Molecular.<sup>(22)</sup>

Estos conceptos serán tratados más ampliamente en el capítulo No. 7.

#### V.5.- TIPOS DE POLIMERIZACION.

**V.5.1.- POLIMERIZACION EN SOLUCION:** Se realiza agregando solventes como ciclohexano, etc., que forman un medio de reacción y el polímero formado se disuelve, la mezcla disolvente-polietileno se envía a un separador, posteriormente se alimenta a un calentador para aumentar la solubilidad del polímero y pasar a través de un filtro o centrífuga para separar las partículas de catalizador y por último se "flashea" (expande) a la solución (cámara de expansión) donde precipita el polietileno.<sup>(21) y (23)</sup>

**V.5.2.- POLIMERIZACION EN SUSPENSION:** En este tipo de polimerización se utiliza un solvente inherente (hidrocarburos ligeros), donde son suspendidos el catalizador y las partículas del polímero. El Polietileno se detiene usando el catalizador como elemento de nucleación.

Este tipo de proceso usa reactivos muy puros y un catalizador muy activo, de tal forma que los rendimientos de polímeros sean suficientemente altos como para soportar la actividad del catalizador y evitar recuperarlo.

Cuando esto no se logra, la suspensión se envía al recuperador del solvente. Posteriormente se pasa a etapas de separación, purificación y secado de los componentes de la mezcla polímero-solvente.

La ventaja que presenta, es la producción de gran variedad de grados y tipos de polietileno de alta densidad, de baja densidad y medio y altos pesos moleculares.<sup>(21) y (23)</sup>

**V.5.3.- POLIMERIZACION EN FASE GASEOSA:** Esta polimerización se efectúa en un reactor en donde la materia prima entra en fase gaseosa y el producto obtenido es en forma de pelusilla. No se usa medio de disolución por lo que se elimina el equipo de separación y purificación del disolvente.

Este proceso es de bajo costo de operación y requerimiento, además utiliza diferentes catalizadores y para la polimerización y opera a una relativa baja presión.

Los catalizadores son sólidos y se utilizan como ómeros ligeros en fase gaseosa.<sup>(21) y (23)</sup>

## **V.6. PROPIEDADES DEL POLIETILENO.**

En la tabla No. 2 se muestran las propiedades típicas del Polietileno, de tal forma que sirva de referencia a la transformación de éste material según el proceso a utilizar.

TABLA No. 2

PROPIEDAD	NORMA	VALOR
1.- Absorción de agua en 24 hr.	A.S.T.M. D-570-8(88)	0.01%
2.- Buena dureza a temperatura	A.S.T.M. D-2240-86	56°C a 93°C
3.- Coeficiente de fricción en seco	A.S.T.M. D-1242-87	0.21 típico 0.3
4.- Constante dieléctrica, 1000Hz	A.S.T.M. D-149-87	2.3 a 2.35
5.- Densidad gr/cm <sup>3</sup>	A.S.T.M. D-1805	0.94 a 0.96
6.- Dureza, Joule/in <sup>2</sup>	Shore D-2	55 a 60
7.- Elongación antes de la ruptura	A.S.T.M. D-638	400% a 500%
8.- Expansión térmica °C X10E5	A.S.T.M. D-696-79(88)	3.61 a 9.2
9.- Factor de disipación 1000Hz	A.S.T.M. D-669-87	0.002
10 Flamabilidad	A.S.T.M. D-2663	Muy buena
11 Formabilidad	A.S.T.M. D-3594	Excelente
12 Índice de fluidez, gr/10min	A.S.T.M. D-1895	1 a 5
13 Módulo de elasticidad, kg/mm <sup>2</sup>	A.S.T.M. D-790	91.54 a 95
14 Módulo de flexión, kg/mm <sup>2</sup>	A.S.T.M. D-790	91.6 a 155 típico
15 Módulo de tracción, kg/mm <sup>2</sup>	D.I.N. 5345-5	2.8X10E-9 a 10.5x10E-9
16 Porcentaje de encogimiento	A.S.T.M. D-1042	2.7% a 3%
17 Punto de cedencia a la tensión, kg/mm <sup>2</sup>	A.S.T.M. D-790	2.39 a 2.6
18 Punto de fusión, °C	A.S.T.M. D-2538	135
19 Resistencia dieléctrica, Volta/mm <sup>2</sup>	A.S.T.M. D-149-87	440 a 600
20 Resistencia a la abrasión, mg perdidos	A.S.T.M. D-1242-87	8
21 Resistencia a los ácidos	A.S.T.M. D-543-87	Regular
22 Resistencia a los álcalis	A.S.T.M. D-543	Buena
23 Resistencia al impacto, kg/mm <sup>2</sup>	A.S.T.M. D-256	0.022 a 0.77
24 Resistencia a la tensión, kg/mm <sup>2</sup>	A.S.T.M. D-256	2.04 a 2.87 típica 2.95
25 Resistencia última a la tensión, kg/mm <sup>2</sup>	A.S.T.M. D-256	1.81 a 1.54
26 Resistencia continua al calor, °C	A.S.T.M. D-248	76.6 a 128
27 Temperatura de distorsión a 0.046kg/mm <sup>2</sup>	A.S.T.M. D-1637	60°C a 82°C, típica 79°C
28 Temperatura de fragilización °C	A.S.T.M. D-746	60°C a 129°C
29 Temperatura de moldeo °C	A.S.T.M. D-1896-87	149°C a 427°C
30 Melt Index (190°C, 12.16kg)(gr/10min)	A.S.T.M. D-1238	3.5
31 E.S.C.R. (100%Igepal,F50)hr.	A.S.T.M. D-5208	mayor a 1000
32 Módulo de tensión, Psi	A.S.T.M. D-638	100,000
33 Ruptura, Psi	A.S.T.M. D-790	4,300
34 Elongación %	A.S.T.M. D-790	1,200
35 Módulo de flexión, Psi	A.S.T.M. D-790	132,000

\* Estas propiedades no se consideran especificaciones; los valores mostrados son resultado de las características de la resina proporcionada por el proveedor. Los polietilenos incoloros se deterioran cuando se exponen a la intemperie, el factor que más les afecta es la luz ultra violeta, por ocasionarles fotooxidación. Las formulaciones resistentes deben contener del 2 al 2.5 % de carbono y estabilizadores bien dispersos. (24)

TABLA No. 3

COMPARATIVO DE CONDICIONES DE PROCESO DE DIFERENTES PRODUCTORES DE POLIETILENO						
PRODUCTOR	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°K)	Reactivos	Catalizador	Condición	Densidad P.E.
MITSUBISHI	10	333 A 363	ETILENO-COMONOMERO (SOLVENTES)	CONFIDENTIAL	(COMONOMERO) (H <sub>2</sub> O)	MEDIA y ALTA
PHILLIPS	N.R.	N.R.	ETILENO-COMONOMERO (SOLVENTES)		ETILENO 99% CONVERSION DEL 97% PELLETS CIES. PRESION CTE. TEMPERATURA CTE	MEDIA y ALTA
VAHTACHEM	16 A 30	333 A 373	ESTILENO-COMONOMERO (N.R.)	ZIEGLER (Ti, Mg)	LECHO FLUIDIZADO (H <sub>2</sub> )	MEDIA y ALTA
CHEMINCAL L.T.D.	16 A 30	333 A 373	ETILENO-COMONOMERO (C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> , C <sub>6</sub> )	ZIEGLER (Ti, Mg)	N.R.	BAJA, MEDIA y ALTA
HOECHST	10	363 A 363	ETILENO-COMONOMERO (N.R.)	N.R.	N.R.	ALTA
ASAHI	10	366	ETILENO-COMONOMERO (C <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> )	TiCl <sub>4</sub> y AlEt <sub>3</sub>	DESACTIVANTE DE CATALIZADOR (VH <sub>2</sub> )	ALTA
CHEMISCHE WERKE	25 A 40	333 A 363	ESTIRENO-(PROPILENO o BUTENO)	ZIEGLER NAFTA	N.R.	ALTA
MONTEDISON	2 A 12	N.R.	ETILENO-COMONOMERO (HIDROCARBUROS ALIFATICOS y/o C <sub>6</sub> )	N.R.	N.R.	ALTA
DUPONT	8	423	ETILENO-COMONOMERO (C <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> )	N.R.	N.R.	ALTA
UNION CARBIDE	20	373	ETILENO-COMONOMERO (N.R.)	N.R.	N.R.	ALTA

N.R. = NO REPORTADO

## CAPITULO VI

### DESCRIPCION DETALLADA DEL PROCESO DE MOLDEO ROTACIONAL

Una vez expuesto en forma general el tema referente a la materia prima (P.E.A.D.), incluyendo el concepto sus aplicaciones, características y propiedades, se mencionará el manejo que se le da para poderlo transformar para la fabricación de un producto.

En una palabra, el P.E.A.D. representa la materia prima para el proceso de Moldeo Rotacional y por tanto, se destaca la aplicación del equipo de molienda, en el cual se le dan las características adecuadas para que el material pueda aplicarse al proceso.

Por ésta razón se presentan de forma global, los equipos existentes para esa operación su clasificación, los principales componentes del equipo de un Molino, cómo operarlo, limpiarlo y darle mantenimiento, y sobre todo la importancia que tiene su función sobre el material para procesarlo.

La otra operación importante, es el proceso de Moldeo Rotacional en sí.

Asimismo, y haciendo énfasis en que el PEAD será la base del proceso de fabricación de productos, se presenta a continuación un diagrama montado de manera fácil y rápida la forma en que se inspecciona la materia prima y el manejo que se le da a la misma, desde su recepción hasta su transformación.

Gran parte de la inspección recae en el certificado de calidad emitido por el fabricante de la resina, donde se mencionan características y propiedades del material, así como aditivos que pueda tener.

Este comprobante es de gran ayuda, ya que se dispondrá para evitar repetir ciertas pruebas confiando en la calidad del material e incluirlo en el proceso cuando no se cuenten con los equipos de prueba para comprobar la calidad.

Las otras etapas en la inspección corresponden a la molienda y a la transformación que sufre el material durante el proceso en sí para darle forma a un producto.

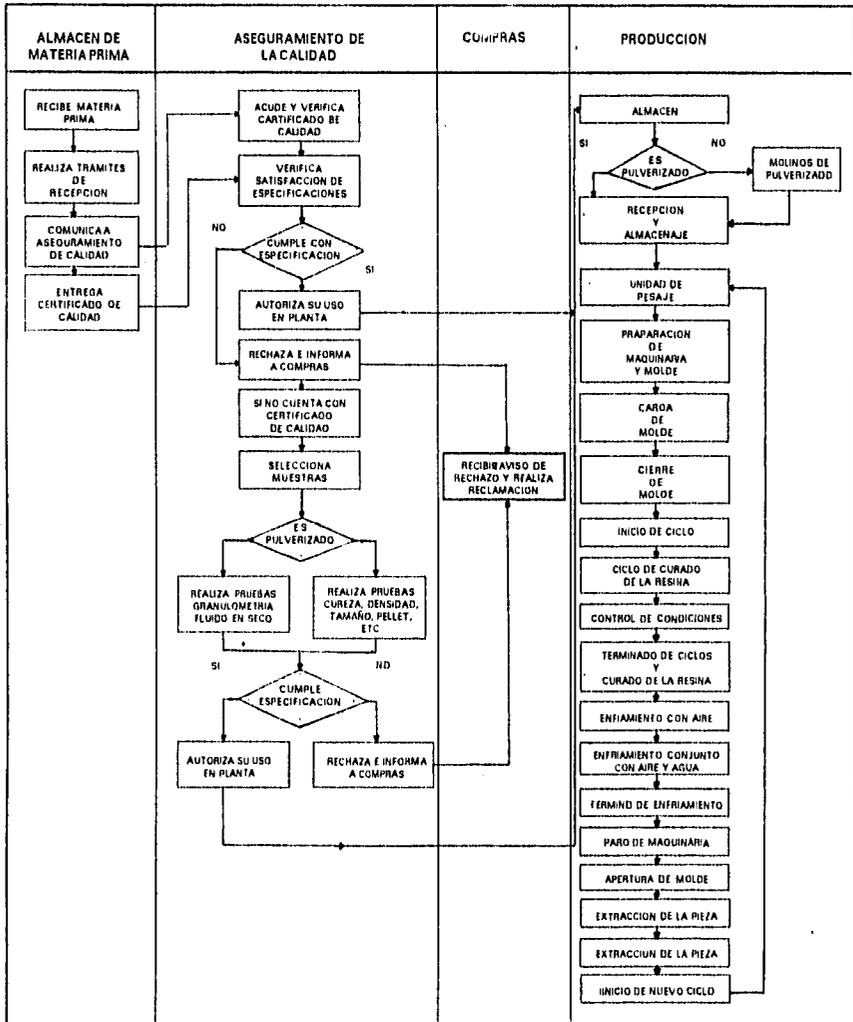
**VI.I.- DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL PARA LA INSPECCION DE LA MATERIA PRIMA (RESINA DE P.E.A.D.) Y PROCESO DE TRANSFORMACION.**

<b>RESPONSABLE</b>	<b>No.</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
<b>Almacén de Materia Prima</b>	<b>1</b>	<b>Recibe materia prima.</b>
	<b>2</b>	<b>Realiza trámites internos de recepción</b>
	<b>3</b>	<b>Comunica al área de Aseguramiento de la Calidad</b>
<b>Aseguramiento de la Calidad</b>	<b>4</b>	<b>Acude</b>
	<b>5</b>	<b>Verifica que el material recibido cuente con certificado de calidad.</b>
<b>Almacén de Materia Prima</b>	<b>6</b>	<b>Entrega certificado de calidad.</b>
	<b>7</b>	<b>Verifica de acuerdo al certificado de calidad, que el material cumpla con las especificaciones requeridas.</b>
		<b>Cumple con las especificaciones</b>
		<b>Si No</b>
	<b>8</b>	<b>Si.- Autoriza su uso en planta.</b>
	<b>9</b>	<b>No. Rechaza material e informa al área de compras, para su reclamación.</b>
		<b>En caso de que el material no cuente con certificado de calidad</b>
	<b>10</b>	<b>Realiza muestreo de material</b>
	<b>11</b>	<b>Selecciona muestras</b>
		<b>El material es pulverizado</b>
		<b>Si No</b>

- |            |    |   |
|------------|----|---|
|            | 12 | Si.- Realiza Pruebas:<br>Granulometría<br>Fluido en seco  |
|            | 13 | No.- Realiza Pruebas:<br>Dureza<br>Densidad<br>Tamaño de pellet<br><br>Cumple con especificaciones<br><br><u>Si</u> <u>No</u>   |
| Compras    | 14 | Si.- Autoriza su uso en planta.<br>No.- Rechaza material e informa a compras para su reclamo.   |
|            | 15 | Recibe aviso de rechazos de material procede a realizar la reclamación correspondiente  |
| Producción | 16 | El material autorizado es recibido por el Departamento de Almacén.<br><br>Es pulverizado<br><br><u>SI</u> <u>NO</u><br><br>Si.- Es enviado a almacén.<br>No.- Se envía a sección de molinos para su pulverización.  |
|            | 17 | El material pulverizado pasa por la unidad de pesaje para la cantidad requerida según el tipo de producto a fabricar.   |
|            | 18 | La maquinaria y molde son previamente preparados, ajustando las siguientes<br>Tiempos (programador lógico computarizado electrónico) ángulos de inclinaciones.<br>Regulaciones de quemadores y accesorios diversos, colocación de sustancias antiadherente a las paredes internas del molde (si lo requiere). |

- 19 Se carga el molde, colocando en su interior la resina en polvo.
- 20 Cierre hermético del molde.
- 21 Inicio del ciclo de curado y fabricación del producto.
- 22 Se controlan las condiciones del proceso si son requeridas, flamas, mezcla combustible-carburante, comburente tiempos de ciclo y giros.
- 23 Se realiza el fundido óptimo de la resina, terminando el ciclo de curado.
- 24 Se cierran las válvulas de combustión y se encienden los equipos de ventilación con flujo de aire.
- 25 Sin cortar el ciclo de enfriamiento con aire, se procede a enfriar el molde con aspersión de agua.
- 26 Se termina el ciclo de enfriamiento revisando la temperatura del molde.
- 27 Se detienen los tiempos de movimiento de la maquinaria para total.
- 28 Apertura del molde.
- 29 Se extrae la pieza formada a temperatura regular del plástico.
- 30 Inicio de un nuevo ciclo.  
(Se agrega un antiadherente a las paredes internas del molde, sólo cuando se requiere).

## DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCION Y UTILIZACION DE MATERIA PRIMA



## **VI. 2.- PULVERIZADO DE LA RESINA DE POLIETILENO.**

El material termoplástico, del tipo usado para el moldeo rotacional es normalmente vendido como pellets u hojuelas. Con la excepción del Nylon 6 y los plastisolés líquidos, estos pellets deben ser molidos o pulverizados en un polvo fino para el proceso de moldeo rotacional.

Algunos grandes industriales moldeadores pulverizan su propio material, pero la mayoría de los procesadores compran su material premolido, o subcontratan el repulverizado a un pulverizador que lo hace a las especificaciones del cliente. El resultado final es el mismo, excepto que un moldeador de gran volumen puede reducir su costo de material al hacer su propio molido, si es que tiene suficiente volumen para justificar la inversión inicial del equipo de pulverización. La capacidad de moler, también le permite al moldeador la conveniencia y flexibilidad de cambiar el tamaño de la partícula o distribución para una aplicación en particular.

La tendencia creciente hacia el reutilizar piezas moldeadas por rotación previamente moldeadas, incrementará el número de moldeadores con capacidad de pulverización propia. (32)

Hoy en día, hay varios tipos de pulverizadores en uso, de los cuales se muestra una clasificación de ellos en la tabla No. 4, la cuál tiene la finalidad de facilitar el tipo de equipo, conveniente para pulverizar un determinado material y mostrar sus ventajas y desventajas respecto a los diferentes tipos de pulverizadores.

### **VI.2.1.- TABLA NO. 4 CLASIFICACION DE EQUIPO DE MOLIENDA.**

La siguiente tabla, no indica diferentes tipos de equipos de molienda y su ayuda se basa en poder elegir un determinado equipo para su uso, de acuerdo al material a usar y como se quiere obtener un equipo respecto a otros, y sus características propias, de acuerdo a la operación a realizara.

Se hace una distinción arbitraria entre la trituración y la molienda, basándose en que materiales en forma de terrones de un tamaño de 1500 mm a 6 mm deben triturarse y los de tamaño menor deben pulverizarse. <sup>(33)</sup>

Moledoras, Molinos o Molinos Pulverizadores	Comentarios
A.- De bolas:	Longitud igual al diámetro con grandes bolas para la trituración.
1.- De bolas trituración.	Longitud igual a diámetro para molienda intermitente.
2.- De gujarros o piedras.	Se emplean para evitar la contaminación por el hierro. Longitud de 2 a 3 veces el diámetro para funcionamiento en circuito cerrado o abierto.
3.- De cabillas o barras	Producen un mínimo de "finos", pueden funcionar con material húmedo o, varillas o cabillas en vez de bolas, la longitud es doble del diámetro. Los molinos de bolas, de piedras o gujarros y de cabillas o barras funcionan con material húmedo o seco.
4.- De tubo o tubular	Los de tubo y los de compartimiento son de longitud mayor que el doble de su diámetro. El molino de compartimiento es uno de tubo dividido en zonas con bolas de diámetro decrecientes a partir del extremo de la alimentación. Funciona frecuentemente en circuito cerrado con clasificación de tamaños.
5.- De comportamiento	
B.- De rodillo y anillo o corona	Generalmente comprenden clasificación por área o criba. Se adaptan al secado mientras se muele. Pueden girar el anillo o bien los rodillos. Los rodillos se mantienen contra el anillo por la presión de resortes o por la fuerza centrífuga.
1.- De anillo vertical	
2.- De anillo horizontal	
2.a. De taza	2.a. De bolas y anillo
C.- De martillos	También se llaman molinos de choque. Los espacios libres entre las barras de la parrilla son menores que para la trituración o quebrantamiento y las velocidades más altas. A menudo tienen descarga por placa perforada o criba. El eje de los molinos puede ser horizontal o vertical.
1.- De martillos rígidos	
2.- De martillos oscilantes	
3.- De martillos en anillos	
4.- De jaula múltiple	
5.- De discos (placas dentadas)	El desintegrador de jaula múltiple y el molino de discos de placas dentadas son realmente molinos de choque o de martillos.
D.- De discos (esencialmente de placas lisas)	El de muela o rueda doble proporciona velocidades relativamente más altas.

- 2.- De rueda doble
- 3.- De piedras o muelas horizontales.

Los molinos de coloides pueden incluirse en esta clase.

- E.- De energía fluida (molinos de chorro)
- 1.- De gas
  - 2.- Aire

No hay partes móviles en el molino. Los materiales sensibles al calor pueden pulverizarse con aire refrigerado. El vapor de agua es recalentado para evitar su condensación sobre el producto.<sup>13</sup>

De todos los tipos de pulverizadores, el tipo más común para moler polvo para el proceso de moldeo rotacional se ilustra con el molino de la Fig. No. 15.

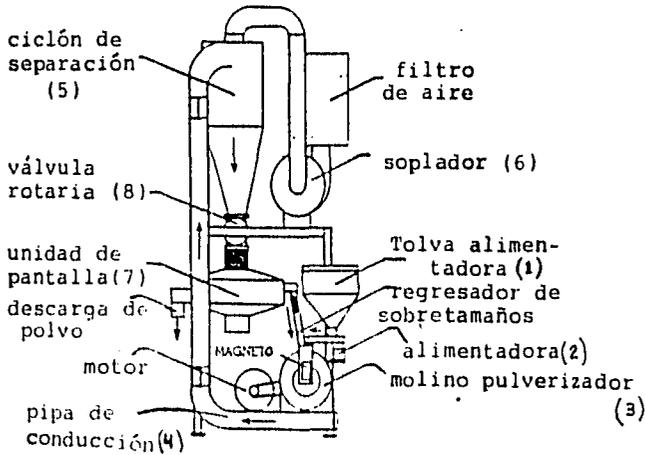
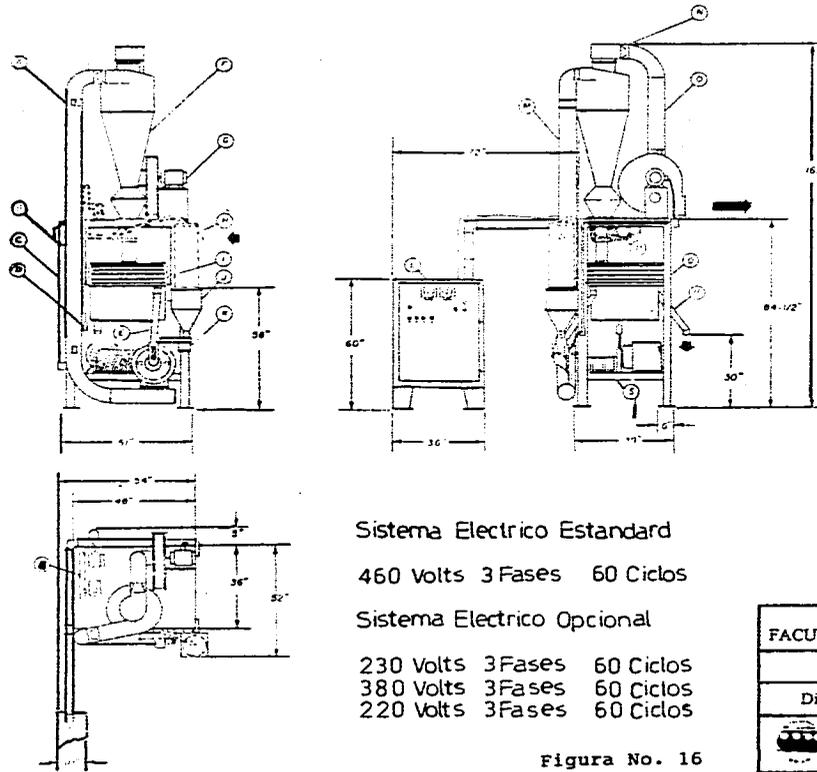


Figura No. 15 Molino de discos.

La función de éste tipo de pulverizadores como sigue:

El P.E.A.D. en pellets es alimentado en la tolva alimentadora (1) por un alimentador variable (2) dentro de la garganta de alimentación del pulverizador (3). Los pellets son alimentados dentro del centro de un disco rotatorio de pulverizado que tiene filas de dientes. Al pasar los pellets a través y entre los discos, son reducidos de tamaño. Al salir el polvo entre los discos,



A	Ducto de vacío
B	Tubo de retorno
C	Cable tensor
D	Interruptor balance
E	Tubo de retorno
F	Ensamble de criba
G	Alimentador/tolva
H	Bomba de vacío
I	Marco de criba
J	Tolva
K	Ensamble
L	Tablero eléctrico
M	Ducto de vacío
N	Recolector
O	Tubo conector
P	Motor de Gate
Q	Bastidor
R	Tubo de entrega
S	Base del molino

Sistema Electrico Estandard

460 volts 3 Fases 60 Ciclos

Sistema Electrico Opcional

230 Volts 3 Fases 60 Ciclos

380 Volts 3 Fases 60 Ciclos

220 Volts 3 Fases 60 Ciclos

FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

TESIS

Dibujo I.Q. Alejandro Ocaña F



Fsc:  Acct:  Fecha:

Vistas Molino

Figura No. 16

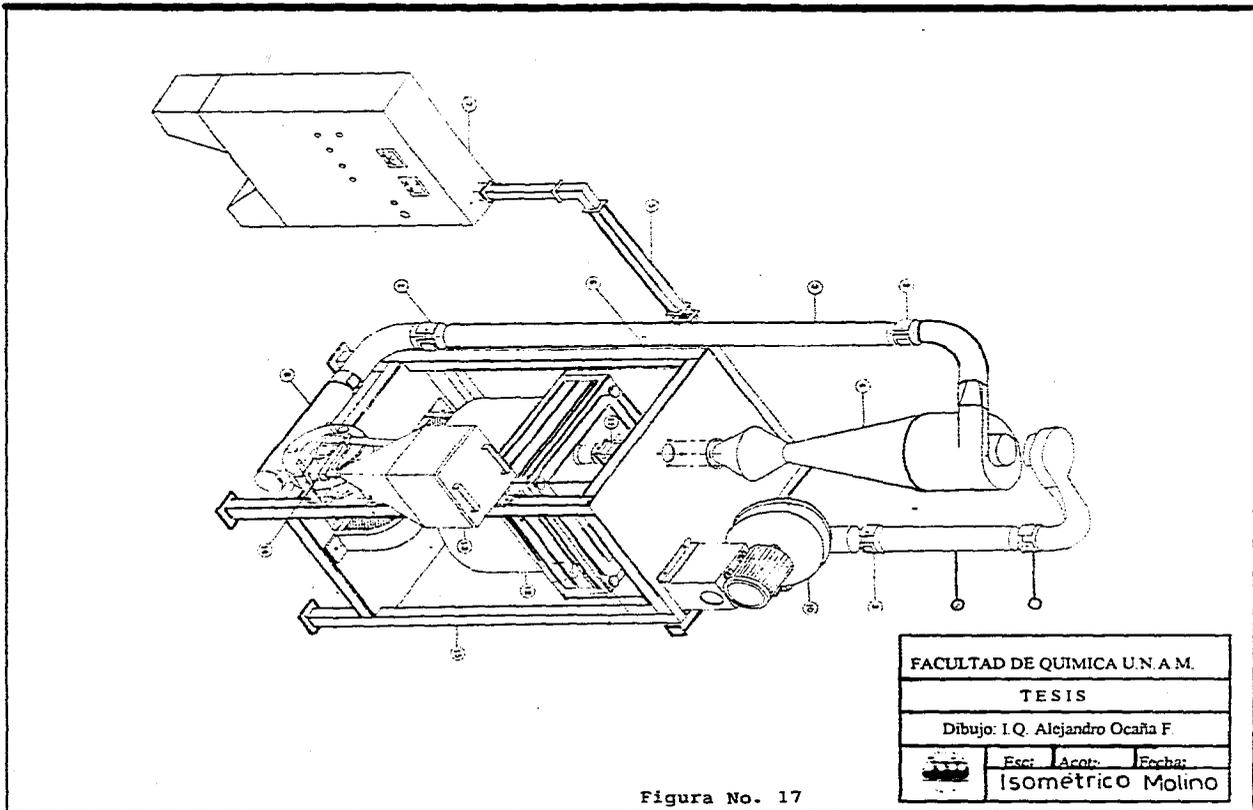


Figura No. 17

éste es recolectado en una cámara angular y conducido por corriente de aire a la pipa de succión (4), donde es transportado dentro de un ciclón (5) y separado del aire. El aire es expulsado a través de un soplador (6) y filtrado para remover el polvo fino que pudiera haber cargado. El polvo se tira con una pantalla separadora o criba (7) al pasar a través de una válvula rotatoria (8).

El polvo que es del tamaño correcto pasa a través de la pantalla y es descargado como polvo final. El polvo de mayor tamaño es nuevamente alimentado al pulverizador para ser repulverizado.

El corazón del pulverizador es el molino de Atrición (Fig. No. 18). Los pellets que serán molidos, son llevados dentro de la abertura en el centro del disco fijo mediante una corriente de aire. Al pasar los pellets entre los discos fijo y móvil, son esquilados o quebrados en pequeños pedazos determinados por el diseño de los dientes, por el número de hilos de los dientes y el espacio entre los dos discos. Se pueden hacer algunos ajustes en el tamaño de la partícula al cambiar la distancia entre los dos discos.

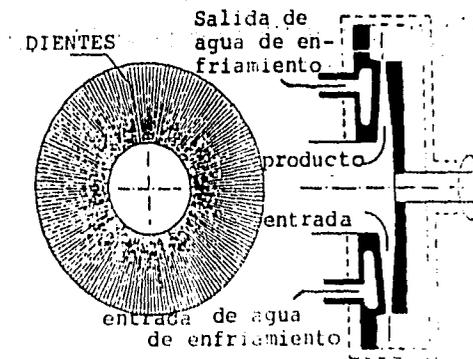


Figura No. 18 Unidad de discos de Molino

El corte y rompimiento de los pellets al pasar a través del molino pulverizador, genera calor en el plástico. Algo de calentamiento es deseable para un molido óptimo. Sin embargo, este calor debe ser controlado de modo de producir partículas de tamaño y forma constante. Esto se logra con canales de agua de enfriamiento en el disco fijo y por el efecto de enfriamiento en el disco fijo y por el efecto de enfriamiento del aire que lleva los pellets al molino de pulverización.

Hay muchos factores que afectan el proceso de pulverización, pero el control de la temperatura del molino es uno de los más importantes. Es interesante notar, que en el caso del polietileno, la pulverización normalmente será más difícil al disminuir la densidad e incrementarse el índice de fundición. La duración del proceso de pulverización de principio a fin, puede variar un 10 ó 20% entre verano e invierno. Por lo tanto la pulverización de buena calidad requiere mucho conocimiento, experiencia y atención a los detalles.

El tamaño y forma de las partículas pulverizadas es crítico para la moldeabilidad de un material dado. Las partículas de polvo mostrados en la Fig No. 19 (aumentadas 5X), están propiamente pulverizadas. Estas partículas pueden agruparse muy juntamente y su densidad a granel será relativamente alta.

Durante el proceso de moldeo, éstas partículas se agrupan juntas con un mínimo de espacio de aire entre las partículas individuales.



Figura No. 19 Partículas con pulverizado adecuado.

Este agrupamiento tan compacto, también trae más polvo al contacto con la superficie caliente de la cavidad y alienta el rápido calentamiento del material.

Las partículas de polvo mostradas en la Fig. No. 20 son un ejemplo de pulverización pobre. Estas partículas varían en tamaño y contienen "cabellos" o "colas" unidos a muchas partículas.



Figura No. 20 Partículas de material con pulverizado defectuoso.

Las colas impiden a estas partículas agruparse muy próximamente. Su densidad a granel será baja y más importante, las colas impiden a las partículas agruparse muy juntas en la superficie de la cavidad. Habrá más aire atrapado entre estas partículas y ese aire tendrá que hacer su camino a través de la pared interior de la pieza durante el moldeo. <sup>(34)</sup>

Para poder seleccionar el tamaño de partícula de pellet triturado, es necesario efectuar la operación de cribado o tamizado, en la cual se realiza la separación de las partículas de una mezcla de granos de diversos tamaños; la separación se efectúa de modo tal que los granos de determinado tamaño sean más uniformes que los de la mezcla original.

Generalmente los molinos para pulverizar plástico en pellets como el mencionado anteriormente, ya tiene integrada la plataforma de tamiz de tipo pulsatoria u oscilante. Este tipo de tamiz se caracteriza por su oscilación a baja velocidad (300 a 400 revoluciones por minuto), en su plano esencialmente paralelo a la tela de tamiz.

Los tamices de este tipo se emplean comúnmente con aberturas de 13 mm (½ pulgada) hasta mallas No. 60. Sin embargo, algunos materiales ligeros que fluyen libremente pueden separarse con mallas del No. 200 al No. 300.

Otro tipo de tamiz, es el de movimiento alternativo. Estos son muy importantes para trabajos con substancias químicas. La oscilación es producida por una excéntrica situada debajo del

tamiz y varfa desde un movimiento giratorio (de unos 50 mm de diámetro) en el lado de la alimentación hasta uno alternativo en el de la descarga. La frecuencia es de 500 a 600 r.p.m. y como el tamiz está inclinado unos 5°, se asienta además una vibración normal secundaria de alta amplitud, de unos 2.5 mm. Una vibración complementaria es producida por bolas que rebotan contra la superficie inferior de la tela del tamiz.

Los tamices o (Sifters), son los utilizados en los molinos para pulverizar pellets y son una máquina en forma de caja que lleva una serie de telas de tamiz colocadas una sobre otra. La oscilación, producida por excéntricas o contrapesos, sigue una órbita circular o semicircular. Muchos cernidores surgen una vibración auxiliar producida por bolas que rebotan contra la superficie inferior de las telas del tamiz.

Los cernidores son un artificio relativamente nuevo que se emplea para tamizar en seco materiales ligeros <sup>(34)</sup>

## **VI.2.2.- PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE Y OPERACION DEL MOLINO**

El procedimiento de arranque y operación del molino es de gran importancia, porque pretende mostrar las partes principales que componen el equipo y la secuencia adecuada en que deben ser accionadas para operarlo adecuadamente y con seguridad, obteniendo de esa forma un control del manejo del equipo, para evitar contratiempos y alcanzando un conocimiento de las partes que componen la herramienta de trabajo.

Es necesario cumplir con el orden de encendido y accionamiento consecutivo de cada una de las actividades que se muestran mas adelante, para entender los fundamentos de operación.

- 1.- Energizar el enfriador para el agua de enfriamiento (24hrs. previas a su uso).
- 2.- Energizar el molino mediante el accionamiento de la palanca del interruptor general hacia arriba.
- 3.- Accionar el interruptor del tablero de control.
- 4.- Oprimir el botón de arranque del motor principal.
- 5.- Oprimir el botón de arranque del motor secundario.
- 6.- Oprimir el botón de arranque del ventilador superior.
- 7.- Oprimir el botón del motor de descarga de material fino.

- 8.- Oprimir el botón de arranque de la bomba de vacío (Gate) del ciclón.
- 9.- Oprimir el botón de arranque de la criba (Sifter).
- 10.- Accionar el interruptor del cargador de material (pellet)
- 11.- En caso de que la perilla de regulaciones se encuentre en cero, girar la perilla hasta colocarla al máximo.
- 12.- Accionar el interruptor del vibrador de alimentación.

### **RECOMENDACIONES**

- 1.- Vigilar que el suministro del material sea constante.
- 2.- Solicitar al área de mantenimiento la correcta calibración de amperímetros, control de presión de aire así como pirómetros.
- 3.- Seguir el manual de mantenimiento preventivo y limpieza.
- 4.- Si el molino se encuentra ajustado adecuadamente, por sí sólo mantendrá las condiciones de operación que necesita.

#### **VI.2.2.A.- MANTENIMIENTO DEL MOLINO**

Una de las necesidades más grandes de cualquier industria es la de tener trabajadores capacitados y conocedores de su herramienta, siendo esa la razón por la cual se mencionan a continuación algunas instrucciones que sirvan para poder mantener un molino limpio y en condiciones de operación, así como prevenir dificultades y realizar mejoras.

Las sugerencias que se mencionan tienen el objeto de ayudar al aprendizaje tanto del operador de un molino, como al personal de mantenimiento del mismo.

##### **VI.2.2.A.1.- LIMPIEZA DE DISCOS:**

El motor únicamente puede ser movido cuando no tiene material en su interior. En caso de que lo tenga, es necesario abrir los discos, lo cual se hace quitando los tornillos del plato fijo con una llave según la medida de estos.

Una vez desmontado, el disco se coloca cara arriba para que no se lastimen las cuchillas o hilos.

Se procede a limpiar con un cepillo plástico de pelo fino y las cuchillas se limpian de afuera hacia adentro hasta dejarlo libre de material granulado o pulverizado (Esto debe hacerse con el disco fijo y el disco móvil).

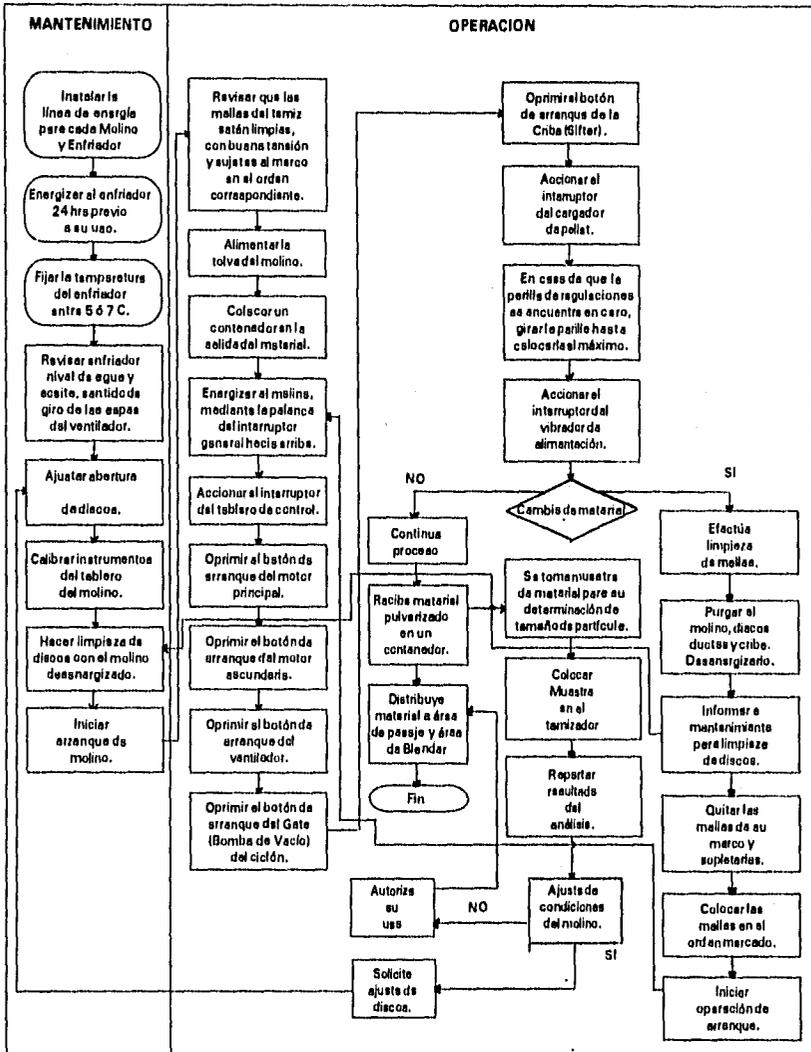
Al concluir esta operación, es necesario soplear dichos discos y la carcaza, dejando todo perfectamente libre de material. Una vez limpio, se monta nuevamente el disco fino sobre las guías de la carcaza.

Se revisa que las tuercas estén apretadas al "llegue", asegurando la posición del plato. Cuando se noten DONAS (material que al ser pulverizado, se hayan fundido y solidificado) alrededor de la carcaza y detrás del plato móvil, habrá que proceder a quitar el material fundido caliente con una espátula SIN lastimar el filo de los discos, se deben sacar estos residuos de material.

El diagrama de flujo de operación de un molino que se muestra a continuación, facilitará entender las acciones a realizar en esta operación y que dentro del proceso de Moldeo Rotacional compone a la etapa de molienda.

El equipo de molino cumple con dos operaciones: la de la molienda del material, en donde reducirá los pellets u hojuelas de la resina y el tamizado donde se hace la selección del tamaño del gramo ya reducido.

## DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACION DEL MOLINO



### **LIMPIEZA DE DISCOS:**

- 1.- Quitar el ensamble del disco con la llave adecuada.
- 2.- Despejar el tubo recto superior.
- 3.- Despejar la ventilación inferior de los discos e introducir aire a presión.

### **VI.2.2.A.2.- LIMPIEZA DE TAMICES:**

Los tamices son cuatro y están numerados hacia el frente, su proceso de limpieza es como sigue:

- 1.- Abrir al máximo los tornillos sujetadores desplazando la tuerca de seguridad, lo que deja libre poco a poco los cajones de las mallas del soporte de los tamices.
- 2.- Abrir los dos cinturones que van de la parte superior del soporte del tamiz a la parte inferior.
- 3.- Sacar el tamiz superior procurando tener un contenedor para recibir el material que se extraída.

Esto deber hacerse con todos los tamices.

Al finalizar esto, la charola deberá ser vaciada de todo el material sobrante.

- 4.- Sopletear los tamices uno por uno hasta obtener la apertura de la malla libre.
- 5.- Revisar la tensión de las mallas haciendo contacto suave con un mano sobre la malla.

### **ENSAMBLE DE LAS MALLAS**

Una vez limpias las mallas ensamblarlas una por una de la parte inferior a la superior, siguiendo la alineación de los números o letras que identifican los tamices.

### **VI.2.2.A.3.- LIMPIEZA DEL EXTRACTOR**

- 1.- Verificar que el extractor funcione siempre y cuando el molino esté trabajando.

2.- El interruptor de encendido deberá estar en "automático", lo que indica que al encender cualquier molino, el extractor funciona durante toda la jornada y media hora posterior al apagado de los molinos para extraer los polvos que quedan dentro del ducto y se reciban en el colector de polvos.

Esta limpieza deberá hacerse cada veinticuatro horas.

3.- Abrir las compuertas del colector de polvos para que salga todo el polvo recolectado, sacudir repetidamente hasta que el polvo caliente sea mínimo.

Esta actividad debe desarrollarse con el extractor sin funcionar.

El siguiente diagrama pretende mostrar de forma breve y clara cada secuencia y actividad que conforman el proceso de transformación de este tema. Y es donde se conjuntan las operaciones antes mencionadas para formar un producto.

Aunque las condiciones de proceso y maquinaria, deben estar controladas, el factor humano también se debe de preparar.

Es así, que con este diagrama de flujo, se pretende dar la capacitación que se requiere para la preparación y desempeño aplicado al proceso.



#### **VI.2.2.a.4.- LIMPIEZA EXTERIOR DEL MOLINO.**

- 1.- Verificar que toda la maquinaria esté desenergizada bajando el switch (interruptor) principal.
- 2.- Con estopa o estropajo, hacer caer el polvo pegado a la maquinaria para recogerlo posteriormente y mandarlo a la caja de merma (material no recuperable).

El extractor puede ir conectado o no al extremo de desahogo del ciclón <sup>(32)</sup>.

#### **VI.3.- PROCESO DE MOLDEO ROTACIONAL.**

El moldeo rotacional de piezas plásticas huecas es la técnica más reciente para la transformación de materiales en la industria del plástico.

Un crecimiento mayor de la industria del moldeo rotacional depende de la disponibilidad de gente, que posea un entendimiento cabal y completo de los diversos seguimientos del proceso.

##### **VI.3.1.- DEFINICION DEL PROCESO DE MOLDEO ROTACIONAL.**

El proceso del rotomoldeo es engañosamente simple. Consiste en cargar un molde hueco cerrado, con un material plástico en forma líquida o en polvo. (Fig. No. 21)

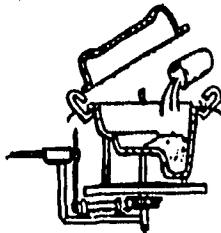


Figura 21. Carga del molde con material en polvo.

El moldeo es entonces continuamente girado sobre sus ejes verticales y horizontales. El molde rotado es transportado dentro de su horno, en donde el molde y subsecuentemente el material plástico son calentados a una temperatura de fusión, mientras continua rotando (Fig. No. 22)

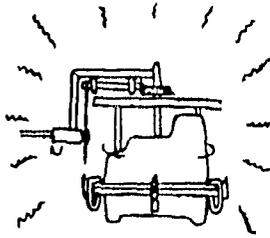


Figura 22. Giro del molde durante la cura del material.

El molde entonces se mueve a una cámara de enfriamiento, donde es rociado con aire, agua o una llovizna de ambos. El molde se enfría y esto permite que la pieza se solidifique y sufra contracción del material de modo que éste pueda mantener la forma del molde. (Fig. No. 23)

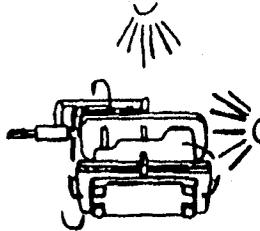


Figura 23. Enfriamiento del molde.

El molde entonces es llevado a la estación de apertura en donde es abierto y se extrae la pieza fabricada (Fig. No. 24)

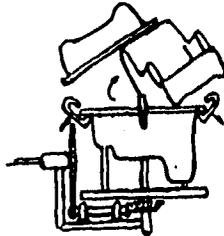


Figura 24. Extracción de la pieza fabricada.

El molde puede entonces ser recargado y el proceso puede comenzar otra vez.

El moldeo rotacional no debe ser confundido con el Sistema Centríffugo, el cual arroja el material plástico hacia la periferia de la cavidad. En el caso del moldeo rotacional, el material plástico permanece como una masa en la parte (por gravedad) más baja del molde.

Al seguir girando el molde, éste pasará a través de la mesa de material plástico una y otra vez, hasta que todo el material plástico haya sido depositado en la superficie interior de la cavidad.

El proceso de moldeo rotacional obviamente es ideal para producir formas esféricas, redondas tales como flotadores y pelotas; pero también de piezas de forma irregular en donde con un cambio en el sentido de rotación y ajustes en los ángulos de inclinación del molde el material pueda cubrir los ángulos ocultos del molde. (Ver Fig. No. 25)

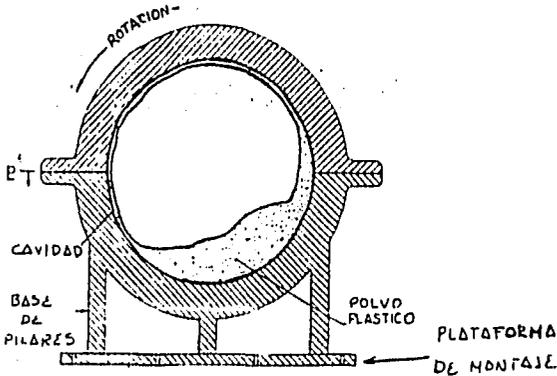


Figura 25. Moldeo Rotacional.

El moldeo rotacional es un proceso de contradicciones. El proceso es simple en concepto pero complejo en ejecución. Hay un número limitado de plásticos moldeables, pero son un ilimitado número de formas posibles. El tiempo de desarrollo de un nuevo producto es corto, pero los ciclos de moldeo son largos. Las maquinarias y herramientas son bajas en costo pero las piezas moldeadas son relativamente de alto costo, pero sin rebasar el costo de piezas y de maquinaria respecto a otros procesos de fabricación. (35)

### VL3.2.- VENTAJAS DEL PROCESO

El rotomoldeo tiene cuatro ventajas básicas, que lo coloca a parte de los otros técnicos de procesamiento de plásticos. Estos son:

- a) Su habilidad para producir partes de una sola pieza, grandes huecas y de formas no usuales.
- b) Es un proceso de baja presión y el equipo y moldes requeridos son relativamente bajos en costo, ésto permite la producción de pequeñas cantidades de piezas grandes.
- c) En relación a su tamaño las piezas rotomoldeadas pueden tener paredes finas, que resulta en ahorros, tanto de tiempo de ciclo como de costos de material.

d) En comparación a las piezas de plásticos producidas mediante otros procesos, las piezas rotomoldeadas tiene niveles relativamente más bajos de esfuerzos internos. Esto es una ventaja importante, ya que los niveles bajos de esfuerzos internos mejoran la fuerza al impacto y la resistencia química. Estas dos propiedades son importantes para la industria que produce grandes tanque de almacenamiento químico.

**VI.4.- TABLA No. 5**

**EQUIPO**

**TIPO DE MAQUINA SELECCIONADA PARA MOLDEO ROTACIONAL**

En esta tabla se ilustran diversos tipos de maquinaria utilizados para el proceso de moldeo rotacional, en el cual se indican ventajas y desventajas en el proceso para cada una de ellas, sirviendo como referencia a la forma de inversión que pudiera hacerse con la maquinaria y equipol que pudiera requerirse al elegirse la utilización de una de ellas. <sup>(35)</sup>

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Flama Abierta	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Bajo costo</li> <li>. Fácilmente adaptable para piezas grandes (tanques de 22,000 Gal.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ciclo de tiempo prolongado (1-1 ½ hrs. a 20 minutos)</li> <li>- Altos costos de utilidad.</li> <li>- Bajo control de calentamiento.</li> </ul>
Carrusel	<ul style="list-style-type: none"> <li>. El más comúnmente usado</li> <li>. Diferentes partes en la misma estructura posible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto costo.</li> <li>- La secuencia es controlada mejor.</li> <li>- Límite en el torque.</li> </ul>
Ramal Sencillo Múltiple	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Menor torque sobre un eje mayor</li> <li>. El tiempo para mantener el ramal no puede afectar el factor de servicio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere un amplio espacio de suelo.</li> </ul>
Clamp-Shell (Concha de almeja)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Poco espacio de suelo</li> <li>. Costo reducido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ciclos de larga duración en comparación con la máquina de carrusel.</li> </ul>
Rock and Roll	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Costo reducido</li> <li>. La mejor para objetos cilíndricos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No es posible una rotación máxima con un eje mejor.</li> </ul>

**Tabla No. 6**

**Tamaño Standard de Malla**

<b>Malla #</b>	<b>Recomendación % peso Retenido</b>
<b>35</b>	<b>2.0</b>
<b>50</b>	<b>58.0</b>
<b>60</b>	<b>15.0</b>
<b>80</b>	<b>13.0</b>
<b>120</b>	<b>6.5</b>
<b>PAN</b>	<b>2.0</b>

Basado en referencia a la distribución del tamaño de partícula por A.S.T.M. D-1921-87<sup>(40)</sup>.

## CAPITULO VII

### METODOS DE PRUEBA A PRODUCTOS

La calidad y efectividad son las bases de un producto competitivo. Es por eso que asegurar el material dentro de especificaciones antes y después de procesarlo es un paso crítico hacia la calidad del producto final.

Los equipos que se mencionan posteriormente, prueban la resina plástica para comprobar que cumplen con las especificaciones de las pruebas aquí presentadas, regidas y fijadas por The American Society for Testing and Materiales correspondiente a la Sección 8 plásticos (A.S.T.M.).

Existen equipos que van a la vanguardia de la tecnología, pero aún así, si se comparan con equipos no sofisticados, ambos en cada prueba en particular deben cumplir con los rangos y valores de cada prueba en particular. Combinando presión y facilidad de manejo según el método de la prueba.

Todos los equipos proporcionaran información estadística y para cada variable pueden establecerse límites para que el resultado final indique si cumple o no con cada prueba.

Los datos comparativos pueden ser muy importantes ya que determinan alguna propiedad en particular del material y se reflejan en su durabilidad, mediante el uso del producto.

Las especificaciones son valores determinados por una asociación respetable y seria, que han sido fijadas en prueba y experimentos bajo condiciones controladas, para que la calidad y propiedades (en este caso, físicas y mecánicas) de un material puedan ser garantizadas previo a su uso.

Los valores que representan las especificaciones tienen la flexibilidad de ser comprobados rigiéndose por el equipo de la prueba y de forma repetitiva.

#### VII.1.- EL INDICE DE FLUIDEZ O MELT INDEX (M.I.).

Es una medida burda del peso molecular promedio o la longitud de cadena de un plástico. La prueba convencional del M.I. para el polietileno es la A.S.T.M. D-1238 (The American Standards for Testing Material, las normas americanas para pruebas de materiales). Este método proporciona información nominal de fluido para una resina a una temperatura específica (19°C), con una presión (de 2.16kg/cm<sup>2</sup>) a través de un barril de 0.376 pulgadas de diámetro, que contiene un orificio de 0.0825 pulgadas de diámetro.

La cantidad de material que fluye en 10 minutos es el Índice de Fluidéz. Ver Fig. No. 26.

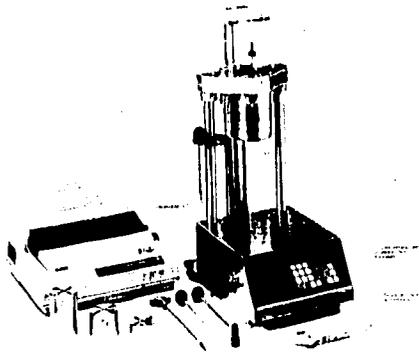


Figura No. 26 Equipo medidor de Índice de Fluidéz

Al ir aumentando el Índice de Fluidéz, la propiedad de fluir aumenta, pero la mayoría de las propiedades físicas disminuyen. Una resina de un alto Índice de Fluidéz tiene cadenas más cortas y peso molecular más bajo o moléculas más pequeñas.

Dos plásticos pueden tener el mismo Índice de Fluidéz, pero pueden tener propiedades físicas diferentes. Esto es debido a la distribución de las cadenas moleculares o la distribución angosta de peso molecular del material.

Si hay una distribución angosta de peso molecular, la resina tendrá más propiedades físicas uniformes.

Los materiales con una distribución angosta de peso molecular son también más uniformes desde el punto de vista de procesamiento. Los materiales de distribución angosta de peso molecular son ideales para procesos de fluido fundido, tales como el moldeo por inyección y extrusión. Sin embargo, materiales de distribución ancha de peso molecular son moldeados rotacionalmente de manera más fácil. <sup>(30)</sup>

## VII.2.- DENSIDAD O DENSITY (D).

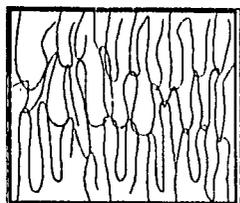
La densidad es una medida de la cristalinidad cuando es controlada por la eficiencia del pliegue molecular de relleno cristalino y ambos son afectados por la rapidez de enfriamiento.

A pesar de que las cadenas moleculares están ramificadas, existe un ordenamiento y alineamiento en las zonas de la masa plástica, lo cual da lugar a un estado cristalino. Ver Figura

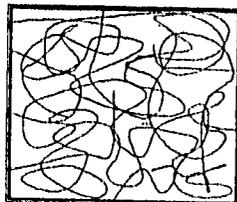
27

A pesar de que las cadenas moleculares están ramificadas, existe un ordenamiento y alineamiento en las zonas de la masa plástica, lo cual da lugar a un estado cristalino. Ver Figura 27

Pero cuando las cadenas moleculares están en desorden y al azar, la masa plástica presenta un estado llamado amorfo. Ver Figura 28



CADENAS MOLECULARES  
ORIENTADAS.



CADENAS MOLECULARES  
DESORIENTADAS

Figura No. 27

Figura No. 28

Al aumentar la densidad, también aumenta la rigidez, la temperatura de deflexión al calor, la distorsión y el encogimiento.

La compleja interrelación entre el Índice de Fluidez, distribución de peso molecular y densidad son consideraciones importantes al determinar cuál polietileno específico va a ser usado para una aplicación determinada.

Todos los polietilenos son considerados fáciles de moldear. Con las debidas precauciones pueden ser re-moldados, re-pulverizados y re-moldeados.

Generalmente hablando, todos los polietilenos pueden ser considerados como de bajo costo, peso ligero, buena tenacidad y resistencia química. Son resistentes a las manchas y a la abrasión. Son fácilmente maquinables, y soldables al calor. Muchos grados de polietileno son capaces de recibir la aprobación de la F.D.A. por sus siglas en inglés (Food and Drugs Administration), Administración de Drogas y Alimentos.

La desventaja de los polietilenos son su baja rigidez y baja resistencia a la temperatura. Tiene factores altos de encogimiento en el molde, que resulta en problemas de ondulamiento. Es difícil lograr una resistencia a quemarse sin sacrificar otras propiedades físicas. (A la fecha no hay grados transparentes de polietileno disponibles.) Existe alguna especie de polietileno sin pigmento que sea transparente.<sup>134)</sup>

### VII.3.- FACTOR DE DENSIDAD A GRANEL.

Es una propiedad importante de un material para procesarlo por moldeo rotacional. El factor de densidad a granel de acuerdo a A.S.T.M. D-1895 , consiste en pasar una taza o una cubeta de 100 centímetros cúbicos o un cilindro calibrado, con material pulverizado a través de un embudo de fluido estandar y permitirse caer dentro de una taza de 100 centímetros cúbicos. El polvo de exceso es sacudido y se pesa el polvo del vaso.

La densidad a granel puede entonces ser calculada dividiendo el peso del material en el vaso entre 100. Esto proporcionará la densidad aparente en gramos/centímetro cúbico . La densidad aparente en libras/pie cúbico, puede ser determinada multiplicando el peso del material por 0.6243.

El polvo correctamente molido tendrá un factor alto de densidad. El polvo pobremente molido tendrá un factor bajo de densidad a granel. El aparato de A.S.T.M. (densidad a granel) se ilustra en la Fig. No. 29.

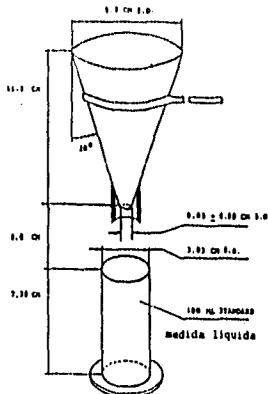


Figura No. 29  
Aparato para  
medir el factor  
de densidad a  
granel.

Para un buen moldeo rotacional de polietileno, el polvo deberá tener una densidad de al menos 34 gramos/centímetros cúbicos. (35)

Las partículas propiamente molidas, tendrán mejores propiedades de fluido en seco, que las partículas pobremente molidas. Las colas en las partículas pobremente molidas se enredarán unas con otras y tenderán a acumularse, lo que impedirá un fluido seco.

La fluidez seca de un polvo es extremadamente importante. Polvos con fluidez, fácilmente encontrarán su camino dentro de huecos profundos asegurando la correcta formación de pequeños rinconcitos y grietas en una cavidad de forma compleja.

Las partículas con colas tenderán a puentearse a través de los finos detalles y esquinas pronunciadas. (36)

#### **VII.4.- FLUIDEZ SECA.**

La fluidez seca (habilidad de vaciado, vertibilidad) es otra parte del procedimiento de A.S.T.M. D-1895.

En ésta prueba, 100 gramos de polvo son vaciados gentilmente en un embudo A.S.T.M. bloqueado. La salida del embudo es luego abierta y se mide el tiempo que le toma al polvo el fluir a través del embudo. Un tiempo corto equivale a una buena fluidez seca.

La fluidez del polvo en su estado seco es luego calculada dividiendo el peso del polvo, que pasó a través del embudo entre el tiempo. La vertibilidad es entonces expresada en gramos/segundo.

Cúmulos de polvo que están adheridos unos a otros deben ser quebrados o eliminados. Polvo con carga estática no actuará de un modo confiable durante esta prueba. La estática puede ser normalmente eliminada vaciando el polvo de uno a otro contenedor metálico.

Un polvo que deja de fluir a través del embudo es considerado de cero vertibilidad.<sup>(39)</sup>

No hay un acuerdo en lo que constituye una fluidez seca adecuada. Las opciones van de 3.5 a los 10.5 gramos/segundo. Sin embargo, generalmente se coincide en que 3.0 a 3.5 gramos/segundo es ideal.

Este es un método simple, pero efectivo para comparar la fluidez de un grupo difícil de material, con material que se reconoce por ser satisfactorio.

La forma de las partículas individuales y si es que tienen o no colas, tendrá un efecto mejor en el tiempo requerido por el polvo para pasar a través del embudo.<sup>(39)</sup>

#### **VII.5.- TAMAÑO DE PARTICULA**

El tamaño de las partículas individuales, también afecta la habilidad del polvo para el fluido seco. Generalmente hablando, los polvos finamente molidos fluirán mejor que los polvos burdamente molidos.

El tamaño de la partícula y la distribución del tamaño de la partícula, son una importante medida de calidad del proceso de pulverizado y la moldeabilidad del material. La malla 35, es el tamaño más común de partículas de polvo usadas en el moldeo rotacional. El tamaño de la partícula es determinado acorde a A.S.T.M. D-1921.<sup>(40)</sup>

En los tamices para granos más gruesos, el término "malla" indica la distancia entre dos alambres consecutivos o bien la distancia entre los ejes de dicho alambre.

En las telas de tamiz para los granos más finos, malla significa el número de aberturas por pulgada lineal y mas claramente se indica por malla/pulgada.

La tela del tamiz, es una superficie con mallas, metálica o textil, empleada para tamizar o separar una mezcla de granos de diversos tamaños en dos o más porciones. <sup>(40)</sup> Ver figuras Nos. 30 y 31.

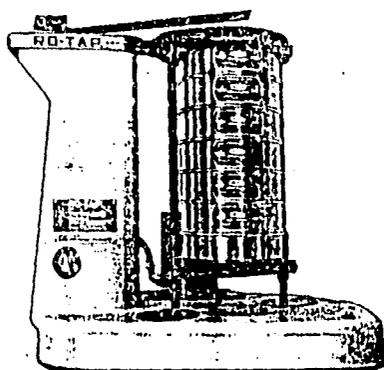


Fig.No.30 Equipo Ro-Tap para determinar distribución de tamaño de partícula.

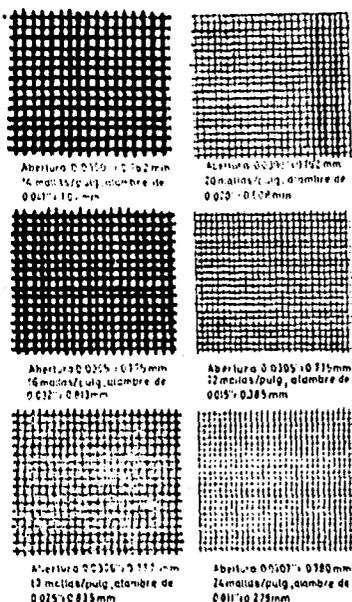


Fig. No. 31 Tipos de malla y abertura.

Para determinar el peso del polvo dejado en cada pantalla, se debe colocar el porcentaje retenido en cada pantalla dividiendo el peso entre 100.

El peso total de todo el polvo, debe ser por lo menos 98% del peso de la muestra original de polvo. Si el peso total es menos que eso, la prueba ha sido defectuosa y el procedimiento debe ser repetido.

Se puede determinar el tamaño promedio de partícula, obteniendo el peso neto de polvo de cada pantalla. Determinar el tamaño de partícula se define como el tamaño de abertura nominal de ese cernidor más el tamaño de abertura nominal en la siguiente pantalla más grande en la pila dividida en dos.

Calcular el tamaño de partícula promedio:

$$\text{Dim} = \frac{\sum (P_i \times D_i)}{100}$$

Dónde:

Dim = diámetro promedio de partícula, en microns.

P<sub>i</sub> = porcentaje de materia retenido en el cernidor.

D<sub>i</sub> = tamaño promedio de partícula, en microns, de material en el cernidor.

Una distribución de tamaño de partícula estandar aceptable para el polietileno, sería donde al menos 95% del polvo, pase a través del cernidor de malla 35, con no menos de 10 a 15% pasando a través de malla 100.

Un molino típico tendrá sólo 1 ó 2% de partículas demasiado grandes para pasar a través del cernidor con malla 35.

Los tamaños estandar de malla se muestran en la tabla No. 6. <sup>(40)</sup>

## VII.6.- PROPIEDADES TENSILES DE LOS MATERIALES PLASTICOS (A.S.T.M. D-638)

El esfuerzo a la tensión, es probablemente la referencia más frecuente de las propiedades físicas del plástico.

Es un buen indicador de la fuerza total del material. Esta prueba consiste en jalar un espécimen estandarizado de ambas orillas hasta que se estira (se alarga) y eventualmente se rompa. (Fig. No. 32)

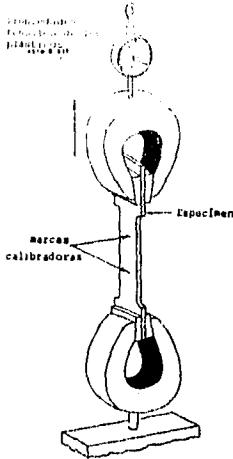
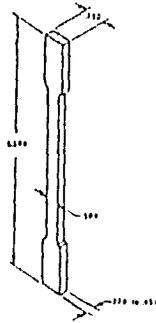


Figura No. 32  
Equipo para la medición de esfuerzo a la tensión.

Los especímenes de prueba (Fig. No. 33) se pueden maquinar, cortar o modelar en la forma estandar de probeta, con un grueso típico de 0.125 pulgadas. Sin embargo, el procedimiento permite engrosar hasta 0.55 pulgadas.<sup>(41)</sup>

Figura No. 33  
Especímen de prueba de tensión  
ASTMD-638



Los especímenes son normalmente preconditionados a 73.4°F y humedad relativa de 50% por no menos de 40 horas.

Muchos plásticos son calificados como sensitivos. En otras palabras, si se cargan lentamente, los valores pueden ser más altos o más bajos que si la carga es aplicada rápidamente. Este procedimiento permite clasificaciones de 0.05 a 20.0 pulgadas por minuto.<sup>(38)</sup>

## **VII.7.- PROPIEDADES FLEXIBLES DE LOS MATERIALES PLASTICOS (A.S.T.M. D-790)**

Este procedimiento define métodos para determinar la fuerza de los plásticos al doblarse. El procedimiento está basado en una viga simple, sostenida de cada extremo, con un peso aplicado en el punto medio. <sup>(39)</sup>

Muchos plásticos dúctiles no se rompen durante esta prueba. En éstos casos, la prueba se detiene cuando la tensión en las fibras exteriores alcanza un 5%. Estos valores se expresan usualmente como módulos de flexión o esfuerzo de flexión a una tensión de 5%.

Los especímenes de prueba, son normalmente barras rectangulares de 5.0 pulgadas de largo por 0.5 pulgadas de ancho por 0.125 pulgadas de grueso. Otros grosores en el rango de 0.6 pulgadas a 0.25 pulgadas son permitidos. La distancia entre los dos soportes es ajustada para igualar 16 veces el grosor del espécimen. Los especímenes pueden ser moldeados o cortados de hoja. El grado de carga, es definido por los diferentes tamaños del espécimen.

Varios resultados son posibles con ésta prueba:

### **VII. 7. a.- RESISTENCIA EN LA TENSION (A CEDENCIA O A ROMPIMIENTOS):**

Es igual a la carga máxima dividida por la sección transversal mínima del espécimen.

### **VII. 7. b.- ESFUERZO A LA TENSION (A CEDENCIA O A ROMPIMIENTOS):**

Es igual al inverso de la carga de tensión de la sección transversal mínima original llevada por el espécimen en un momento dado.

### **VII. 7. c - PORCENTAJE DE ELOGACION:**

Es igual a dividir el largo extendido, por el largo original y multiplicado por 100.

El porcentaje de elongación, es un valor útil, ya que describe la habilidad del material, para absorber una carga, antes de una falla catastrófica. Los materiales sin o con poco alargamiento tienen una falla por cristalización y son muy sensitivos a cargas rápidas de tipo choque.

Los especímenes rígidos que se rompen durante esta prueba se pueden describir con resistencia a la flexión, que es el esfuerzo de tensión de las fibras más exteriores del espécimen en el momento de quebrarse. <sup>(42)</sup>

## VII.8.- TEMPERATURA DE DEFLEXION AL CALOR (A.S.T.M. D-648)

Este procedimiento de prueba, describe un método para determinar la temperatura a la que un espécimen deflexiona una cantidad específica a un esfuerzo de fibra dado. Esta prueba está limitada a materiales que son rígidos a temperatura ambiente.

Especimen de prueba con 5.0 pulgadas de largo por 0.5 pulgadas de alto, con un grosor de 0.125 pulgadas a 0.5 pulgadas son sostenidos en dos puntos separados uno de otro por 4.0 pulgadas. Fig. No. 34

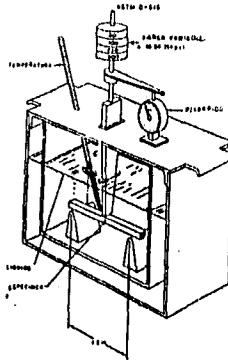


Figura No. 34  
Equipo medidor de  
temperatura de  
deflexión al  
calor.

Una carga es aplicada a la mitad, entre los dos soportes. La carga es preajustada para desarrollar un esfuerzo de 66 a 264 P.S.I. (libre por pulgada cuadrada).

El espécimen es sumergido en un líquido, cuya temperatura del líquido es elevada 2°C por minuto. La temperatura a la cual el espécimen deflexiona 0.01 pulgadas es registrada.

La información desarrollada con este procedimiento es útil para comparar las características de actuación de diferentes materiales. Sin embargo, se debe tener cuidado al usar la información de temperatura de deflexión cuando se escoja un material para aplicaciones donde la temperatura y carga difiera de aquella prescrita en el procedimiento de la prueba.

A.S.T.M. D-1637 describe una prueba similar para temperatura de distorsión de tensión y calor.

Este tipo de información de tensión es frecuentemente útil con una segunda revisión, al evaluar un material para una aplicación dada. Esta prueba está limitada a especímenes delgados con un grosor en el rango de 0.001 pulgadas a 0.06 pulgadas.<sup>[43]</sup>

## **VII.9.- RESISTENCIA AL IMPACTO (A.S.T.M. D-256 Y D-3029)**

La prueba de impacto mide la habilidad de un material para resistir una carga de alto grado. Los datos de impacto son ampliamente usados, como un indicador de la fuerza del material. Sin embargo, los ingenieros no siempre entienden ésta información y hacer mal uso de esta propiedad física.

Estos son los dos tipos básicos de prueba de impacto: El péndulo (I.Z.O.D. y Charpy) D-256 y el de Caída Libre D-3029. La prueba más común está basada en un martillo de tipo péndulo estandarizado. Fig. No. 35, 36 y 37.

El péndulo se balancea a través de un arco y golpea al espécimen que está fijo rígidamente en la base de la máquina, como una ménsula voladiza vertical.

El espécimen se rompe y el péndulo continúa a través del arco una distancia, que es el indicador directo de la energía absorbida en el rompimiento del espécimen. Este procedimiento requiere que el espécimen se rompa. La resistencia al impacto puede ser calculada de este valor. Normalmente se expresa en pies o libras/pulgada de ancho de la muestra.

En éste procedimiento hay cinco métodos de prueba. Aquellos de los más usados para aplicaciones de ingeniería, son los métodos A, B, D y E. Fig. No. 38 y 39.

**VII.9.a.-** Prueba de resistencia al impacto, el método A, utiliza un espécimen, con una muesca viendo al péndulo y está primariamente cargado con tensión.

La muesca contra la carga en un lugar. Esta prueba es un indicador excelente de la sensibilidad de la muesca del material. Algunos plásticos son de muescas más sensitivas que otras. Un material de muesca sensitiva, dará un valor bajo en la prueba, sin embargo, puede actuar mejor si se utiliza en un diseño que no tenga un concentrador de esfuerzo. Fig. No. 38 y 39.

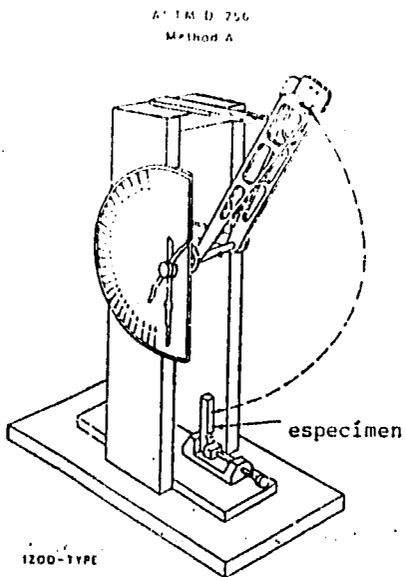
**VII.9.b.-** Prueba de resistencia al impacto, el método E, es idéntico del método A, excepto que el espécimen se coloca con el lado intacto viendo al péndulo. Este es, de hecho un mejor indicador de la resistencia al impacto de un material para aplicaciones, que no impliquen concentradores de esfuerzo. Fig. No. 38 y 39.

**VII.9.c.-** Prueba de resistencia al impacto, el método D, enfrenta el problema de materiales de muesca sensitiva, al permitir que la prueba se realice en especímenes con un radio más grande de la raíz de la muestra. El incremento, en los valores de prueba para valores de muesca sensitiva pueden ser significantes. Ver Figura 39.

VII.9.d.- Prueba de resistencia al impacto, el método B, (charpy) utiliza el mismo equipo. Sin embargo, el espécimen se coloca como una viga simple sostenida de sus orillas. La muesca ve hacia el otro lado del péndulo y está por eso, primariamente cargado de tensión. Este método producirá datos de mayor significacia a un problema particular de diseño. Figs. 38 y 39.

No hay ningún método conocido de correlacionar los diversos métodos de prueba. Es obvio que es obligado saber cuál de los métodos de prueba será usado para desarrollar la información que se considerara.

El impacto de I.Z.O.D., el método A, Prueba de resistencia al impacto, es la información de impacto más comúnmente publicado. Sin embargo, la experiencia ha probado que estos datos generados en el laboratorio, no se correlacionan muy bien con la actuación real de las piezas rotomoldeadas.<sup>(44)</sup>



maquina de impacto con ménsula voladiza.

Fig. No. 38 Método A? tipo IZOD

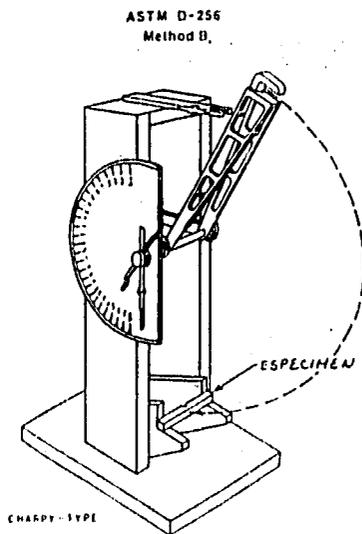


Fig. No.39 Método B, tipo CHARPY

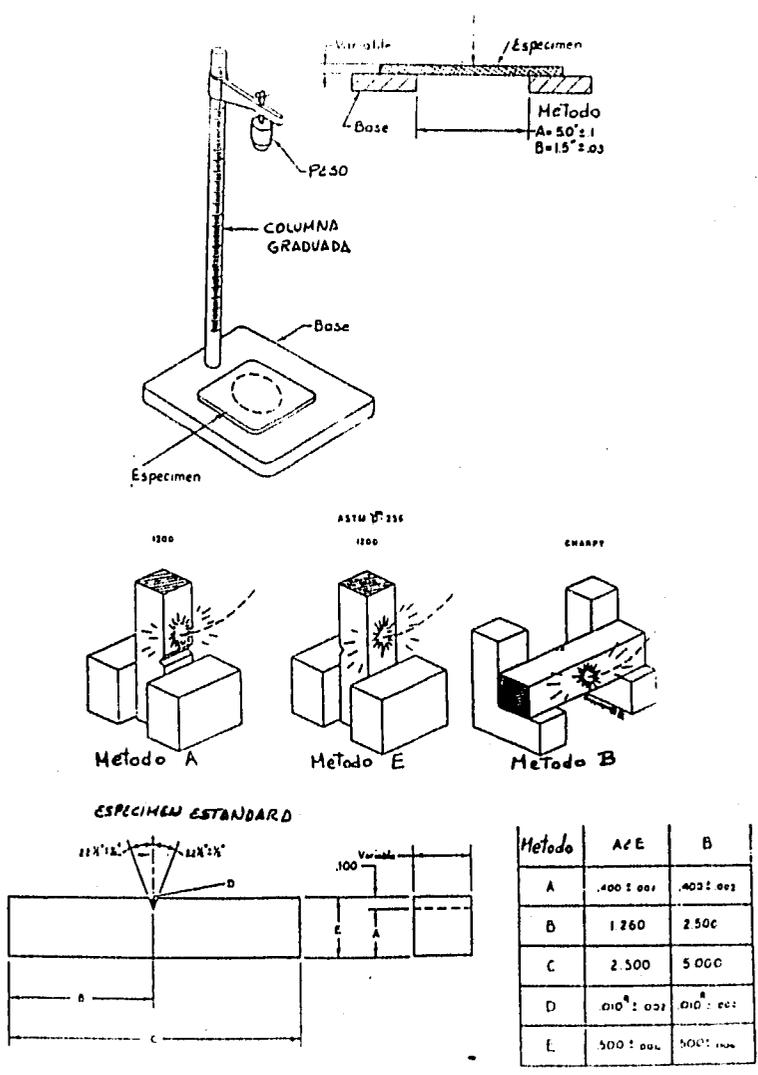


Figura 39 Dimensiones de referencia para los especímenes de las diferentes pruebas de resistencia al impacto

La prueba de resistencia al impacto tipo I.Z.O.D. y Charpy, son las nomenclaturas de dos diferentes asociaciones de pruebas que en base al mismo equipo tipo péndulo pero que cumplen con la prueba A.S.T.M. D-256 usando diferente método como se indicó anteriormente.

**VII.10.- LA PRUEBA DE IMPACTO TIPO CAÍDA LIBRE, (A.S.T.M.) D-3029** (Fig. No. 39) se ha encontrado más representativa de la actuación de uso de piezas de plástico rotomoldeados. La prueba de impacto tipo caída libre, utiliza un peso en caída libre (tipo dardo) para descargar la carga de impacto al espécimen. Las variaciones en el procedimiento permiten diferentes formas, pesos y alturas de caída del dardo así como diferentes tamaños de muestras y aún piezas reales moldeadas. Las hojas planas son el tipo más común de espécimen.

La prueba es practicada normalmente a una altura constante de caída y de peso variable. El peso es aumentado o disminuido hasta que el 50% de las muestras probadas falle.

En algunos casos, el peso es mantenido constante y la altura se ajusta para lograr la falla en la mitad de los especímenes probados.

No hay correlación directa entre los diferentes métodos de prueba. Al comparar diversos materiales, es obligatorio que se utilice el mismo método de prueba.

La altura de la caída, el peso del dardo y las proporciones del espécimen, deben ser reportados, a fin de producir datos significativos.

Esta prueba es a veces más relativa a un problema real de diseño, que la prueba de impacto tipo péndulo. La habilidad para utilizar una pieza real moldeada como espécimen lleva a la prueba fuera del ambiente enciaustrado del laboratorio y lo hace mucho más práctica.

Las variaciones en esta prueba a veces son usadas como una prueba de control de calidad en proceso, en las facilidades de los moldeadores plásticos.

Las características únicas de las piezas rotomoldeadas y su respuesta a cargas de tipo impacto ha resultado en la evolución de una prueba de impacto tipo caída libre modificada.

Este método utiliza pesos de 10, 15 ó 20 libras con un radio esférico de una pulgada en la punta.

Esta prueba, se puede hacer a temperatura ambiente, sin embargo, muchas piezas rotomoldeadas se usan a la intemperie y la prueba se realiza normalmente a 40°C.<sup>(41)</sup>

**VII.11.- E.S.C.R. Ensayo de Envejecimiento Acelerado (A.S.T.M.) D-4329 y D-5208;** es un proceso de laboratorio que imita las fuerzas dañinas del clima, con el propósito de pronosticar la duración relativa de los materiales expuestos a la intemperie.

La lluvia y el rocío son simulados por un sobresaliente sistema de condensación, que da una nueva dimensión de realismo y control con un diseño de extraordinaria sencillez. Los efectos dañinos de los rayos solares son simulados por un conjunto de 8 lámparas fluorescentes especiales. Figs. No. 41

La luz emitida por estas lámparas es concentrada en longitudes de onda de Ultra Violeta (U.V.), críticas para permitir un control más preciso de la aceleración rápida y una operación casi totalmente libre de problemas.

La temperatura de exposición es controlada automáticamente como también la secuencia diaria de los períodos de rayos U.V. y de condensación.

En pocos días o semanas, este equipo de pruebas, pueden producir daños que de otra forma ocurrirían en meses o años de exposición a la Intemperie. Los deterioros observados incluyen decoloración, desintegración de polvo, agrietamiento, fisuración, turbiedad, pérdida del brillo, pérdida de la resistencia y desprendimiento por desintegración.

E.I.E.S.C.R. es una prueba fácil y segura, en los que se da un pronóstico sobre el comportamiento de los materiales cuando están expuestos a la intemperie. No es un dispositivo de análisis barato.<sup>(46)</sup>

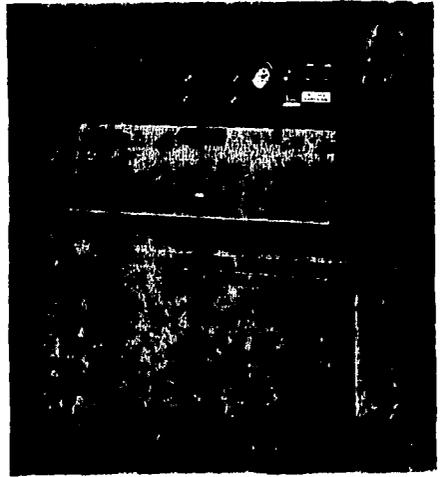
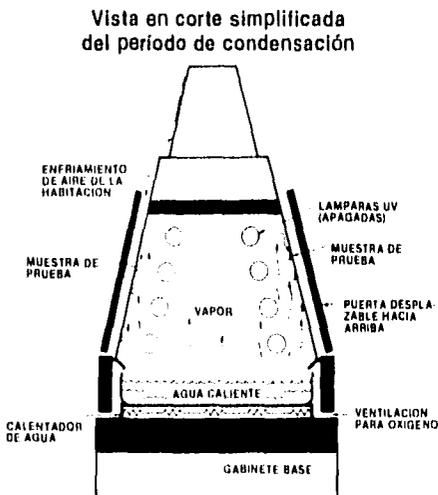


Fig. No. 41 Cámara de prueba para determinación de envejecimiento acelerado.

## CAPITULO VIII

### PARTE EXPERIMENTAL.

#### VIII INTRODUCCION.

En la siguiente práctica, se realizó un estudio de las propiedades físicas mencionadas en el Capítulo VII.3 ; sobre diferentes especímenes de material plástico, elaborados mediante el proceso de Moldeo Rotacional, utilizando un mismo tipo de P.E.A.D., pero con diferente valor de Granulometría. Se tomó como referencia la distribución de tamaño de partícula recomendada por la A.S.T.M. ( Ver tabla No. 6 ).

Suponiendo el conocimiento de las propiedades del material y las pruebas físicas aplicadas a la resina; se mencionó en forma esquemática y breve el procedimiento para la elaboración de un producto mediante el proceso de Moldeo Rotacional y poder hacer la comparación de propiedades y características entre especímenes fabricados a partir de diferente tamaño de partícula de P.E.A.D. pulverizado.

Sin embargo, se profundiza en la selección de aquel artículo más conveniente, en base a menores costos de fabricación y mejor Calidad, así como las ventajas respecto a los valores de las pruebas efectuadas y descritas en el capítulo anterior.

#### VIII.1 DESCRIPCION DEL EXPERIMENTO.

La resina de P.E.A.D., se recibió en dos presentaciones:  
La primera, en forma de pellet y la segunda en polvo.

La resina en pellet, se pasó a molienda ( Ver Capítulo VII.2 ), para obtenerla en forma de polvo y así usarla en el proceso de Moldeo Rotacional.

La resina pulverizada de origen, se utilizó sin modificación.

Se procedió a tomar cantidades de la resina pulverizada en planta, usando el mismo tipo de material: marca, lote, clave y color;

Para realizar el experimento, se procedió a la fabricación de un artículo para cada tipo de Granulometría de P.E.A.D. pulverizado.

Cada muestra, se obtuvo del mismo material, pero seleccionando el tamaño de partícula y elaborando cada artículo mediante el proceso de Moldeo Rotacional ( ver el Capítulo VI.3.1 ). Se monitoreó y registraron los tiempos y movimientos, siendo iguales todas las condiciones de proceso para cada artículo fabricado.

Se determinó obtener nueve tipos de muestras, que son:

- 1.- Especificación ( Referencia o Ref. ), ver tabla No. 6.
- 2.- Uso Industrial ( Ind. ).
- 3.- Proveedor( Prov. ).
- 4.- MALLA No. 35
- 5.- MALLA No. 50
- 6.- MALLA No. 60

- 7.- MALLA No. 80
- 8.- MALLA No. 120
- 9.- MALLA No. 200 + PAN

Se especificaron 5 Kg. para cada muestra ( Ver el dibujo No. 32 que representa el artículo a fabricar) se procedió a efectuar el tamizado con el equipo Ro-Tap ( Ver capítulo VII.5 ) cuantas veces fue necesario, para obtener la cantidad de material requerida en cada tamaño de partícula, excepto en la muestra clasificada, ya que se recibe pulverizada de origen.

Una vez elaborado cada artículo, se clasificó e identificó; procediendo a efectuar en cada uno de los artículos las pruebas mencionadas en el Capítulo VII.

Los equipos de medición utilizados para efectuar las pruebas, son electrónicos y estando automáticamente programados, monitorean y almacenan los parámetros de las pruebas; así como las condiciones bajo las cuales deben efectuarse.

El sistema electrónico, permite calcular instantáneamente el valor de la prueba.

Los equipos usados, prueban la resina para asegurar que cumple con ciertas especificaciones y que el material resistirá cargas y fuerzas, durante su aplicación o uso .

## VIII.2.- PRUEBAS REALIZADAS

### VIII.2.a.- INDICE DE FLUIDEZ A.S.T.M. D-1238

Método " A "

Carga del pistón : 2,160 gr.

Temperatura de prueba : 463 K. ( 190°C. )

Peso de muestra : 5 gr.

Cortes de material : 3 X gr.

M.F.I. =  $\frac{600 \cdot m}{t}$  [ gr 10 min.]

Donde: m = masa promedio de los cortes.

t = intervalo de tiempo, despues de que el corte es hecho.

Equipo : Medidor de Indice de Fluidéz

Kayeness Inc. ( A. Dynisco Company ). Mod. D-7049

( Ver Capítulo VII.1 )

### VIII.2.b.- DENSIDAD

Valores obtenidos de cartas técnicas del proveedor.

( Ver Capítulo VII.2 )

### VIII.2.c.- DENSIDAD A GRANEL A.S.T.M. D-1895

Volumen de muestra. 100 cc.

Peso de cada muestra: variable ( ver tabla de resultados )

Equipo: Probeta de 100 ml.

Balanza electrónica

Soporte Universal

Cono metálico ( estandar de prueba )

Arillo metálico

( Ver Capitulo VII.3 )

**VIII.2.d.- FLUIDEZ SECA A.S.T.M. D-1895**

Peso de muestra: 100 gr.

Equipo: Cono metálico

Soporte Universal

Vaso de precipitados de 100 ml.

( Ver Capitulo VII.4 )

Cronómetro

Balanza electrónica

**VIII.2.e.- DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA ( GRANULOMETRIA )  
A.S.T.M. D-1921**

Cantidad de muestra: 100 gr.

Periodo de prueba: 10 min.

Equipo: Balanza electrónica

Ro-Tap, con charolas y mallas.

Vaso de precipitados de 100 ml.

( Ver Capitulo VII.5 ).

Espátula metálica

Recipientes para muestras

**VIII.2.f.- ESFUERZO A LA TENSION A.S.T.M. D-638**

Resistencia a la tensión:  $R_t = G / A$

Donde:  $R_t$  = Resistencia a la tensión  $\bar{K}g / cm^2$

$G$  = Fuerza de tensión en el momento de la rotura  $\bar{K}g$ .

$A$  = Sección transversal, original de la probota.  $cm^2$

Equipo: Aparato medidor de Resistencia a la tensión

Aparato regulador de temperatura para el espécimen.

( Ver Capitulo VII.6 ).

**VIII.2.g.- RESISTENCIA AL IMPACTO A.S.T.M. D-256**

**VIII.2.g.1.- METODO A, METODO E Y METODO D ( I.Z.O.D. )**

Energía I.Z.O.D. =  $\frac{AK \cdot 10^3}{X \cdot YK}$  ( $\bar{K}g$ )(mm) / (mm<sup>2</sup>)

Donde:  $AK$  = Energía de impacto absorbida por el espécimen de prueba  
( Joules ) = (  $Kg \cdot m^2 / s^2$  )

$X$  = Dimensiones del espécimen de prueba ( mm )

$YK$  = Longitud de la cara al vértice de la ranura del espécimen de prueba ( mm ).

Equipo: Aparato medidor de impacto I.Z.O.D.

( Ver Capitulo VII.9 ).

**VIII.2.g.2.- METODO B ( CHARPY )**

Resistencia al impacto Charpy  $Ech = W / A$  ( $\bar{K}g$ )(cm) / (cm<sup>2</sup>)

Donde:  $W$  = Trabajo de la ruptura (  $Kg \cdot m^2 / s^2$  )

$A$  = Sección transversal del espécimen ( cm<sup>2</sup> ).

Equipo: Aparato medidor de impacto Charpy.

( Ver Capitulo VII.9 )

**VIII.2.h.- ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO A.S.T.M. D-4329 Y D-5208**

Por su alto costo de equipo y de prueba; se contrató el servicio con una firma especializada, enviando una muestra del material a la empresa:  
Centro de Investigación en Química Aplicada ( C.I.Q.A. )  
Dirección de Tecnología de Plásticos  
Saltillo, Coah.  
( Ver Capítulo VII.11 ).

**VII.2.1.- Cálculo de consumo de gas por sistema de turboquemadores**

A continuación se muestra una breve forma del cálculo para el consumo de gas en base a la presión del mismo en los quemadores para la flama y del diámetro de la perforación en los quemadores.

Se muestran también, algunos de los accesorios utilizados para la operación del proceso y condiciones de uso en el Moldeo Rotacional.

$$1 \text{ Kg / cm}^2 = 14.7 \text{ lb / in}^2 = 14.7 \text{ Psig.}$$

Gas L.P.

1 L. gas L.P. = 25,000 B.T.U. +/- Industrial 80 % Butano, 20 % Propano.

1 L. gas L.P. = 55,000 B.T.U. +/- Doméstico.

1 ft<sup>3</sup> gas L.P. = 2,500 B.T.U.

1 m<sup>3</sup> gas L.P. = 88,250 B.T.U.

$$\text{Kcal } 3.98 = 1 \text{ B.T.U.}$$

Psig. = Presión Manométrica.

Psia. = Presión Absoluta.

Patm. = Presión Atmosférica

$$\text{Psia.} = \text{Psig.} + \text{Patm. ( en Psig. )}$$

2 Quemadores = 150,000 B.T.U. ( Ver tabla No 7 ).

Litros : 150,000 = 6 L. gas L.P. / hr.  
25,000

Quemador Largo = con 52 perforaciones

Quemador corto = con 20 perforaciones

Diámetro de perforación = 3 / 32 pulgada

Pgas a pie de máquina = 1.8 Psig.

Paire = 6 Bar.

Compresor I.T.I.S.A

Paire = 3.8 Kg / cm<sup>2</sup>

Serie G - 1205197

Capacidad de tanque = 120 Gal.

Prueba de tanque = 350 L.P.G.  
 P. de trabajo =  $12.3 \overline{\text{Kg}} / \text{cm}^2$   
 P de cabeza = 105cm.  
 Larga del tanque = 1.75 m.  
 Espesor envolvente = 0.5 cm.  
 Diámetro envolvente = 0.61 m.

Para el sistema de enfriamiento:

Ventilador Mod. G.A.B.	Ventilador S. and P.
Tam. 400	G = 5,000 m <sup>3</sup> / hr
Cap. = 3100 P.C.M.	V = 127
	A = 22
	Hz = 60
	R.P.M. = 1725

Molde utilizado: Lámina negra  
 Calibre = 16

Taladro neumático: R.P.M. = 1500  
 Faire = 23 ft<sup>3</sup> / min  
 Torque máximo = 119 lb / ft  
 Faire = 10.6 ft<sup>3</sup> / min.

#### VII.2.2.- Requerimiento de refrigeración , para molino de discos de 40 H.P.

Cantidad de material a moler = 4.5 Kg / min. 60 min. = 270 Kg / hr.  
 Temperatura máxima en discos = 75 °C.  
 Temperatura requerida en discos = 25 °C.  
 T = 50 C. ( durante el experimento ).

$$Q = (M) (CP)(\Delta T) (FRP) \\ (FCT)$$

Donde: M = masa = 270 Kg / hr.  
 CP = 0.54 Cal / kg °C.  
 $\Delta T = 50$  °C.

FPR = factor de perdidas por tubería = 1.25

FCT = factor de corrección de temperatura = 0.83 °C.

$$Q = \frac{(270)(0.54) (50) (1.25)}{0.83} = 9112.5 = 10,978 \text{ Cal / hr.}$$

0.83

0.83

# ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA MOLINERÍA

Por consiguiente, se tiene que una tonelada de refrigeración  
 $TR = 3,024 \text{ Kcal / hr.}$

Por tanto, las necesidades del equipo requerido será de 4 T.R. para que trabaje 90 a 75 % de su capacidad, y se tenga un margen de seguridad.

La tabla No. 8 nos indica en una columna las once cotas determinadas que fueron evaluadas en cada uno de los artículos fabricados, y las siguientes columnas muestran la identificación correspondiente a cada tipo de muestra y el valor obtenido en cada cota.

En la gráfica No. 1 de Dispersión de espesores, se observan las muestras que tuvieron un espesor más consistente y homogéneo en las once cotas fijadas para el estudio. Las muestras que resultaron adecuadas son la No. 5 correspondiente a la malla No. 50, la No. 1 correspondiente a lo especificado por la A.S.T.M., la No. 2 referente a la presentada por el proveedor y la No. 3 que muestra el uso común en la industria, y en ese orden. Las muestras restantes presentan irregularidad en el valor del espesor de la pared del artículo fabricado.

La tabla posterior No. 9 indica las variables de las condiciones de operación a las que se sometió el equipo de molienda ( Molino de discos ); con la finalidad de obtener los parámetros adecuados para operar eficientemente el equipo mencionado. Se resalta la corrida No. 4 con los valores convenientes.

En la gráfica No. 2 se muestra un comparativo de la dispersión del tamaño de partícula, para las tres primeras muestras de material; observándose la misma tendencia que reflejan los tres tipos de muestra, resaltando el máximo porcentaje de material retenido en la malla No. 50, de acuerdo a lo especificado por la A.S.T.M.

En la tabla No. 10 se indican los valores que se obtuvieron de cada una de las pruebas efectuadas en el tipo de muestra de materiales determinados anteriormente.

La primera columna corresponde a la identificación del material y las siguientes columnas representan los valores correspondientes a cada una de ellas.

De la gráfica No. 3 a la No. 9, se representan los valores de cada una de las pruebas efectuadas de manera individual., determinándose: Resistencia al impacto " método A ", Resistencia al impacto " método B ", Resistencia al impacto " método C ", Resistencia al impacto " método D ", Factor de densidad a granel, Fluidez seca y Esfuerzo a la tensión. En todas ellas sobresalen las tres primeras y quinta muestras; No. 1 ( A.S.T.M. ), No. 2 ( Proveedor ), No. 3 ( Industria ) y No. 5 ( Malla No. 50 ) respectivamente.

## **VIII.3 Análisis de Resultados Técnicos y eliminación de alternativas no aceptables técnicamente.**

Uno de los parámetros evaluados para la selección y aceptación de los artículos fabricados fue el de atributos físicos; teniendo como resultado el rechazo de cinco muestras que son :

1) Muestra No. 4 correspondiente a la malla No. 35, en función a que presentó grandes soluciones de continuidad en la superficie. Debido a esta característica, resulta inútil para ser usado como contenedor y por lo tanto se rechaza.

2) Muestras No. 8 y No. 9, que corresponden al material retenido por las mallas No. 120 y No. 200 + PAN respectivamente. Ambas presentaron en la superficie interna de las paredes del artículo cúmulos de material; lo que las hace tener una textura rugosa y un acabado no aceptable. Por tal motivo se rechazan.

3) Muestra No. 7 con material de malla No. 80. Presentó degradación en la superficie externa del material, lo que significa porosidades visibles en amplias zonas. Por tal motivo se rechaza.

4) La muestra No. 6 referente a la malla No. 60, mostró en las primeras cinco cotas revisadas del artículo fabricado valores reducidos, lo que lo hace tener un espesor no resistente para almacenar sustancias. Por ese motivo se rechaza.

En general, las cinco muestras rechazadas tuvieron una mala distribución de espesores, presentando zonas muy gruesas y / o demasiado delgadas y en ocasiones presentando soluciones de continuidad.

Por lo tanto, de las nueve muestras se eliminaron las correspondientes a las números 4 ( malla No. 35 ), No. 6 ( malla No. 60 ), No. 7 ( malla No. 80 ), No. 8 ( malla No. 120 ) y No. 9 ( malla 200 + PAN ) y resultaron técnicamente aceptables las muestras números 1 ( especificación de A.S.T.M. ), No. 2 ( condiciones del Proveedor ), No.3 ( condiciones de Industria ) y la No. 5 ( malla No. 50 ), mismas que se evaluarán económicamente.

#### **VIII.4 Evaluación de alternativas técnicamente aceptables**

Al ser aceptables técnicamente las muestras números 1 ( especificación de A.S.T.M. ), No. 2 ( condiciones del Proveedor ), No.3 ( condiciones de Industria ) y la No. 5 ( malla No. 50 ), se tiene que es factible hacer uso del artículo con la finalidad para la que fue elaborado, y el que pueda recibir impactos y /o caídas sin registrar averías en su función; así como cumplir con los parámetros estipulados.

Cómo resultado, se comprueba lo especificado por la A.S.T.M. respecto a la distribución del tamaño de partícula; siendo el siguiente orden de las muestras la forma en que reflejaron los valores adecuados en todas las pruebas efectuadas:

- 1º.- Muestra No. 1 ( especificación de A.S.T.M. )
- 2º.- Muestra No. 2 ( condiciones del Proveedor )
- 3º.- Muestra No. 3 ( condiciones de Industria )
- 4º.- Muestra No. 5 ( malla No. 50 )

Los resultados anteriores, aunque confirman ampliamente lo especificado por el código A.S.T.M. ( correspondiente a la muestra No. 1 ) desde el punto de vista técnico, no necesariamente representa las condiciones óptimas de producción para la situación actual del mercado en México por lo que, ya habiendo demostrado en el laboratorio y en línea de producción la viabilidad técnica de los productos resultantes de las muestras No. 2, 3 y 5 se comparan con el caso base ( muestra No. 1 ) y se observa lo siguiente:

- a) La adquisición de la materia prima a un proveedor queda sujeta a disponibilidad y condiciones del mercado y a precios fijados por terceros.
- b) El costo de la resina resulta más alto para las muestras números 1, 2 y 5 que para la muestra número 3:

**Costo de resina ( N\$ / kg )**

- 1°.- Muestra No. 1 ( especificación de A.S.T.M. ) = N\$ 11.20 / kg.
- 2°.- Muestra No. 2 ( condiciones del Proveedor ) = N\$ 9.46 / kg.
- 3°.- Muestra No. 3 ( condiciones de Industria ) = N\$ 5.86 / kg.
- 4°.- Muestra No. 5 ( malla No. 50 ) = N\$ 8.75 / kg.

- c) Hay que considerar el que la industria cuente con la infraestructura necesaria para poder desarrollar la capacidad, nivel y calidad de producción.

Otra de las ventajas que representa la muestra No.3, es que si la industria cuenta con su propio equipo de molienda se podrá obtener la distribución adecuada para cubrir su necesidad de pulverizado e incrementar la eficiencia del equipo hasta donde le sea posible; sin que ello afecte la calidad de los artículos.

#### VIII.5.- Resultados

Al evaluar todos los resultados obtenidos, se comprueba que las recomendaciones estipuladas por la A.S.T.M. son ciertas y sustentadas en la práctica.

Sin embargo la muestra número tres que es la utilizada normalmente en la industria mexicana, representa la mejor opción para su uso en el proceso de moldeo rotacional. Ello, debido a los beneficios en costo de materia prima, de servicios, tiempos y aspectos de calidad mostradas por el artículo fabricado y requeridos por el consumidor.

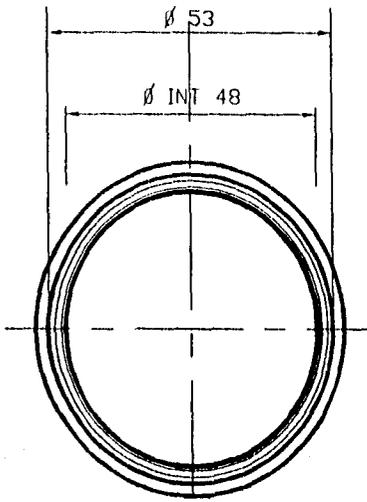
Tabla No.07

Relación de presión de gas con respecto al diámetro de los orificios del quemador

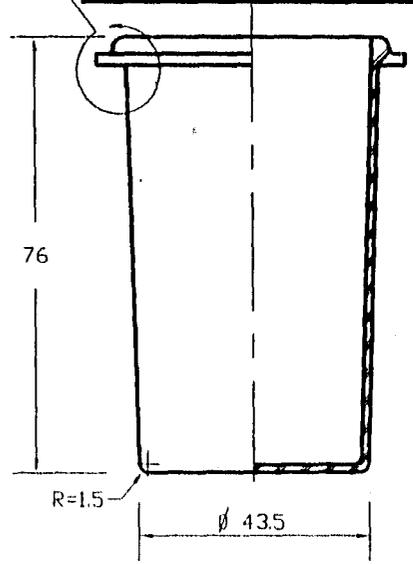
Tamaño de orificio			Presión del gas (P <sub>sig</sub> ), a varias capacidades (F137/hr)					
Diámetro	M.T.D.	Área	15	16	18	20	25	30
1/64	80	0.000143	4	4	4	4	4	5
	79	0.000165	4	4	4	4	5	6
		0.00019	4	5	5	6	6	7
	78	0.00020	5	5	6	6	6	7
		0.00025	5	6	7	7	8	9
	76	0.00031	6	6	8	9	10	11
	75	0.00035	9	9	9	10	11	13
	74	0.00040	10	10	11	11	13	14
	73	0.00045	11	11	12	13	14	16
	72	0.00049	12	13	13	14	16	17
	0.00053	13	14	14	15	17	19	
71	0.00058	15	16	17	18	20	22	
69	0.00067	18	17	18	19	21	23	
68	0.00075	16	19	20	21	24	26	
	0.00078	19	20	21	22	25	28	
	0.00080	20	20	21	23	25	28	
66	0.00096	21	22	23	25	28	30	
65	0.00096	24	25	26	28	31	34	
64	0.00102	25	26	28	29	33	36	
63	0.00108	26	28	29	31	35	38	
62	0.00113	28	29	31	32	36	40	
61	0.00119	30	30	32	34	36	42	
60	0.00126	31	32	34	34	40	44	
59	0.00132	33	34	36	36	42	47	
58	0.00138	34	35	37	40	44	48	
57	0.00145	36	37	38	42	47	51	
56	0.00170	42	43	45	48	54	60	
	0.00173	43	44	47	50	55	60	
55	0.00210	52	54	57	60	67	74	
54	0.00230	57	59	62	66	74	81	
	0.00280	66	72	76	80	89	98	
	0.00310	77	79	84	89	99	109	
52	0.00320	79	82	87	92	102	112	
51	0.00360	87	89	95	100	112	123	
50	0.00380	94	97	103	109	122	133	
	0.00420	104	108	114	120	134	147	
	0.00430	106	110	116	123	137	151	
	0.00480	119	123	130	132	154	169	
47	0.00490	122	125	133	140	157	172	
46	0.00510	128	130	138	146	163	179	
45	0.00530	131	135	144	152	169	186	
44	0.00580	144	148	157	166	185	203	
43	0.00620	154	159	168	178	198	218	
42	0.00660	171	178	187	196	220	242	
41	0.00720	176	184	195	207	230	253	
	0.00750	186	192	203	215	240	263	
39	0.00780	193	200	211	224	249	274	
38	0.00810	200	207	219	232	259	285	
37	0.00860	210	217	230	244	271	298	
36	0.00900	223	230	244	258	286	318	
	0.00940	232	241	254	270	300	330	
	0.00960	236	243	258	272	304	334	
34	0.00970	240	248	263	278	310	341	
33	0.01000	247	256	271	287	320	351	
32	0.01060	263	271	287	304	339	372	
	0.01130	280	289	306	324	361	397	
	0.01230	304	314	333	353	393	432	
30	0.01300	322	332	352	373	418	457	
29	0.01450	359	371	392	418	462	509	
28	0.01550	383	396	420	444	498	544	

Tabla de corrección para gases con diferente gravedad específica a 150  
Multiplicar la capacidad por el múltiplo opuesto a la gravedad específica

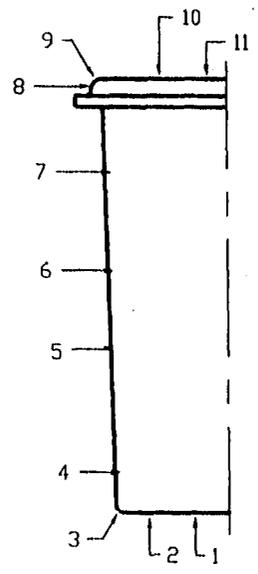
Grav. esp.	Múltiplo	Grav. esp.	Múltiplo	Grav. esp.	Múltiplo
30	2.23	80	1.56	90	1.29
40	1.63	70	1.46	100	1.22
50	1.73	80	1.37	150	1.0
				200	0.87



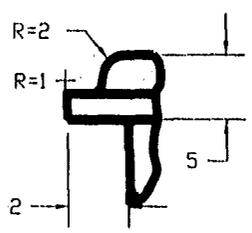
DET. "A" VISTA EN ELEVACION



VISTA EN PLANTA



ESPESTORES



DETALLE "A"

FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.	
TESIS	
DIBUJO: ALEJANDRO OCAÑA F.	
ESC: $\frac{1}{10}$ ACDI: cm	FECHA:
Dib. 32 contenedor	

Tabla No. 8

RESULTADOS DE DISPERSION DE ESPESORES

Muestras de P.E.A.D. según su Granulometría										
ESPESOR	REF	PROV	IND	35	50	60	80	120	PAN	
1	1.54	0.96	1.36	0	2.1	1.04	0.91	1	2.64	
2	1.39	1.52	1.4	2.4	2.1	0.87	1.69	1.6	2.25	
3	2.88	3.48	3.1	3.27	2.46	1.62	2.31	2.7	2.22	
4	1.76	1.64	1.65	2.4	2.08	1.38	2.09	1.85	1.8	
5	2.21	2.56	2	2.25	1.75	1.46	2.3	2.1	1.3	
6	1.95	2.49	1.9	3.6	1.95	1.69	2.03	2	1.64	
7	3.26	2.91	2.98	4.75	2.7	2.14	2.04	1.8	1.9	
8	2.8	2.6	2.6	2.1	2.1	2.2	2	2	2.1	
9	2.6	3.22	2.7	4.2	2.35	2.87	2.79	1.9	1.9	
10	1.59	0.79	1.1	1	2.6	2	1.28	1.1	3.3	
11	1.85	1.79	1.81	1.56	2.6	1.06	0.92	1.5	1.1	

Gráfica No. 1

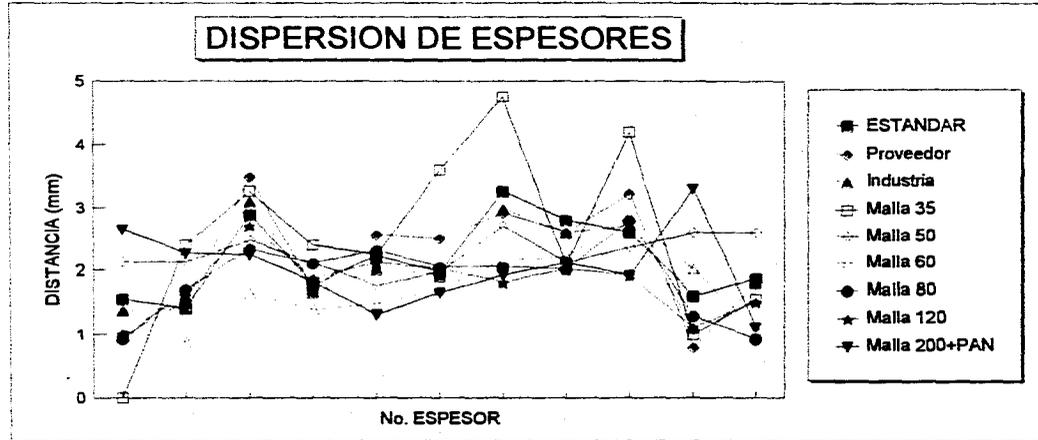
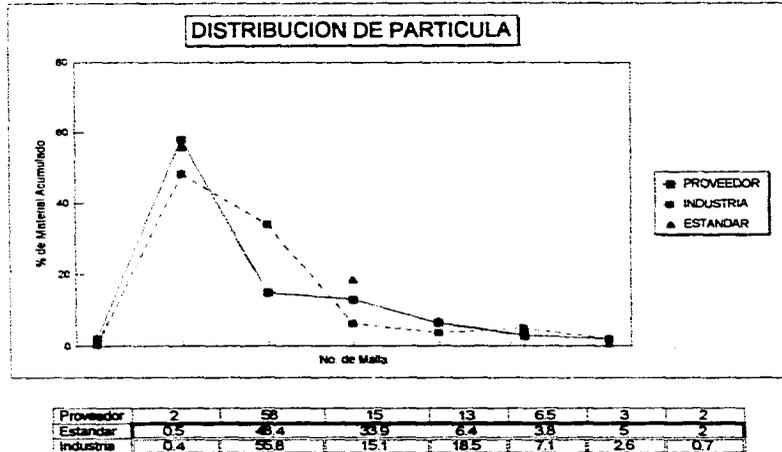


Tabla No. 9 OPTIMIZACION DEL MOLINO DE 12"O DE DISCO  
RESULTADOS DE PRUEBA

CORRIDA	No. de hilos de disco	Abertura de Discos	CONDICIONES DE MOLINO		CONDICIONES DE PRODUCCION		DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA							
			AMP	TEMP	VELOCIDAD	% ABERTURA	TEMP	No. DE MALLA						
								35	50	60	80	120	200	PAN
1	240	0.25	21 a 25	71 C	3.94	70	37 C	0.5	72.2	7.4	11.2	6.2	1.4	0.5
2	240	0.15	21 a 25	77 C	3.66	67	44 C	0.5	71.9	7.7	11.5	6	1.3	0.6
3	360	0.26	22 a 37	52 C	3.58	33	53 C	0.3	52.9	14.1	21.7	7.4	2.8	0.8
4	360	0.26	34 a 35	84 C	3.94	34	56 C	0.4	55.8	15.1	18.5	7.1	2.6	0.7
5	360	0.2	30 a 35	95 C	3.66	34	56 C	0.4	51.1	20.1	16.9	8.3	2.9	1
6	360	0.11	30 a 32	92 C	3.49	31	54 C	0.4	52.7	11.5	23.1	8.5	3.1	0.9
7	360	0.34	25 a 30	93 C	3.63	37	54 C	0.4	54.8	14.8	19.6	7.2	2.5	0.7
RECOMENDACIONES COMERCIALES DE MOLIENDA								2	58	15	13	6.5	3	2
RECOMENDACIONES A S.Y.M.								0.5	48.4	33.9	6.4	3.8	5	2

Grafica No. 2

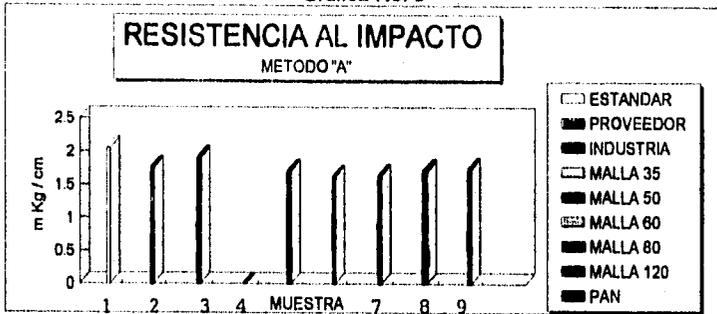


**TABLA No. 10      RESULTADOS DE PRUEBAS APLICADAS  
A ESPECIMENES**

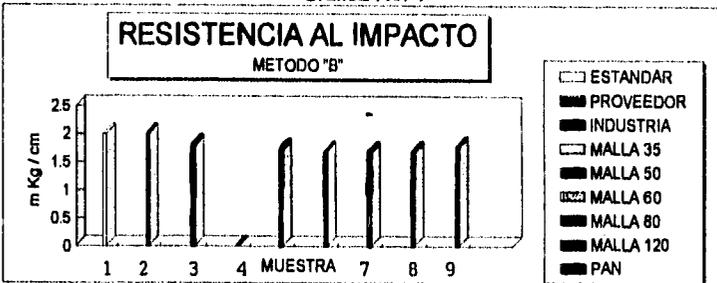
Muestra	PRUEBAS EFECTUADAS					RESISTENCIA AL IMPACTO				E.S.C.R. años
	Melt Index gr / 10 min	Densidad gr / cc	Factor de Densidad gr / cc	Fluidez Seca gr / seg	Esfuerzo a la Tensión cm / min	Método "A" mKg / cm	Método "B" mKg / cm	Método "C" mKg / cm	Método "D" mKg / cm	
Referencia	3	0.939	0.373	3	0.78	2.045	2	1.95	2.054	
Industria	3	0.939	0.375	2.2	0.76	1.757	2	1.9	2.054	
Proveedor	3	0.939	0.375	2.4	0.76	1.919	1.82	1.9	1.744	35
Malta 35	3	0.939	0.599	0	0	0	0	0	0	
Malta 50	3	0.939	0.538	2.3	0.7	1.713	1.75	1.7	1.652	
Malta 60	3	0.939	0.55	2.2	0.65	1.625	1.69	1.68	1.625	
Malta 80	3	0.939	0.588	2	0.65	1.646	1.7	1.71	1.642	
Malta 120	3	0.939	0.6	1.7	0.67	1.721	1.7	1.68	1.625	
Malta PAN	3	0.939	0.675	0	0.6	1.743	1.79	1.7	1.62	

La tabla No. 10 nos representa los valores obtenidos en las pruebas efectuadas para cada una de las muestras de material. La primera columna corresponde a la clasificación de las muestras de material y las columnas siguientes reflejan los valores de las pruebas efectuadas.

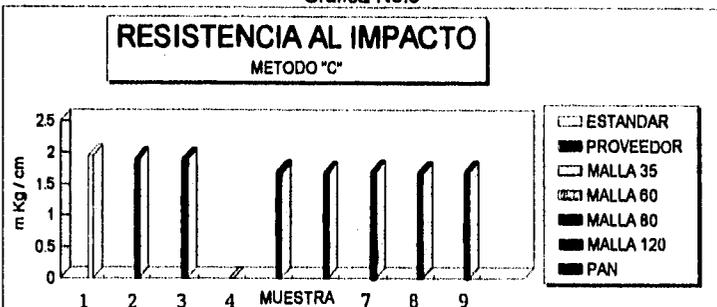
Gráfica No. 3



Gráfica No. 4



Gráfica No.5



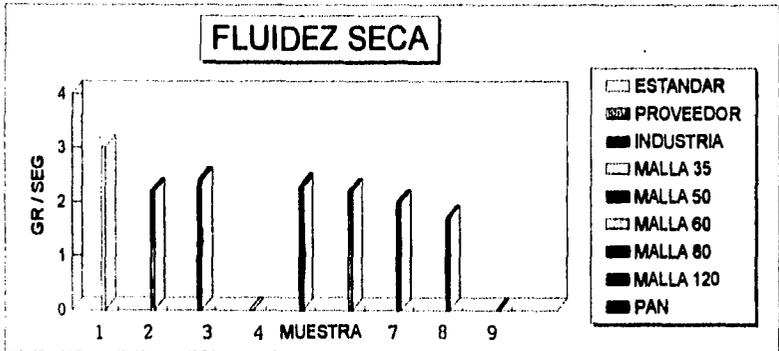
Gráfica No. 6



Gráfica No. 7



Gráfica No. 8



Gráfica No. 9

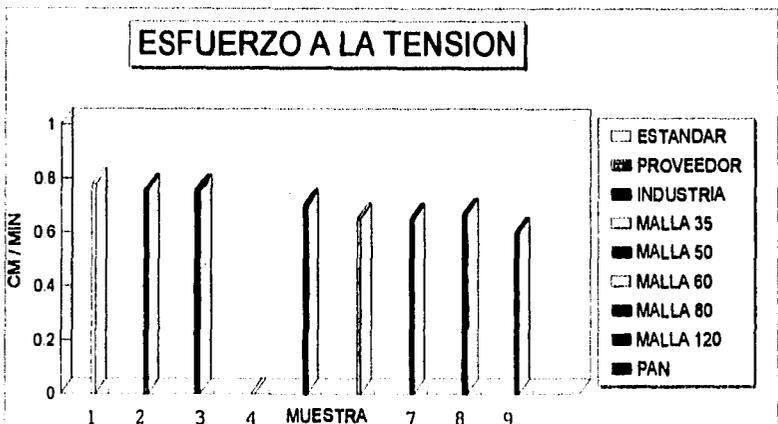


Tabla No. 11 Período de Fabricación

MUESTRAS	REF	PROV	IND.	35	50	60	80	200	PAN
TIEMPO <sub>min</sub>	5.3	7	7.55	6.9	7.5	6.5	8.5	8	8.25

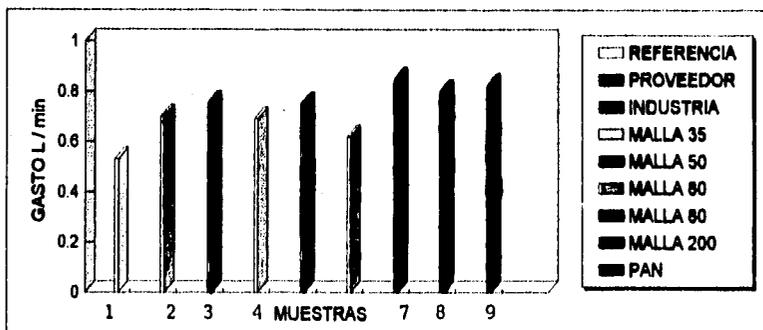
GRAFICA No. 10



Tabla No. 12 Consumo de Agua de Enfriamiento

MUESTRAS	REF	PROV	IND.	35	50	60	80	200	PAN
GASTO (L/min)	0.53	0.7	0.78	0.69	0.75	0.62	0.85	0.8	0.83

GRAFICA No. 11



## CAPITULO IX

### COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

- Los artículos fabricados utilizando el moldeo rotacional y usando como materia prima el P.E.A.D. pueden utilizarse con gran seguridad e higiene en procesos productivos como: Revelado, Galvanoplastia, Almacenamiento de pulpas, Sueros, Frutas, Jugos, Melazas, Leche, Granos, Carnes, Pinturas, Tintes, Colorantes, Escencias, Fragancias, Aditivos, Herbicidas, Pesticidas, Fertilizantes, Resinas, Barnices, Productos de limpieza, Diluyentes, Adelgazadores, Petroquímicos, Productos y Reactivos Químicos, Alcalis, Acidos, Gasolina, Diesel, Agua y muchos más.
- Si este proceso cuenta con alta tecnología, se pueden aprovechar óptimamente las excelentes propiedades de los materiales plásticos.
- El P.E.A.D. es inmune al ataque de muchos reactivos químicos, presentando alta resistencia química y física.
- Los artículos elaborados con P.E.A.D. y utilizados como contenedores, no alteran olores ni sabores; soportan temperaturas hasta 70° C. continuos, son resistentes al impacto, son ligeros, no se oxidan ni se corroen, presentan un alto tiempo de vida útil y para envases de productos alimenticios, están aprobados por la Food and Drug Administration ( F.D.A.) que es un organismo americano reconocido internacionalmente.
- Son higiénicos, indeformables, impermeables, atóxicos y pueden tener acabados tersos ó asperos.
- Se puede fabricar una gran gama de artículos para todo tipo de industria y del ramo de la construcción.
- Las muestras número 4( malla No. 35 ) y números 8 y 9 ( mallas No. 120 y No.200 + PAN ) respectivamente fueron descartadas por completo, al mostrar porosidad y textura rugosa. Las paredes de los artículos también presentaron soluciones de continuidad, debido a la falta de fluidez mostrado por el material.
- Con los resultados obtenidos, se ratifica que los datos proporcionados por la A.S.T.M. respecto a la distribución de tamaño de partícula en material en polvo, son los adecuados para la fabricación de artículos mediante el proceso de moldeo rotacional; además de resaltar la calidad de la materia prima y la tecnología utilizada.
- Las muestras aprobadas técnicamente fueron :
  - 1°.- Muestra No. 1 ( especificación de A.S.T.M. )
  - 2°.- Muestra No. 2 ( condiciones del Proveedor )
  - 3°.- Muestra No. 3 ( condiciones de Industria )
  - 4°.- Muestra No. 5 ( malla No. 50 )

- De acuerdo al análisis económico de las muestras, se presenta la viabilidad de ser aplicadas. Aunque la muestra No. 5 representa menor costo respecto a las muestras No. 1 y No. 2, es más difícil su obtención en cuanto a operación del equipo de molienda, reduciendo la eficiencia del mismo.

1°.- Muestra No. 5 ( malla No. 50 )	= N\$ 8.75 / kg.
2°.- Muestra No. 2 ( condiciones del Proveedor )	= N\$ 9.46 / kg.
3°.- Muestra No. 1 ( especificación de A.S.T.M. )	= N\$ 11.20 / kg.
4°.- Muestra No. 3 ( condiciones de Industria )	= N\$ 5.86 / kg.

- Debido a las condiciones imperantes del país; resulta muy adecuado el uso de la resina preparada bajo las condiciones, propias de la industria nacional, siempre y cuando se cumpla con la producción de artículos de calidad, es decir, que satisfagan **TODAS** las expectativas del consumidor.

- Para que el proceso ganador de este estudio pudiera ser el adecuado, se utilizaron óptimamente los recursos propios con los que cuenta la industria nacional y las condiciones económicas imperantes. Se destaca losiguiente:

La empresa adquiere del proveedor la materia prima en forma de " pellet ", con la finalidad de ahorrar los costos de operación del pulverizado de origen.

La resina es introducida al molino triturador, el cual fue calibrado en la abertura de distanciamiento entre discos, con mallas adecuadas del tamíz y mantenimiento previo a su funcionamiento. La resina pulverizada se obtiene por el ducto de entrega de material para efectuarle las pruebas de calidad correspondientes al proceso y de ser adecuada, se envía a almacenamiento o directamente a la línea de producción.

Finalmente, el aprovechar el equipo de molienda con el que se cuenta, consiguiendo una eficiencia aceptable del molino y calidad de la resina obtenida en polvo, repercute en el uso óptimo de la infraestructura propia y por lo tanto, mayor independencia de terceros y recuperación adecuada de la inversión, haciendo mucho más redituable el proceso.

## CAPITULO X

### BIBLIOGRAFIA

- (1) Revista Panorama Plástica, Abril 1991, No. 53, Vol. 7, págs. 17-25.
- (2) Revista Plásticos (Seminario).  
Instituto Mexicano del Plástico Industrial. S.C., Dic. 1992.
- (3) Raymond E. Kirk y Donald F. Othner.  
Enciclopedia de Tecnología Química, De. U.T.E.H.A., 1961, págs. 845-848.
- (4) Raymond E. Kirk y Donald F. Othner.  
Enciclopedia de Tecnología Química, De. U.T.E.H.A., 1961, págs. 850-851.
- (5) Raymond E. Kirk y Donald F. Othner.  
Enciclopedia de Tecnología Química, De. U.T.E.H.A., 1961, págs. 845-876.
- (6) Memorias del Seminario "Plásticos una nueva alternativa",  
Asociación Nacional de Industrias Químicas, A.C., 1985, págs. 1-10.
- (7) Petróleos Mexicanos (P.M.), Anuario 1993, págs. 75-98.
- (8) y (9) H. Steiner, Introducción a los productos derivados del petróleo,  
Ed. C.E.C.S.A., 1963 págs. 96-111.
- (10) Boletín Informativo de la Revista del Instituto Mexicano del Plástico Industrial, Año 3, No. 1, Dic. 1993.
- (11) Raymond E. Kirk y Donald F. Othner.  
Enciclopedia de Tecnología Química, De. U.T.E.H.A., 1961, págs. 870-880.
- (12) Modern Plastics. Rev. January 1992, págs. 57-60, 85-95, Vol. 69, No. 1.
- (13) Bayer, Información Termoplásticos.
- (14) Modern Plastics. Rev. January 1992, págs. 90-98, Vol. 21, No. 6.
- (15) Krupp Kautex Maschinenbau, Dipl. Ing. W. Daubenbüchel, Bonn 3  
(Hozlar), Germany.
- (16) Association of Rotational Molders, U.S.A., 1983, págs. 1-25.
- (17) Recubrimientos Plásticos, S.A. de C.V. Información Técnica, Brasil, 1992.
- (18) Cost and Administration in Engineering. Thuesen and Thuesen,  
Mc. Graw Hill, 1989, págs. 63-70.
- (19) Chemical Engineering Cost Estimation, Tyler and Winter, 1993,  
Boletín Informativo, Asociación Nacional de Industrias Químicas,  
CANACINTRA 1er. Bimestre 1993.
- (20) Gregory R. Chopin. Química 5ª Reimpresión, México 1973, págs. 75- 82.
- (21) Mark F.H. and Bikales M.N.  
High density polyethylene. Enciclopedia of polymer science and engineering,  
Vol. 6, 2ª impresión. págs. 454-484.
- (22) Polymerization of Ethylene, Chem. Eng., Vol. 73, No. 24, págs. 127-131, 1966.
- (23) Phillips 66 Co. Avances y desarrollos en el procesamiento del P.E.A.D.,  
México 1984, págs. 1-32.
- (24) Propiedades del P.E.A.D., datos técnicos de proveedores.  
- Mobil Polymer, U.S. Inc. M.P. Muehlstein  
M.P. Bapolene

- EXXON Chemical Canadá M.P. Escorene.
  - A. Schulman Inc.
  - Dupont Canadá.
  - Union Carbide.
- (25) Mitsubishi, Polyethylene-Mitsui Toatsu Chemical Inc. Hydrocarbon Processing, Vol.47, No.11, pág. 225 (1968).
  - (26) Phillips, Polyethylene (Low Pressure-Phillips) Hydrocarbon Processing, Vol.34, No.12, pág. 181 (1955).
  - (27) Naphchem, Make high density polyethylene, Vol.43, No.11, págs. 146-148 (1970).
  - (28) Chemical L.T.D., Polymerization of Ethylene, Chem. Eng., Vol.73, No.24, págs. 127-131 (1966).
  - (29) Hoechst, Ashi, Chemische Werkw, Montedison German Process uses Ziegler-Type catalisis to make wax, Chem. Eng., Vol.75, No.2, Pág.86 (1968).
  - (30) Dupont, Polyethylene, Hydrocarbon Processing, Vol.44, No.11, pág.266, (1965).
  - (31) Union Carbide, High density poliethylene, Hydrocarbon Processing, Vol.44, No.11, pág. 266 (1965).
  - (32) Association of Rotational Molders, U.S.A, 1983, págs. 38-55.
  - (33) Manual del Ingeniero Químico, John H. Perry, Unión Tipográfica, Ed. Hispanoamericana, Tomo II, Secc. 16, Principios de Trituración y Molienda, págs. 1738-1787 (1976).
  - (34) Association of Rotational Molders, U.S.A, 1983, págs. 38-55.
  - (35) Association of Rotational Molders, U.S.A, 1983, págs. 56-70.
  - (36) Índice de Fluidéz (Melt Index) A.S.T.M. D-1238-88, 1989 Annual Book of A.S.T.M. Standards Section 8, Vol.8.01, Plastics I. Test Method for floww Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer, págs. 402-410.
  - (37) Densidad (Density) 1989 Annual Book of A.S.T.M., Standards Section 8, Vol. 8.02, Plastics 11, págs. 136-138.
  - (38) Factor de Densidad a Granel A.S.T.M., Standards Section 8, Vol.8.02, Plastics II. Test methods for apparent Density Bulk Factor and Pourability of plastics material, págs. 138-142.
  - (39) Fluidéz seca, A.S.T.M. D-1895. 1989 Annual Book of A.S.T.M., Standards Section 8, Vol.8.02, Plastics II. Test Method for apparent density bulk factor and pourability of plastics material, págs. 138-142.
  - (40) Tamaño de partícula A.S.T.M. D-1921-87. 1989 Annual Book of A.S.T.M. Standards Section 8, Vol.8.02, Plastics II. Standard Test Methods for Particle Siza (Sieve Analysis) of Plastics Materals, págs. 159-162.
  - (41) Propiedades Tensiles de los Materiales Plásticos A.S.T.M. D-638. 1989 Annual Book of A.S.T.M. Standars Section 8, Vol.8.01, Plastics I, Standard Test Method for Tensile Propieties of Plastics (mETRIC), págs. 156-176.

- (42) **Propiedades Flexibles de los Materiales Plásticos A.S.T.M. D-790.**  
1989 Annual Book of A.S.T.M. Standars Section 8, Vol. 8.01, Plastics I,  
Standard Test Method for flexural Propietias of Unreinforced and Reinforced  
Plastics (mETRIC), págs. 290-298.
- (43) **Temperatura de Deflexión al Calor A.S.T.M. D-648-82**  
1989 Annual Book of A.S.T.M. Standars Section 8, Vol. 8.01, Plastics I,  
Standard Test Method for Defletion Temperature of Plastic under Flexural  
Load, págs. 183-195. (Reapproved 1988).
- (44) **Resistencia al Impacto A.S.T.M. D-256 y D-3029.**  
1989 Annual Book of A.S.T.M. Standars Section 8, Vol. 8.02, Plastics II,  
Standard Test Method for Impact Resistance of plastics and Electrical  
Insulatin Materials, págs. 57-73.
- (45) **Prueba de Impacto Tipo Caída Libre A.S.T.M. D-3029-84.**  
1989 Annual Book of A.S.T.M. Standars Section 8, Vol. 8.02, Plastics II,  
Standard Test Method for Impact Resistance of rigid plastics sheeting or parts  
by means of at up (Falling weihht), págs. 541-551.
- (46) **Ensayo de Envejecimiento Acelerado A.S.T.M. D-4329-84.**  
1989 Annual Book of A.S.T.M. Standars Section 8, Vol. 8.02, Plastics II,  
Standard Practice for Operating Light and Water Exposure Apparatus  
(Fluorescent UV - Condensation Type) for Exposure of Plastics, págs. 418-  
421.