



668.4233

A769

C.2

Escuela Superior Politécnica del Litoral

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

**“Reciclaje de Poliestireno para
fa Fabricación de Láminas“**

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título do

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

OONZALO AROCA ALVAREZ

Guayaquil - Ecuador

1992



A G R A D E C I M I E N T O

Al ING. IGNACIO WIESNER F.,
Director de Tesis, por su
ayuda y colaboración para
la realización de este tra
bajo.

Al ING. OMAR MALUK S., por
su valiosa cooperación, con
sus eyuipos que sirvieron
para la realización de nues
tras pruebas.

DEDICATORIA

A DIOS por darme fuerzas y sabiduria para enfrentar todo lo adverso en la consecución de mi carrera.

A la Memoria de MIS PADRES que fueron un soporte para alcanzar mis metas propuestas.

A mi Suegro Sr. Benigno Delhi G. que representó un eslabón muy importante para que yo logre coronar mi carrera.

A mi esposa Raquel que con su amor, supo estar en los momentos difíciles y poner equilibrio en mi vida.

A mi hijo Ronny Aroca, que con su presencia hizo poner mayor intensidad a mis metas propuestas.



.....
Ing. NELSON CEVALLOS BRAVO
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



.....
Ing. IGNACIO WIESNER
DIRECTOR DE TESIS



.....
Ing. JOSE PACHECO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....
Ing. OMAR SERRANO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis le corresponden exclusivamente al autor; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Titulos Profesionales de la ESPOL).



GONZALO AROCA ALVAREZ

R E S U M E N

El crecimiento industrial que el país ha experimentado en estos últimos años respecto a la industria del plástico, y el incremento en la acumulación de todos los desperdicios que dichos productos originan a nivel nacional; y en especial a nivel local, nos lleva a realizar investigaciones sobre fórmulas adecuadas para dar solución a este problema. El reciclaje se ha convertido en un salvoconducto obligado a tomar, y es por esto, que nos hemos centrado en un polímero que es muy utilizado, como es el poliestireno (PS), el cual genera gran polémica a nivel mundial, pues para la elaboración de ciertas formas de dicho producto se utilizan agentes químicos causantes de la destrucción de la capa de ozono. Esto nos permite obligadamente, dar una solución a la naturaleza; y, el reciclaje permitirá eliminar en gran forma dicho problema.

Una forma de apoyar con una tecnología apropiada es nuestra investigación denominada: "RECICLAJE DEL POLIESTIRENO PARA LA FABRICACION DE LAMINAS". Este trabajo es la sintetización del esfuerzo científico para

lograr que el Ecuador sin una industria petroquímica avanzada, pueda convertir material y obtener excelente calidad con el mismo, con perspectivas óptimas de fabricación.

INDICE GENERAL

	Pag. #
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XII
SIMBOLOGIA.....	XIV
INTRODUCCION.....	1
<u>CAPITULO I</u>	2
I) <u>FUNDAMENTOS TEORICOS</u>	2
1.1 Justificación del proyecto.....	2
1.2 Introducción y clasificación de los polimeros sintéticos plásticos.....	5
1.3 El poliestireno en aplicaciones de ingeniería	17
1.4 Proceso estandar de reciclaje de poliestireno de desperdicios.....	33
1.5 Simbología utilizada para desperdicios.....	37
1.6 Proceso de extrusión de láminas o planchas..	40
1.7 Diseño del equipo experimental.....	44
<u>CAPITULO II</u>	59
11) <u>TRABAJO EXPERIMENTAL</u>	59
2.1 Obtención y selección del material triturado.....	59
2.2 Producción de lámina con el equipo experimental.....	62
2.3 Evaluación de la utilización entre el mate-	

rial reciclado y el material virgen.....	65
<u>CAPITULO III</u>	68
111) <u>CONTROL DE CALIDAD DE LA LAMINA</u>	68
3.1. Resistencia al impacto - método IZOD.....	68
3.2 Temperatura de ablandamiento - VICOT.....	71
3.3 Traccidn en el punto de ruptura.....	73
3.4 Elongación en el punto de ruptura.....	76
3.5 Retraccidn.....	79
3.6 Ensayos fisicos.....	80
<u>CAPITULO IV</u>	87
IV) <u>DISCUSION DE RESULTADOS</u>	87
4.1 Análisis de resultados.....	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
TABLAS DIAGRAMAS Y ANEXOS	99
BIBLIOGRAFIA	119



INDICE DE FIGURAS

NO	Pag. #
1.2.1	6
1.2.2	13
1.2.3	109
1.2.4	14
1.2.5	15
1.3.1	110
1.3.2	19
1.3.3	21
1.3.4	22
1.3.5	24
1.6.1.	111
1.6.2	112
1.6.3.	113
1.7.1	46
1.7.2	53
1.7.3	57
	XI

1.7.4	Características del molde o matriz cabezal utilizado.....	58
3.1.1	Esquema de como es determinada la resis- ten- cia al impacto método IZOD.....	114
3.1.2	Cuerpo de prueba del ensayo de resistencia al impacto método IZOD, mension- es usuales, 1/8 < 1/2 < 2 1/2 pulgadas.....	115
3.2.3	Vista esquemática del equipo utilizado para determinación del punto de ablandamiento... VICAT.....	116
3.3.1	Dimensiones de la probeta para ensayo de... tracción.....	74
3.4.1	Ejemplo cualitativo del comportamiento de .. tres materiales en termino de esfuerzo de formación.....	77
3.6.1	Equipo utilizado para el ensayo de defle- xión térmica.....	117
3.6.2	Esquema de realización del ensayo para la determinación de la dureza Rockwell "L"....	118
4.1	Gráfico de Dureza Rockwell "L" vs Porcenta- je de material reciclado.....	91
4.2	Gráfico "Esfuerzo de formacibn".....	92
4.3	Gráfico de "Los defectos superficiales .vs. porcentaje de reciclado".....	93
4.4	Gráfico de "Porcentaje de defectos .vs. por- centaje de material reciclado".....	94



INDICE DE TABLAS

No .		Pag. #
I	Cadenas macromoleculares en Homo y Copolí- meros.....	99
II	Clasificación de los plásticos.....	100
III	Unidades repetitivas de los polimeros <u>ma</u> yormente usados.....	101
IV	Características del monómero estireno....	102
V	Tabla de resistencia química de la resina (poliestirenos).....	103
VI	Características visuales de algunos polí- meros.....	104
VII	Resistencia al impacto de algunos produc- tos EDN.....	106
VIII	Temperatura de ablandamiento VICAT de al- gunos productos EDN.....	106
IX	Propiedades de tensión de algunos produc- tos EDN.....	106
X	Densidad de algunos productos EDN.....	107
XI	Temperatura de deflexión térmica de algu- nos productos EDN.....	107
XII	Escalas de dureza Rockwell "L"	108
XIII	Dureza Rockwell "L" de algunos productos. EDN.....	108
XIV	Resultados de temperatura de ablandamiento VICAT.....	89

XV	Ensayo de tracción.....	89
XVI	Determinación de densidad.....	89
XVII	Ensayo de dureza.....	90



S I M B O L O G I A

A = Area igual del cilindro [mm²]

C = capacidad térmica del material.

C = carbono.

Q = carga debida al peso del tornillo [Kg].

q = carga por unidad de longitud [Kg/m]

Kf = conductividad térmica del fluido $\frac{\text{cal}}{\text{mm.Hr}}$

Nf = coeficiente de seguridad por resistencia a la fluencia.

ρ = densidad del polimero [g/cm³]

d = diámetro del tornillo Cmml.

ΔT = diferencia de las temperaturas inicial y final [°C].

h3 = dosificación.

σ_{ad} = esfuerzo admisible [Kg/cm²].

σ_t = esfuerzo del tornillo [Kg/cm²].

τ_{max} = esfuerzo cortante máximo [Kg/cm²].

σ_n = esfuerzo normal [Kg/cm²].

Y_{max} = flecha máxima [mm].

P = fuerza ejercida sobre el tornillo [Kg].

f = frecuencia de giro del tornillo [Hertz].

i = grado de compresión.

H = hidrógeno.

δ = huelgo radial entre la cresta y el filete.

σ_{ff} = límite de fluencia a la flexión [Kg/cm²].

L = longitud efectiva del tornillo Cmml.

- L_3 = longitud de la zona de extrusibn [mm].
 L_f = longitud de medida final [mm].
 L_o = longitud de medida inicial Cmml.
 M = masa de una extrusibn [Kg].
 MA = masa de la muestra [Kg].
 M_p = masa del vacio [Kg].
 MAA = maaasa del vaso ma5 agua.
 Mab = máximo momento por flexibn [Kg.m].
 S = momento polar inercia [mm³].
 Z = mbdulo resistente.
 E = mbdulo elástico [Kg/cm² l.
 I = momento de inercia.
 n = número de meros de la cadena polimérica.
 ρ = peso especifico [g/cm³].
 h = profundidad del canal helicoidal en las zonas de alimentación Cmml.
 h_2 = profundidad del canal Cmml.
 H = potencia [watt].
 Z = relacibn de volúmenes.
 T_s = temperatura de la pared [°C].
 T_∞ = temperatura de fluido [°C].
 T_1 = torque del tornillo [Kg - mm].
 H_c = unidad promedio de conductancia por conveccibn [cal/mm² .H].
 ΔT_c = variacibn de temperatura en el cilindro [°C].
 ΔT_f = variacibn de temperatura al comienzo y al final en



las zonas de alimentación [$^{\circ}\text{C}$].

XVI

V_A = volumen de la muestra [cm^3].

V_c = volumen del cilindro.

V_e = volumen extruido.

INTRODUCCION

En el presente trabajo de investigación, se trata de analizar las técnicas de reciclaje de plástico usadas y mejorarlas, con el fin de lograr un aporte al desarrollo de nuestro país. Como sabemos, el problema de recolección de desperdicio en nuestro país y de manera especial, a nivel local, se torna asfixiante; además si se toma en cuenta que gran parte de esos desechos provienen del plástico, es por esto que se propone el análisis del poliestireno como un polímero reciclable,

Sabiendo que hay gran cantidad de poliestireno (PS) que día a día expenden las industrias en diferentes productos; y, que tan solo un pequeño porcentaje es aprovechado por las industrias para su posterior reproceso.

Además teniendo en cuenta que los ensayos efectuados en este trabajo nos conlleva a tener resultados de comparación entre la utilización del material reciclado y el material virgen,

En fin, nuestra tesis "RECICLAJE DE POLIESTIRENO PARA LA FARRICACION DE LAMINAS " aporta en gran medida con una solución al serio problema de acumulación de desperdicios.



CAPITULO I

1) FUNDAMENTOS TEORICOS

1.1 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

En el desarrollo industrial experimentado por los países catalogados como tercer mundo debido a que son países en vías de desarrollo, el ECUADOR no puede quedarse al margen, y es por eso que debe tomarse las medidas adecuadas para seguir la ruta de desarrollo. La economía de nuestro país esta basada principalmente en el petróleo, que es un recurso no renovable, y atribuyendo a esto que pese a depender de las rentas que se obtienen de las ventas de su petróleo, no se ha podido concebir aún una industria petroquímica que responda a las necesidades cada día más crecientes que el país exige.

El índice poblacional está en constante aumento, teniendo como núcleo de crecimiento las principales ciudades como: Guayaquil, Quito, Cuenca, Machala, Portoviejo, en lo que concierne a la recolección de desperdicios, tenemos que un gran

porcentaje de los desechos provenientes de los hogares y del casco comercial es el plástico; y, que una manera de aliviar el problema de acumulación de desperdicios es recuperar estos materiales sintéticos mediante el reciclaje.

El mismo que no es solo una solución industrial, sino un salvoconducto de la "ecología", la cual es afectada y a su vez trae consigo el desequilibrio de la naturaleza. Debido a que nuestro país no cuenta con una infraestructura petroquímica y estando próximos a competir en el mercado andino frente a países como Colombia y Venezuela los cuales poseen una avanzada producción de resinas plásticas, un país como el Perú, con una gran variedad de empresas procesadoras del plástico que podrían "invadir" nuestro mercado nacional. El reciclaje del plástico, permitiría recuperar y producir "materias primas" y traducirlas en la fabricación de nuevos productos, con lo cual se consigue disminuir los costos de producción, Una vez encontrada una de las maneras de inducir al desarrollo del país, es necesario hacer innovaciones en las técnicas y conocimientos que tenemos acerca de los materiales sintéticos plásticos. Una forma de apoyar con una tecnología apropiada



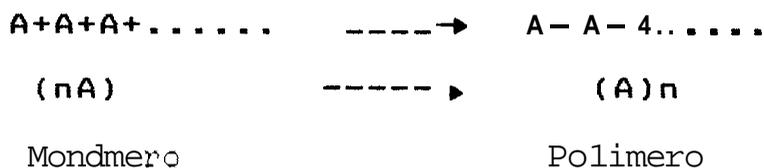
piada, es nuestra investigación denominada, "RECI
CLAJE DEL POLIESTIRENO PARA LA FABRICACION DE
LAMINAS".

Este trabajo es la sintetización del esfuerzo
científico para lograr optimizar y profundizar
el reciclaje de dicho polímero; y obtener excelente
calidad con perspectivas óptimas de fabricación.

1.2 INTRODUCCION Y CLASIFICACION DE LOS POLIMEROS SINTETICOS PLASTICOS

POLIMEROS SINTETICOS PLASTICOS.

El termopolimero inicialmente fue usado para referirse a una macromolécula o molécula grande formada a partir de elevado número de moléculas unitarias por la adición sucesiva de unas con otras:

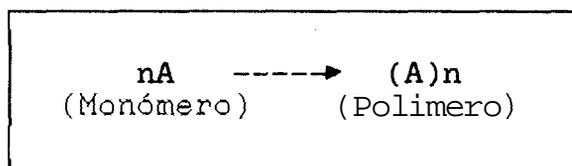


Actualmente el termopolimero tiene un sentido bastante amplio, cualquier sustancia formada por macromoléculas resultantes de la reacción de elevado número de moléculas de tamaño común es llamado polimero independientemente del hecho de la reacción de formación de la macromolécula, sea por adición o por eliminación (condensación).

Actualmente los polimeros son definidos con sustancias formadas de macromoléculas que presentan unidades estructurales que se repiten sucesivamente. Los polimeros formados a partir de un solo monómero por medio de una reacción de adición,



son llamados polímeros de adición.



El poliestireno es un polímero de adición, tal como se observa en la figura # 1.2.1.

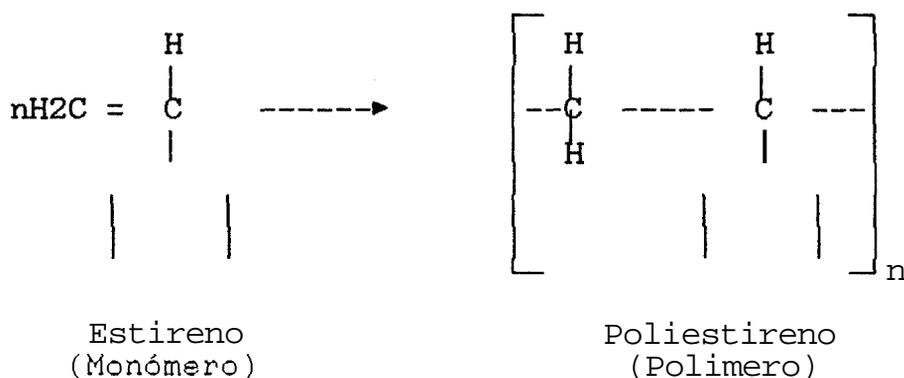
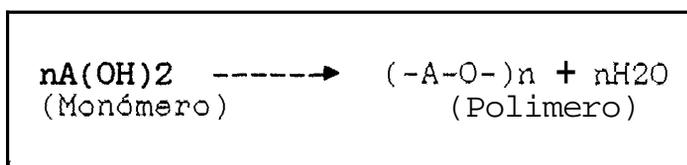


Figura # 1.2.1 : Cadena polimérica del poliestireno.

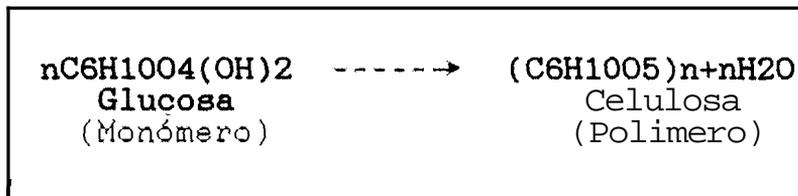
Los polímeros formados por la condensación de moléculas de un monómero con eliminación de otra molécula (generalmente de agua), son llamados polímeros de condensación



La celulosa es un polímero de condensación formado



do por el monómero B glucosa; una molécula de celulosa se forma por la reacción de condensación entre las moléculas B glucosa con eliminación de agua.



Por lo tanto los monómeros son compuestos químicos que reaccionan para formar polímeros; y la reacción química que conduce a la formación de los polímeros es la polimerización.

Grado de polimerización.- El número de meros de la cadena polimérica generalmente se simboliza por n o dp . Por tanto, cuanto mayor sea el número n , mayor será el peso molecular del polímero. Cuando hay más de un tipo de mero en la composición del polímero, este es designado como copolímero, por ej.: el elastómero SBR (BunaS) y un copolímero de butadieno y estireno. El termocopolímero cuando hay tres monómeros en juego, puede ser aún particularizado usando la expresión termopolímero.

Cuando se desea resaltar el hecho de que el polí

mero tenga apenas un tipo de mero, se usa la expresión homopolimero.

A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A HOMOPOLIMERO

B-B-B-B-B-B-B-B-B-B-B-B-B-B HOMOPOLIMERO

A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A COPOLIMERO

El copolimero no representa cualquier ordenación de unidades químicas (meros), se dispone quizás, son llamados copolímeros estáticos.

En el otro extremo cuando hay perfecta regularización de constitución disponiéndose las unidades químicas diferentes (meros) de modos alternados, se los llama copolímeros alternados.

Cuando al contrario de una unidad química de cada tipo se alternan sus secuencias de unidades químicas iguales, el producto es denominado copolímeros en bloque.

En el caso particular que esos bloques existieran como ramificaciones poliméricas del esqueleto principal de la macromolécula, el copolimero es grafitizado o insertado. Esto se aprecia en la tabla I.

Monómero	---	Polimeros	<table border="0"> <tr> <td rowspan="3"> </td> <td>Homopolimero</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Copolimeros</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td></td> <td>—</td> </tr> </table>		Homopolimero	—	Copolimeros	—		—
	Homopolimero	—								
	Copolimeros	—								
		—								
			<table border="0"> <tr> <td rowspan="3"> </td> <td>Estaticos</td> </tr> <tr> <td>Alternados</td> </tr> <tr> <td>Bloque(Grafitizados</td> </tr> </table>		Estaticos	Alternados	Bloque(Grafitizados			
	Estaticos									
	Alternados									
	Bloque(Grafitizados									
			6							
			Insertados)							

Las propiedades de los polímeros dependen principalmente de tres factores:

- De la naturaleza química de los monómeros y sus aplicaciones en la estructura molecular formada, tanto en lo que a construcción como configuración, al peso molecular y a su conformación;
- Del proceso de preparación empleada; y debido al mecanismo comprometido y, por lo tanto, sus repercusiones en la estructura macromolecular;
- De la técnica escogida para esa preparación con la consecuente adecuación mayor o menor del polímero formados para un determinado proceso.

Las propiedades de una macromolécula comienza a aparecer a partir de un peso molecular definido; en general a partir de 1000 a 1500, y se tornan evidentes luego que ese número aumenta. El poliestireno convencionalmente proveído en el mercado tiene un peso molecular que varía de 100.000 a 300.000 ($n = 1000$ a 3000). De forma general los poliestirenos de mayor peso molecular, son mecánicamente más resistentes; en contrapartida ofrecen mayor esfuerzo en el cizallamiento.

Los plásticos son polímeros de alto peso molecular que a temperatura ambiente son sólidos; sin embargo

cuando son sometidos a temperaturas o presión o ambos, ablandan; fluyendo con facilidad, pudiendo de esa manera ser formados o moldeados en las más variadas formas. En cuanto a sus características de fusibilidad los plásticos pueden ser divididos en dos grandes grupos que son:

Termoplásticos: Son los plásticos que se funden o se ablandan toda vez que son sometidos a temperaturas altas y vuelven a su estado inicial cuando se enfrían ejemplos: PS, PE, PM, PVC, ABS, etc.

Termorrígido: Son los plásticos que una vez formados por efectos de la temperatura y presión, no se ablandan cuando son sometidos a un ablandamiento posterior; esto es por que adquiere una estructura reticular, ejemplos: Resinas epoxi, Resinas fenólicas, silicones, etc.

Hay cuatro técnicas específicas para realizar una reacción de polimerización :

Solución: Es una técnica donde el polímero obtenido, forma una solución totalmente homogénea.

Este tipo de técnica es utilizada industrialmente cuando el polímero va a ser y utilizado en solución.

Ejemplo: Resinas Acrílicas utilizadas en tintas.

Emulsión: Es la técnica de polimerización en que las partículas del polímero formado son de aproximadamente 0.1mm de diámetro.

Esto es conseguido a través del uso de jabones formadores de emulsión. El iniciador está disuelto en fase acuosa.

Ejemplo: Resina PVC para plastisol.

Suspensión: El monómero es finamente distribuido en agua por medio de agitación intensiva, formando partículas de polímeros de 10 a 500 μm (0.1 a 0.5 mm) de diámetro. La solución es conseguida a través de agentes de suspensión tales como: Celulosa o Gelatina, para aumentar la viscosidad de la fase acuosa.

El iniciador es soluble en el monómero e insoluble en agua.

Ejemplo: Polietireno cristal y de impacto.

Masa: Es la técnica más usada industrialmente en las policondensaciones.

El polímero es obtenido solamente con adición del iniciador en el monómero, por lo tanto no hay ningún producto extraño, esto es impurezas.

La gran dificultad de este proceso es el

control de la temperatura, pues la reacción es a menudo exotérmica principalmente para los monómeros vinílicos,

Ejemplos: Poliestireno transparente y de alto impacto.

Las moléculas pueden ser constituidas por diferentes cadenas de unidades repetitivas (tal cual lo podemos verificar en la tabla 111), dependiendo de la naturaleza y del mecanismo de polimerización.

Los polímeros también son clasificados como:

Lineal, Ramificado y Reticulado.

Lineal: PS Cristal, Nylon, PEAD.

Ramificado : PEBD, POLI (Acetato de vinil).

Reticulado (con ligaciones cruzadas) : Resinas Fenólicas, Melaminicas.

En la figura # 1.2.2, se representan los polímeros, lineal, ramificado y reticulado,



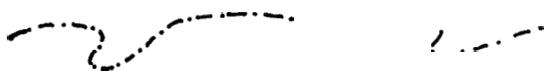
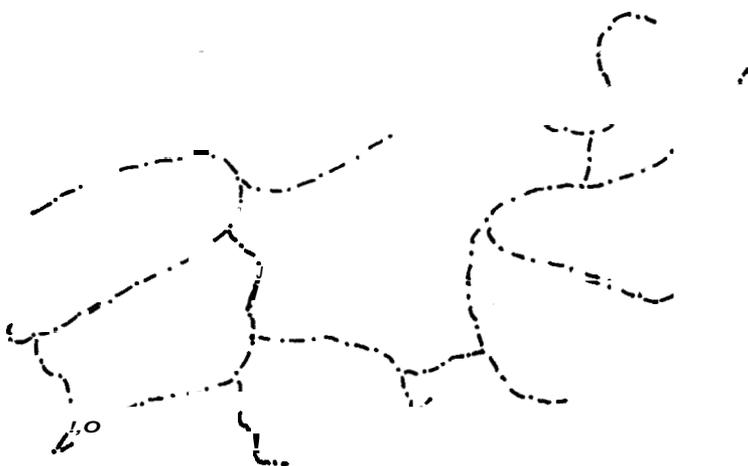
**LINEAL****RAMIFICADO****RETICULADO**

Figura # 1.2.2. Representación de los polímeros lineales ramificados y con ligaciones cruzadas.

Los polímeros pueden existir en estado amorfo caracterizado por un arreglo desordenado de moléculas en estado cristalino en el que hay una ordenación tridimensional. Muchos polímeros presentan cristalinidad, muy rara vez son 100% cristalinos. Generalmente la cristalinidad es medida en porcentaje.

Cuanto mayor es la cristalinidad, mayor será la densidad del polímero, la misma que nos sirve como medio base para medir la cristalinidad; ver figura # 1.2.2.

El estado amorfo es considerado como aquel en que las moléculas están completamente desordenadas, En el estado las cadenas son consideradas enroscadas, denominadas "Cadenas estdticamente enroscadas".

El poliestireno es un polímero caracterizado por el estado amorfo. Esta amorfidad es explicada por la configuración de su estructura molecular, como lo muestra la figura # 1.2.4.

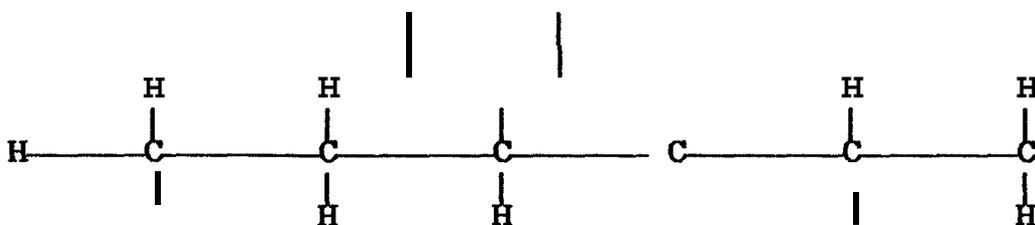


Figura # 1.2.4.: Configuración de la estructura molecular

El tamaño del anillo bencénico es once veces **mayor** que el hidrógeno y su peso corresponde al 74% del peso total del polímero. Este tamaño y su distribución desordenada a lo largo de la cadena, impide que se torne estructura ordenada: polímero amorfo.

La temperatura de fusión (T_m) indica la temperatura encima de la cual las cadenas del polímero tienen total movilidad. En cuanto que la Temperatura de transición vítrea (T_g) indica la temperatura bajo la cual la movilidad de la cadena es insignificante y el polímero es un sólido duro, vítreo, tal como lo muestra la figura # 1.2.5.

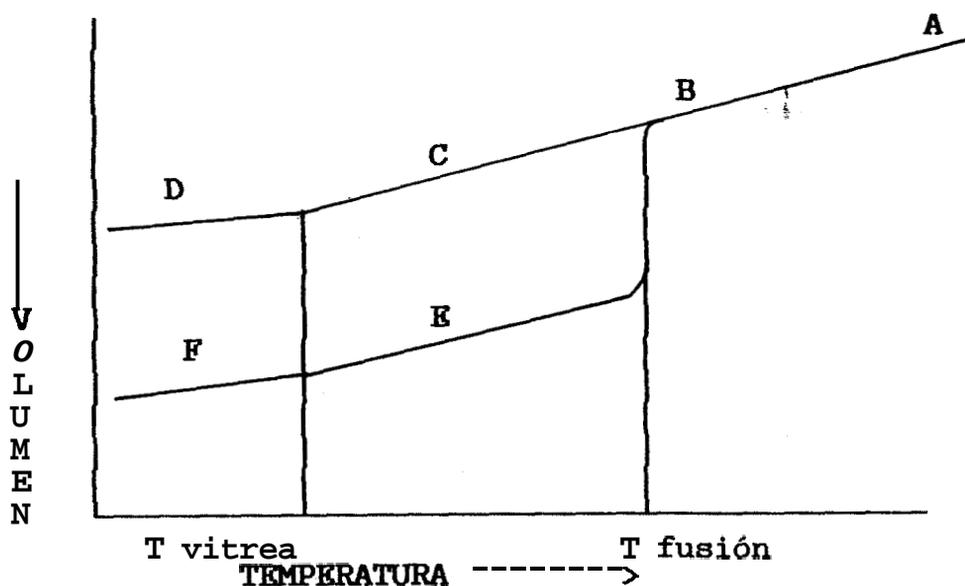


Figura # 1.2.5: Curvas volumen-temperatura para un polímero cristalino

(A) región del líquido, (B) líquidos con alguna respuesta elástica, (C) región de materiales elásticos, (D) región vítrea, (E) cristales en una matriz de características de caucho, (F) cristales en una matriz vítrea.

Para el cristal de poliestireno T_g es aproximadamente igual a T_m , y para el poliestireno de alto impacto a T_g difiere de T_m y está entre la T_g del poliestireno cristal o del polibutadieno. Justificando podemos decir que la fase del caucho va a disminuir a T_g , dando mayor flexibilidad y resistencia al impacto del PSAI.

1.3 EL POLIESTIRENO EN APLICACIONES DE INGENIERIA.

POLIESTIRENO

Introducción.- Durante el período inicial de moldeo por inyección, la resina del poliestireno fue un factor importante en el desenvolvimiento de ese proceso. Conocidas desde 1.845, estas resinas adquirirían gran importancia industrial en el inicio de la segunda guerra mundial (1.939) y actualmente, es uno de los termoplásticos más consumidos.

Los transformadores, rápidamente aceptaron el material debido a su bajo costo, baja densidad y buenas propiedades eléctricas y mecánicas. Su transparencia, alto brillo, y su buena resistencia a ácidos fuertes, hacen del poliestireno un competidor en aplicaciones en que estas cualidades fuesen necesarias.

Obtención.- El monómero para la producción del poliestireno, es el estireno; que químicamente es un hidrocarbonato aromático insaturado, de fórmula $C_6H_5 C_2H_3$; y también llamado fenilacetileno o vinil benceno, El estireno es un líquido con punto de ebullición $145^{\circ}C$ y punto de solidificación $-30,6^{\circ}C$.

Cuando está puro es incoloro y presenta un olor agradable y suavizado, al contrario de; que se obser

va frecuentemente pues el olor irritante que presenta, aparece debido a la contaminación con aldehídos cuando este queda expuesto al aire.

Preparación del Estireno

El estireno puede ser obtenido industrialmente a partir de varios métodos, entre ellos el más empleado es el llamado de la deshidrogenación del benceno. El Etil benceno es obtenido a partir del etileno y del benceno, cuya función es la de un catalizador; como por ejemplo: Cloruro de aluminio o ($AlCl_3$).

La deshidrogenación del etilbenceno, promovido por la acción del calor y en presencia de óxidos metálicos, tales como: óxido de zinc, calcio, hierro, magnesio y cobre.

La temperatura del sistema debe ser del orden de $600^{\circ}C$ a $800^{\circ}C$. La reacción es endotérmica y la presión es reducida, ello se refleja con un aumento de volumen.

Polimerización del Estireno

Los polímeros del estireno tienen importancia comercial con grado de polimerización ($DP=n$) entre 1000 a 3000.

El poliestireno es sostenido a través de calor o catalizadores, tales como peróxidos.

Esta reacción es exotérmica, por lo tanto el calor

es dado solamente para iniciar la reacción. Posteriormente tenemos que retirar el calor ya que la reacción de polimerización libera calor. Por lo tanto, la temperatura de reacción tiene que ser extremadamente controlada,

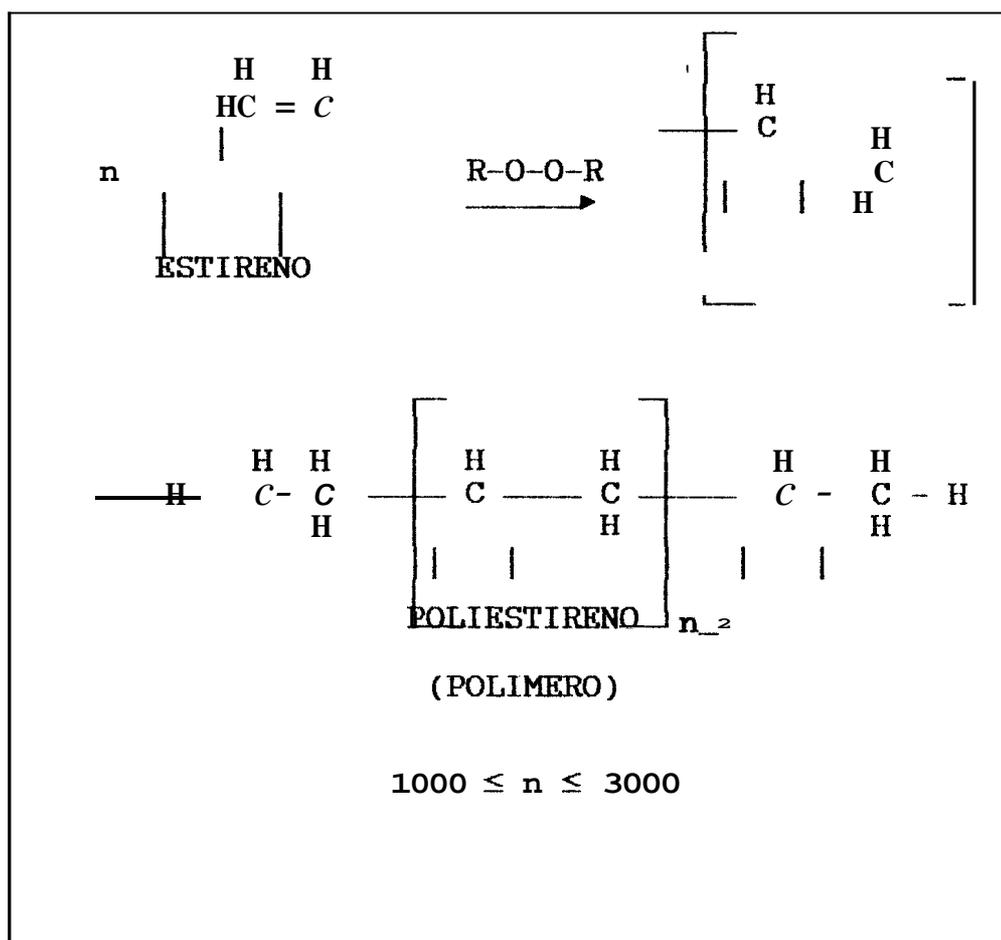


Figura # 1.3.2: Grafico de polimerización del estireno



El monómero del estireno puede ser polimerizado por medio de 4 técnicas existentes: suspensión, masa, solución y emulsión; sin embargo se enfoca solamente la polimerización por suspensión y por masa, que son las dos únicas empleadas y que tiene importancia en los procesos industriales. Las otras dos, solo son importantes para el uso en laboratorios.

Polimerización por suspensión por batelada, permite mayor flexibilidad para atender las variadas necesidades técnicas del mercado, esto es debido al proceso discontinuo, el mismo que permite adecuar por bateladas el producto que quiere producir. Estos procesos de obtención se pueden observar en las figuras # 1.3.3 y 1.3.4.

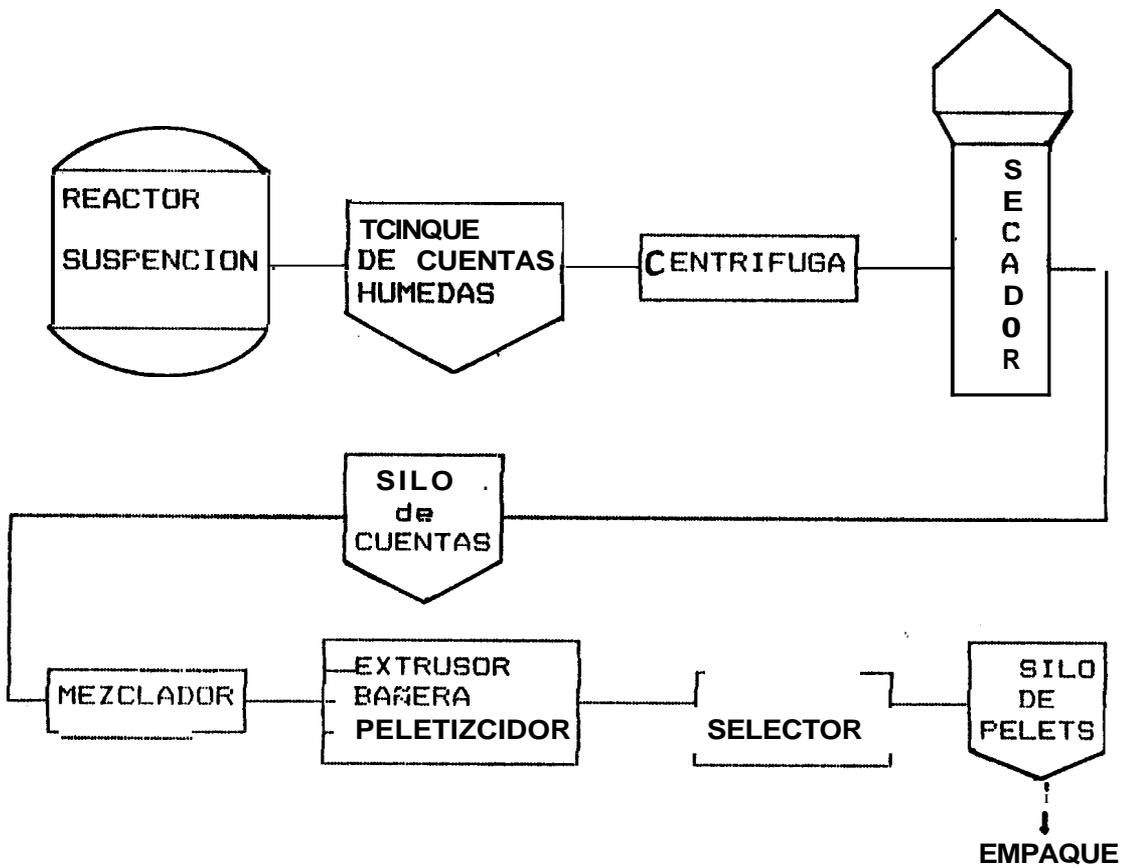


Figura # 1.3.3.: Polimerización por suspensión del (PS) cristal (BATELADA).

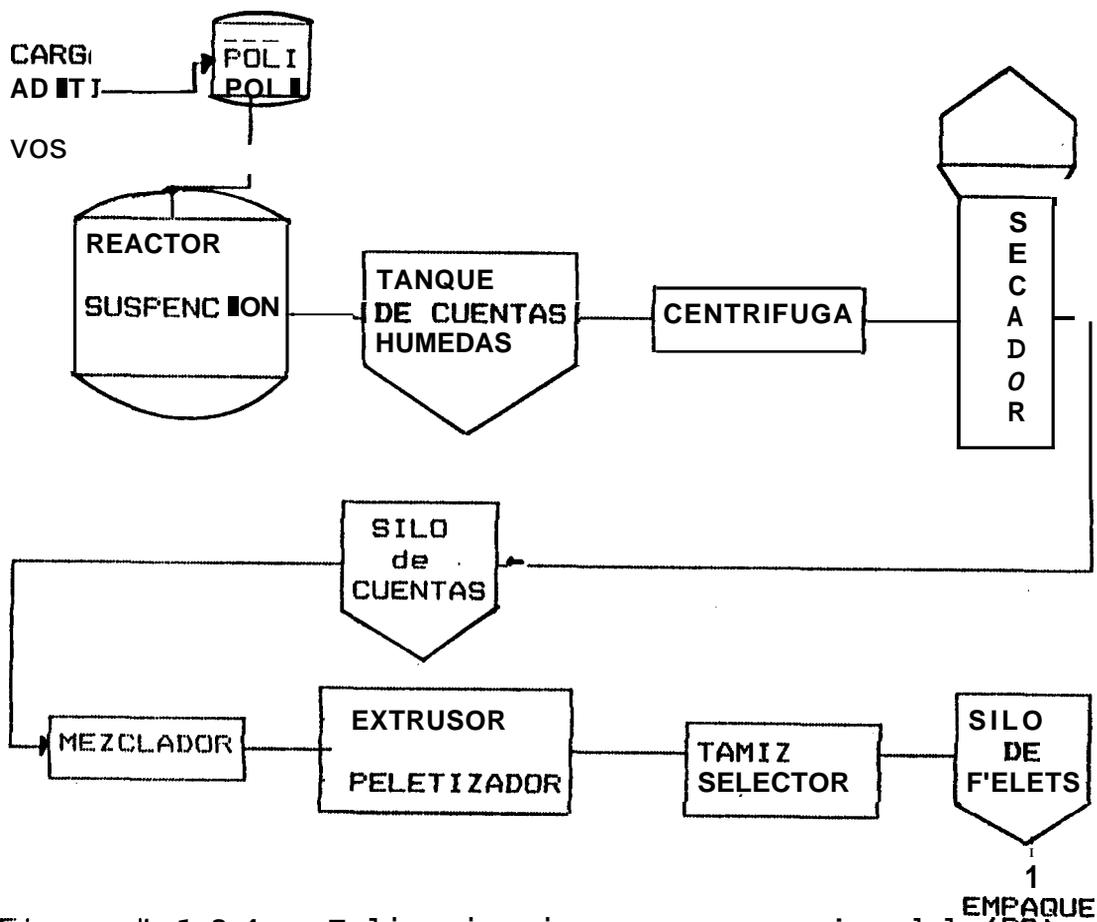


Figura # 1.3.4.: Polimerización por suspensión del (PS) alto impacto por (BATELADA)

Polimerización por Masa .- Asi como en el proceso de suspensión, la polimerización por masa continua es también exotérmica, y ocurre en presencia de catalizadores.

El proceso se resume en reactores en serie, ver figura # 1.3.5, siendo que la polimerización se inicia primero en el reactor, pasa por las fases de propagación y terminaciones en los otros reactores en los otros reactores llegando al final con un rendimiento de conversión encima del 80%.

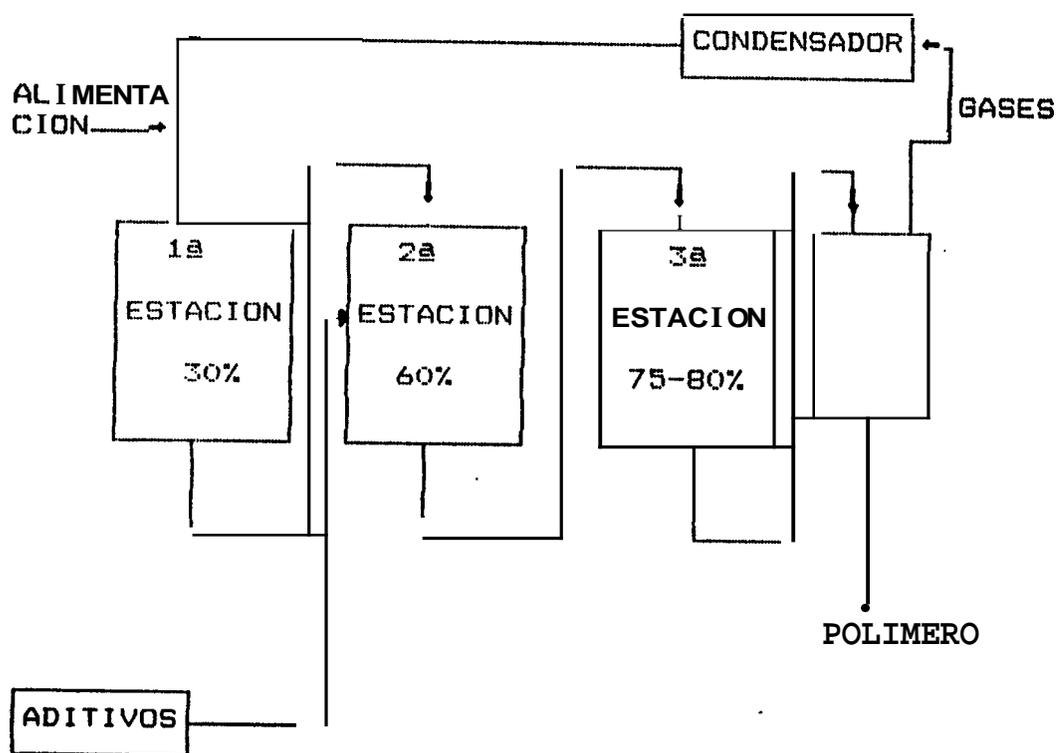


Figura # 1.3.5.: Polimerización en masa de PE cristal y alto impacto (Continúa)



TIPOS DE POLIESTIRENO

El poliestireno es colocado a la venta en una variedad de tipos, cada uno de atiende las exigencias del consumidor. Entre otras las más comunes son:

Poliestireno común .- Es esencialmente un homopolímero del estireno, dentro del tipo de procesamiento el material recibe pequeñas cantidades de lubricantes tanto de acción interna, como externa. Esto viene a facilitar el flujo en los moldes por inyección. El poliestireno común es también conocido con el nombre de poliestireno regular, poliestireno standar, poliestireno no modificado 6 poliestireno de cristal.

Poliestireno resistente al calor .- Este tipo es básicamente idéntico al citado anteriormente, cuando el material no se distorsiona, el mismo cuando está sumergido en agua a 95°C debido a su mayor peso molecular. Este aumento del punto de distorsión con la temperatura es inversamente proporcional a la facilidad de procesamiento, siendo por esto utilizado solamente cuando la alta resistencia al calor es deseada, El punto de distorsión es elevado cerca de 15°C en relación al poliestireno común.

Poliestireno resistente al impacto .- En su estado original el poliestireno es un plástico rígido, du

ro y transparente, Tiene excelentes propiedades, pero para algunas aplicaciones su resistencia al impacto no es satisfactoria, Diversos esfuerzos fueron realizados para compensar esta deficiencia incluso sin modificaciones en la plastificación, Entre tanto, mejores resultados fueron obtenidos con la incorporación del polibutadieno(caucho), en proporciones variables con las propiedades deseadas en el producto final.

Dependiendo de la concentración del polibutadieno que usualmente que usualmente varia de 3 a 10, podemos subdividir los poliestirenos modificaciones en mediano y alto impacto,

El proceso de obtención del poliestireno de alto impacto es a través de la copolimerización por injerto, también denominada de graft, Para eso se efectúa la disolución del elastómero SBR (30:70%) en estireno y se polimeriza la mezcla por los procesos de masa o suspensión.

En la polimerización por suspensión del poliestireno de alto impacto, el polibutadieno es disuelto en estireno en recipiente separado, es después adicionado en el reactor junto al resto del estireno, catalizadores y agentes de suspensión, siguiendo la dispersión por agitación, en agua desmineralizada

la polimerización es completada con la ayuda de calentamiento con la ayuda de calentamiento, En la polimerización por masa es continua, se prepara una mezcla de estireno y polibutadieno, y esta es adicionada en uno o más puntos del flujo de masa, siendo que el catalizador y los aditivos son adicionados en el flujo a través de líneas independientes.

APLICACIONES

En casa, en el trabajo laser, el poliestireno esta presente en la vida diaria.

Aprovechando sus características como: estabilidad dimensional, baja densidad, excelentes propiedades eléctricas, alto índice de refracción, bajo costo y posibilidad ilimitada de colores; el es actualmente utilizado en los más diversos campos de la industria para la producción de:

Artículos industriales .- Piezas de máquinas, cajas para radio y televisión, rejillas de acondicionadores de aire, piezas internas y externas de electrodomésticos, ductos de aire, ventiladores, extractores, motores eléctricos, cassettes, estuches y carretes para películas, carretes de hilo, piezas de aparatos electrónicos de telecomunicaciones, tocas cintas para carros y armazones para guarda llluvias, cajas y armarios para baños y otras piezas de línea

sanitaria, gabinetes para heladería, etc. En la industria del calzado: tacones, plantillas, etc.

-Embalajes .- Cajas, tapas, vasijas, embalajes de protección contra choque, etc.

-Artículos Domésticos .- Platos, cubiertos, vasos, artículos para cocina e higiene, para papelería, biberuteria, etc.

-Utensilios Varios .- Peines, calzadores, plumas, estuches, reglas, transferidores, juguetes, juegos, etc .

-Artículos Descartables .- Vasos para: café, agua, refrigerios y yogurt, rasuradora, jeringuilla, cepillo de dientes, etc.

PROPIEDADES

De manera general el poliestireno cristal, posee las siguientes propiedades:

-Es un termoplástico duro, transparente, rígido, con una resistencia a la tracción, bastante elevada (del orden de 550Kg/cm²) y un elevado índice de refracción (1,59).

Se ablanda cerca de (90 - 150°C), en cuanto que a 180°C puede ser fácilmente moldeado por inyección.

-Emite sonidos con características metálicas cuando cae en una superficie dura.

-Es completamente inodoro, insípido y antitóxico.

-Quema con llama tiznada, amarillo-anaranjado, lentamente y no se extingue el olor a jazmín.

-Tiene peso específico de (-1,05).

-Bajo costo.

-Posee usualmente buena estabilidad dimensional y pequeña absorción de humedad.

-Excepcionales propiedades eléctricas que permanecen constante en un gran rango de temperatura y frecuencia,

-Fácil coloración,

-Químicamente es resistente a los ácidos fuertes y a los álcalis y es insoluble en hidrocarburos alifáticos y en los alcoholes inferiores. I no en tanto, soluble en éteres, hidrocarburos aromáticos, alcoholes superiores e hidrocarburos clorados.

-Posee óptimas propiedades ópticas puesto que la transparencia del poliestireno es del orden de 87 - 92% de la radiación incidente,

Las propiedades de los poliestirenos modificados dependen principalmente de la cantidad de elastómeros incorporados, sin embargo de una manera general podemos afirmar que las características de este material son:

-El poliestireno modificado posee resistencia al impacto, de manera superior que el poliestireno co

mún, pudiendo llegar hasta 10 veces mayor-

-En cuanto a la resistencia, a la tracción y al módulo de elasticidad, son menores que el poliestireno común, el elongamiento puede mejorar de 10 a 40 veces, Debido a esto el material mejora su tendencia a quebrar, no obstante es forzado más allá de un determinado punto, el área que sufre la tensión se torna blanca.

-El poliestireno modificado, puede ser utilizado para colores opacos.

-La presencia de elastómeros afecta las propiedades eléctricas, aumentando la pérdida de potencia en un factor 10.

-La absorción del agua aumenta de 2 a 3 veces.

-La resistencia al calor disminuye.

-El poliestireno no posee buena resistencia a la intemperie; y, la acción de esta es más acentuada en el poliestireno modificado.

PROPIEDADES QUIMICAS

Presentamos a continuación una tabla de resistencia química por función y también una tabla completa de los productos químicos más comunes, ver tabla V.

Buena resistencia .- Acetato del aluminio, de bismuto, de plomo; ácido acético (diluido), bórico, butílico, cítrico, clorhídrico (diluido y concentrado),

fosfórico (diluido y concentrado), tánico, adipico, láctico, nítrico (diluido), salicilico, sulfúrico (diluido al 50%), sulfuroso, tánico, tartárico; azúcar; agua mineral, de jabón, oxigenada, de mar; amoniaco (diluido y concentrado), alcoholes: amílico, butílico, etílico, metílico, propílico; bromuro de bario, calcio, magnesio, potasio, sodio, zinc; cloruro de aluminio; carburos de: amonio, bario, magnesio, sodio, zinc; cromuro de: potasio, sodio; infusión; café; azufre; esterurodo: plomo, zinc; etileno diamina; etileno glicol; harina; fermento; fertilizante químico; formaldeido; gas carbónico; glicol; glicerina; glicol propilénico; glucosa; grasa animal; hidrosulfito de sodio; iodato de potasio; leche; licor; lejía de calcio; de potasio (concentrada y diluida), de soda cáustica (concentrada y diluida); manteca; mayonesa; miel; mostaza; nitratos de amonio, plomo, hierro, potasio, sodio; aceite de coco, de linaza, de parafina; óxido de calcio; de zinc; penicilina; producto de emgomar; bebida alcohólica; sal de cocina; soda; sulfato de: aluminio, amonio, calcio, plomo, magnesio, potasio, sodio, zinc, sulfito de sodio; zumos (jugos de cítricos y cítricos); tinta; tinta china; vinagre; whisky.



Resistencia limitada .- Acido nitrico (concentrado) oléico, sulfúrico (concentrado); vainilla, bencina, bromo; alcanfor; ciclon hexanol; diclorobenzol, éter de petróleo; fenol (solución al 10%); heptano; hexano; iodo; iso-octano; metanol; naftaleno; aceite diesel; aceite mineral; propano; pentanol petróleo; perfumes-

No resistentes .- Acetona; acetato de amila, acetato de etilbenceno; ciclohexano; cloruro de metilo, de etilo; cloroformo; dicloroetano, dicloropropano, dicloro propileno; dietilcetona; esmalte para uñas, éter, etilbenceno, gasolina, metiletiletetona, aceite de almendras, de anís, de claro, de eucalipto, de menta, de mostaza; óxido de propileno; para cresol; tetracloroetano; tetracloruro de carbono, tetracloruro de titanio; triclorobenceno, tricloroetileno; tolueno; xileno y benceno.

1.4 PROCESO STANDAR DE RECICLAJE DEL POLIESTIRENO DE DESPERDICIOS.

El proceso de reciclaje del poliestireno(PS), varía en algo entre los países de alta tecnología y países del tercer mundo como lo es el Ecuador, En los Estados Unidos, entidades reguladoras, como lo es el CONSEJO DE SOLUCIONES DEL MANEJO DE DESPERDICIO (THE COUNCIL FOR SOLID WASTE SOLUTIONS), considera que el proceso de reciclaje comprende:

1 .- Colección de los desperdicios .- Todos los plásticos de todos los tipos son recolectados de los basureros, incluso de los estuarios o de los ríos.

2 .- Manipuleo .- Los plásticos son coleccionados en programas, y calcificados, y a su vez, compactados para disminuir los costos de manipuleo y transporte.

3 .- Recuperación .- Los plásticos son sometidos a limpieza y convertidos en pedacitos 6 escamas, ó también en pelotillas (pellets), 6 muchas veces, directamente en los productos.

4 .- Uso final .- Los plásticos hechos pelotillas (pellets), son comercializados, al igual que los productos terminados.

Ahora, nos concentramos en la descripción del proce

so en si que comprende el "manipuleo y recuperación".

Se procede a clasificar el plástico según su grado de densidad, El poliestireno "cristal", presenta un mayor peso, aproximadamente de 1.05g/cm³ a diferencia del poliestireno de "alto impacto", el cual oscila de 1.03 a 1.04 g/cm³. En países como EE.UU., el embalaje es la manera más común de determinar el grado de densidad de los distintos plásticos. en nuestro país, se suele utilizar piscinas con agua, donde se arrojan los distintos plásticos recolectados, y aquellos que se "hunden", son los de mayor densidad, especialmente: los cubiertos desechables, cassettes, etc. En cambio otros productos como: los embalajes de huevos, espuma, flotan, Luego de que el plástico es clasificado según su densidad y apariencia, se somete a una preclasificación de acuerdo a su color; pues encontramos una mezcla de cubiertos y vasos de varios colores (azul, verde, rojo, amarillo), transparente y vasos con varios colores impresos en ellos.

A continuación se embalan los cubiertos y espumas se compactan formando un fardo); entran al triturador de fardos o molinos, y se separan todos los productos no plásticos. Luego por medio de una banda

transportadora, pasa a través de una polea o cabezal magnético el mismo que retira todos los metales. Luego, el material pasa a un hidrociclón donde se separan en un 99.99 en eficiencia todo el papel de las etiquetas adheridas a los trocitos de plástico, y ciertos rexagos de metal o etiquetas de plástico ligero. Acto seguido pasa a un separador de papel, que no es más que un ciclón de aire caliente que por diferencia de densidades, se retira el papel. En países como el Ecuador, donde la mano de obra es barata comparada con la de EE.UU., se utiliza para clasificar a los productos a los "chamberos", los cuales hacen una preselección del material a reciclar, En las fábricas se sumergen en tanques que contiene soda acdstica, lo que facilita el retiro de las etiquetas; los cubiertos, son luego triturados en molinos o tritutores, los cuales los convierten en pedacitos o trocitos, y despues los secamos a la interperie,

Siguiendo ambos procesos , el "criollo" d el extranjero, el pldstico obtenido en trocitos puede ser a su vez utilizado "directamente" como materia prima o convirtiéndolos en pelotitas (pellets), Como el pldstico es un material sensible al "cambio brusco de temperatura", podemos observar que durante el

proceso ha sufrido varios cambios de temperatura que en cierta forma afectan a su estructura, esto restará propiedades tales como "brillo", plasticidad, etc.

Durante el proceso de trituración, las cuchillas del triturador, molino, o granulador, provocaron un cambio inicial en la orientación molecular original de las cadenas de poliestireno. Otro cambio brusco experimentado, es durante el proceso de "secado", ya sea a través del ciclo, o del secado al medio ambiente. En el Ecuador debido a que es una tecnología "doble y muy costosa" se acostumbra a introducir a el material "triturado" directamente al extrusor tratando de que estos "pedacitos" no sean ni "polvos", ni muy "grandes" pues provocarían atascamiento durante el proceso de extrusión. En caso de no poseer la maquinaria anteriormente citada, el industrial "ecuatoriano" suele utilizar dependiendo del tipo de extrusora, variaciones de mezclas, utilizando combinaciones de material triturado y materia virgen para así obtener un producto de buena calidad.



BIBLIOTECA

1.5 SIMBOLOGIA UTILIZADA PARA POLIMEROS RECICLADOS

En 1980 los EE.UU. comenzó sus programas de reciclaje de los distintos plásticos a lo largo de la mayoría de las comunidades, y se tropezó con una serie de problemas entre los cuales estaba: como poder distinguir los diferentes tipos de resinas plásticas existentes y cuales de estas eran las más utilizadas por la industria. Se formó el CONSEJO DE SOLUCIONES DEL MANEJO DE DESPERDICIOS. (THE COUNCIL FOR SOLID WASTE SOLUTIONS), formado por las principales empresas "de plástico" tales como:

- AMOCO
- ARCO CHEVRON
- THE DOW CHEMICAL
- MOBIL
- QUANTUM
- UNION CARBIDE
- DUPONT
- EXXON
- EASTMAN CHEMICAL COMPANY (KODAK)

Y en conjunto participes de la sociedad de la industria plástica de los EE.UU., y a nivel mundial. identificaron a seis (6) resinas individuales de tipos plásticos, de encuestas realizadas a la vasta mayoría de plásticos que se utilizan como "promer"

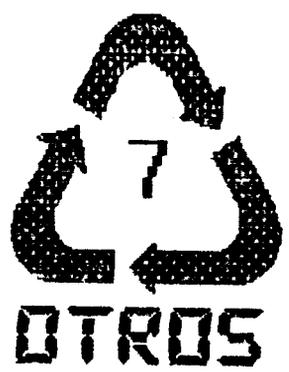
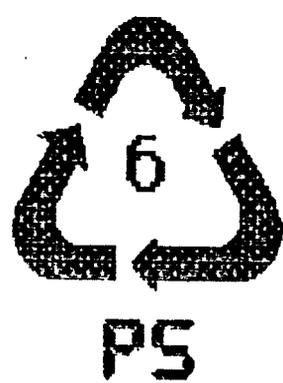
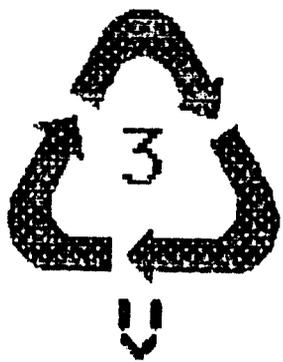
dio" por las amas de casa, dichas resinas pueden ser identificadas para su posterior "reciclaje" en forma sencilla mediante un código numerado el cual se piensa que deberá ser aprobado a nivel mundial, a más tardar en 1.955. Dicho código, aparece en la base de todo material plástico, y actualmente es regido por mandato de la ley en 27 estados de la llamada "unión americana".

El código consiste de un triángulo formado por 3 flechas, con el número de la resina en el centro, y letras fáciles de distinguir bajo el triángulo. En medidas, es de aproximadamente de 1/2 a 1 pulgada de diámetro, el cual, puede ser aplicado por moldeo o por impresión.

El sistema de códigos es el que sigue:

- 1 .- PET (TEREFTALATO DE POLIETILENO)
- 2 .- HDPE (POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD)
- 3 .- V (VINIL)
- 4 .- LDPE (POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD)
- 5 .- PP (POLIPROPILENO)
- 6 .- PS (POLIESTIRENO)
- 7 .- OTROS (PUEDE INCLUIR CUALQUIER OTRO TIPO DE AQUELLOS NO INCLUIDOS ANTERIORMENTE.

A continuación se muestra la simbología utilizada para polímeros mayormente reciclados.



1.6 PROCESO DE EXTRUSION DE LAMINAS O PLANCHAS

La cantidad poliestireno que se encuentran como articulos ^{terminos} desechables es grande, con lo que se ha probado de hacer un tipo de lamina por extrusion.

Se denominan laminas, planchas o chapas, las películas planas de grosor elevado, de mas de 1/4 mm.

El limite superior para estas, es generalmente 1.5 mm. Los espesores mayores se hacen normalmente por moldeo, por colada, o por compresión, partiendo ya sea de polimeros granulados.

Las aplicaciones de laminas, requieren generalmente de materiales relativamente rigidos. Por ello es, que el poliestireno existente que está entre 1,01 y 1,03; tiene una gran aplicacion en este campo.

El uso del poliestireno en laminas gruesas, ira en aumento debido a su aplicacion cada vez mayor en la técnica de termoformado o formado al calor, (se basa en el principio de uso del calor para fusionar temporalmente a la pelicula, proveyendo un rápido método de sellado).

En cuanto al proceso en si se puede definir la extrusion, como el proceso de obtencion de productos por compresion ilimitada y seccion transversal constante, obligando al material a pasar a través de un

cabezal o molde sometido a condiciones de presión y temperatura controlados. Podemos diferenciar dos etapas:

- Transporte del material hasta el cabezal
- La de molde al pasar a través del mismo.

La industria del plástico tiene desarrollado el proceso de extrusión fundamentalmente para la transformación de materiales termofijos.

En la actualidad se utilizan dos tipos de máquinas extrusoras: de desplazamiento positivo, y extrusora de fricción viscosa.

a) Extrusora de desplazamiento positivo (pistón).
figura # 1.6.1.

En este tipo de extrusora la acción de transporte se consigue mediante el desplazamiento de un elemento propio de la extrusora; ejemplo: extrusora de pistón.

La máquina extrusora de pistón obliga al material a *pasar* a través del cabezal empujando con un pistón accionado por presión hidráulica y mecánica. Esta extrusora es más usada en los materiales termofijos, metales y otros tales como: cera, cerámica y caucho.

b) Extrusora de Rosca.- Figura # 1.6.2. Las extrusoras de rosca, son prácticamente las únicas utilizadas



das para la extrusión de termoplásticos. Esta máquina se construye con una, dos o más roscas ya sean cilíndricas o cónicas, todas ellas con gran variedad de diseño.

Para extrusión de lánas se torna necesario un dispositivo laminador.

El sistema consiste en pasar el polímero a través de un sistema normalmente constituido de tres rodillos, de pared doble que poseen las superficies con una película de cromo duro.

En la figura # 1.6.3 se puede apreciar este sistema de rodillo.

Un extrusor para película puede convertirse en uno para láminas, simplemente por medio de un cambio de cabezal o molde, y del equipo de tiraje.

El polímero se alimenta a través de una tolva. En general las lánas se extruyen horizontalmente a través de matrices del tipo de las usadas para películas planas. Existen sin embargo dos diferencias básicas:

- el uso de una barra restrictora ajustable; y,
- labios más largos en el cabezal del molde,

Los labios son las superficies paralelas insertadas entre las mandíbulas y a través de las cuales se extruye el material. Además los cabezales son de

una construcción más robusta, a fin de reducir la distorsión de los labios-

El restrictor es una barra ajustable ubicada entre el múltiple y los labios para que el polímero fundido se distribuya uniformemente. Generalmente se ajusta al principio de extrusión y no se vuelve a cambiar durante esa operación individual. Se usa para nivelar y eliminar variaciones marcadas en el grosor o espesor. Pero debemos reconocer que no todos los cabezales son iguales y lo que es peor difieren en la mayoría de las veces, pudiendo no poseer el restrictor,

La longitud de los labios varía con el espesor de las láminas. A mayor espesor, se requiere mayor longitud de labios, para obtener alta calidad de la plancha, No obstante, esta longitud, no debe ser excesiva, ya que, la presión en el cabezal, aumenta proporcionalmente con la longitud de los labios, Para una plancha de alta calidad, se requiere que la superficie de los labios tenga un alto pulido.

1.7 DISEÑO DEL EQUIPO EXPERIMENTAL.

Descripción del equipo.- El equipo experimental, que originalmente se iba a diseñar y construir para esta tesis, tuvo que ser descartado, debido a una súbita falta de financiamiento, lo que obligó a realizar nuestro trabajo en un equipo de control de calidad de una industria de productos plásticos.

A pesar de que detallaremos a continuación la clase de equipo que utilizamos, y las características de la máquina, vale mostrar los diseños del cilindro de plastificación y del husillo. El molde, como sólo es utilizado para el proceso de extrusión y no para otro tipo de proceso (como el de extrusión - inyección, o extrusión -soplado), no requirió más ajustes, que aquel que también señalaremos a continuación.

El equipo experimental utilizado, consiste de un extrusor, el cuál comprende:

- un motor marca WEG de 1HP.
- un reductor de velocidad variable (regulación manual)
- una tolva
- un cilindro de plastificación del material
- *un tornillo o husillo de 20mm de ϕ

- un molde ó matriz
- termocuplas colocadas a lo largo del tornillo
- resistencias eléctricas planas, colocadas a lo largo del tornillo
- termocupla que censa la temperatura en el molde
- tanque de enfriamiento con agua a la salida del extrusor
- un patín de guía dentro del tanque de enfriamiento
- un equipo de tiraje
- un peletizador,

* El tornillo es de filete profundo, en el cual la altura del filete es igual de paso a paso.

Diseño del cilindro de plastificación -

Los cilindros deben ser lo suficientemente sólidos como para soportar presiones de hasta 1.000 BAR, que es la presión específica de extrusión resistente a esfuerzos térmicos y resistente al desgaste y a la corrosión.

Para poder realizar este cálculo, tenemos que partir de la rapidez de calor transferido por convección entre una superficie y un fluido la que se puede calcular por:

$$Q_p = H_c \cdot A \cdot \Delta T_m$$

que el gradiente de temperatura en el fluido está limitado a una capa relativamente delgada δt en la vecindad de la superficie,

En esta capa estancada, el calor puede fluir únicamente por conducción, y la rapidez de transferencia de calor por unidad de área.

$$\frac{Q_s - F}{A} = \frac{K_f \cdot T_s - T_{\infty}}{\delta t} = H_c \cdot (T_s - T_{\infty})$$

1.7.4.

donde:

K_f = es la conductividad térmica de un fluido
 T_s = temperatura de la pared
 T_{∞} = temperatura del fluido
 H_c = es la unidad promedio de conductancia de convección

$$Q_s - F = \frac{K_f \cdot A \cdot \Delta T}{\delta t} \quad 1^*$$

Area del cilindro = $2 \cdot \pi \cdot r \cdot L = \pi \cdot d \cdot L$

donde:

1.7.5.

d es el diámetro
 L es la longitud.

tenemos que al reemplazarlo en 1* obtengo:

$$Q_s - F = \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot K_f \cdot \Delta T}{\delta t} \quad 2^*$$

El calor consumido exclusivamente para calentar el material durante 1 hora, viene dado por la expresión

sión:

$$Q_p = \frac{Mc \cdot \Delta T \omega}{\tau_c}$$

1.7.6.

donde M es la masa de una extruida; c es la capacidad térmica del material; ΔT es la diferencia de las temperaturas inicial y final; τ_c es el tiempo de duraci6n de 1 ciclo. La relaci6n de volumen del material permitido en el cilindro y el volumen extrusado. la definimos por Z y es igual a la relaci6n del tiempo de resistencia del material en el cilindro (τ) y el tiempo de un ciclo (τ_c).

$$Z = \frac{V \text{ material cilindro}}{V \text{ extrusado}} = \frac{\tau_c}{\tau}$$

1.7.7.

El volhen del material en el cilindro (V_c);

$$V_c = \pi \cdot L \cdot (d - \delta t) \cdot \delta t$$

1.7.8.

El volhen extrusado (V_{ex});

donde;

$$V_{ex} = \frac{m}{\rho}$$

1.7.9.

Reemplazando, tenemos;

$$Z = \frac{\pi \cdot L \cdot (d - \delta t) \cdot \delta t \cdot c}{m} \quad 3^*$$

Dividiendo 1* para 2*, tenemos:

$$\frac{Q_s - f}{Z} = \frac{dK_f \cdot \Delta T_{1m}}{(d - \delta t) \delta t^2 \cdot c}$$

1-7-10.

ΔT_1 está definido como la diferencia media de temperatura y es igual:

$$\Delta T_1 = \frac{\Delta T_c - \Delta T_f}{\ln \frac{\Delta T_c}{\Delta T_f}} \quad 4^*$$

donde ΔT_c y ΔT_f , son las variaciones de temperatura en el cilindro y en el material, al comienzo y al final del cilindro.

Para hallar el diámetro del cilindro, de 4* obten go:

$$d = \frac{Q_p \cdot \delta t^3 \cdot c}{Q_p \cdot \delta t^2 \cdot c - Z \cdot K_f \cdot \Delta T_1 \cdot m} \quad 5^*$$

Para hallar la longitud del cilindro, despejamos de la ecuación del calor, una vez conocido el diámetro d.

$$L = \frac{Q_p \cdot \delta t}{m} \quad 6^*$$

π. d. Kf. ΔT1

Diseño del tornillo de alimentación.-

El tornillo cumple con la función de plastificar el material, transportarlo hasta el molde, y extrusarlo para fabricar la lámina. Para que pueda hacerlo, se desplaza con un movimiento axial dentro del cilindro, moviéndose en conjunto con la rotación.

El tornillo tiene un núcleo, sobre el cual se enrolla el filete en forma helicoidal, La configuración del tornillo al igual que el diagrama de cargas se puede apreciar a continuación en la figura # 1.7.2.

Entre la superficie de los flancos 6 puestos del filete, el núcleo del tornillo y la pared del cilindro se encuentra un espacio libre, al que denominamos "canal del tornillo". Por éste canal se empuja el material a lo largo de la pared del cilindro, primero como "Scrap" de material triturado, luego como material que se va fundiendo, y finalmente como masa plastificada,

Entre el filete del tornillo, y la pared del cilindro, existe un pequeño espacio, que es el "juego del tornillo"; este juego se mantiene tan pequeño como sea posible. Cuando el tornillo es grande y largo puede deformarse un poco, y por eso rozar con la pared del cilindro de tal forma que para que



to no ocurra, se permite en éste caso un juego mayor.

En general se puede decir que éste juego oscila entre 0.1 - 0.3 mm.

La longitud y diámetro del tornillo, dependen de la longitud y diámetro del cilindro.

Para el cálculo del tornillo, se recomienda usar las siguientes ecuaciones experimentales:

paso del tornillo.....(t1) = (0.8-1.2)D

anchura de la cresta del filete.(e1) =(0.06-0.1)D

profundidad del canal helicoidal en las zonas de:

alimentación.....(h1)=(0.12-0.16)D

y dosificación...(h3)=0.5{D-[$\sqrt{D^2-4h1/i.(D-h1)}$]}

grado de compresión.....(i)

(se elige el PS)

longitud de zona de extrusión.....(L3)=(0.4-0.6)L

longitud total efectiva del tornillo.(L)

huelgo radial entre la cresta del filete

del tornillo y del cilindro...(δ)=(0.002-0.0003)D

La misión fundamental, es comprobar las dimensiones del tornillo y determinar la flecha máxima admisible.

Según el diagrama de fuerzas de la figura 1.7.2 tendremos un eje que rota, sobre el que actúa un par torsor constante y una carga flexionante esta

cionaria.

El esfuerzo resultante, es un punto i cualquiera,
debido a esfuerzos combinados (axiales y flexión)

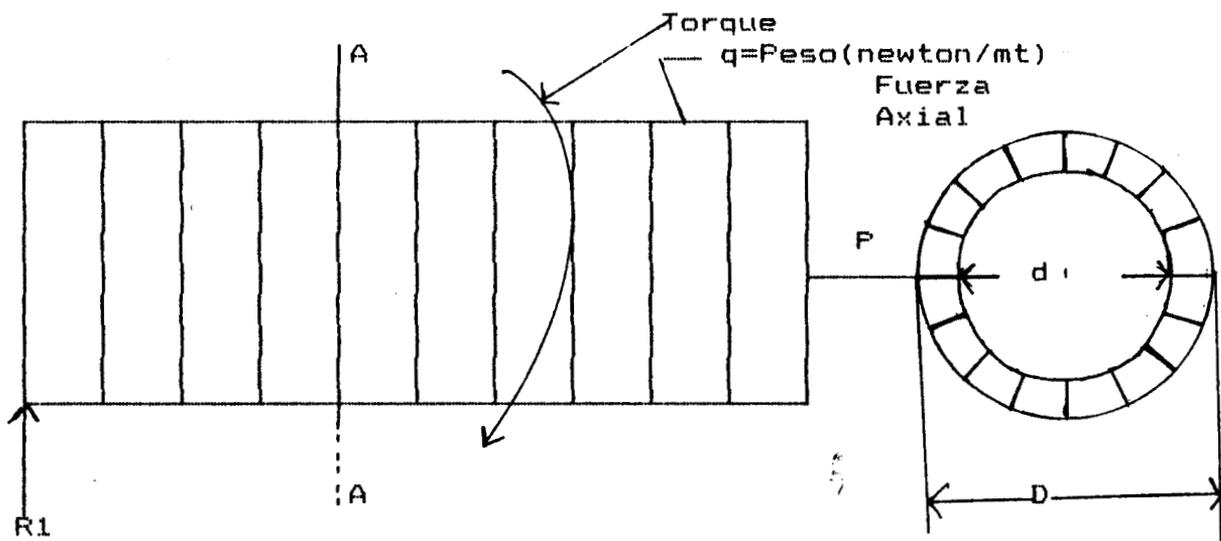
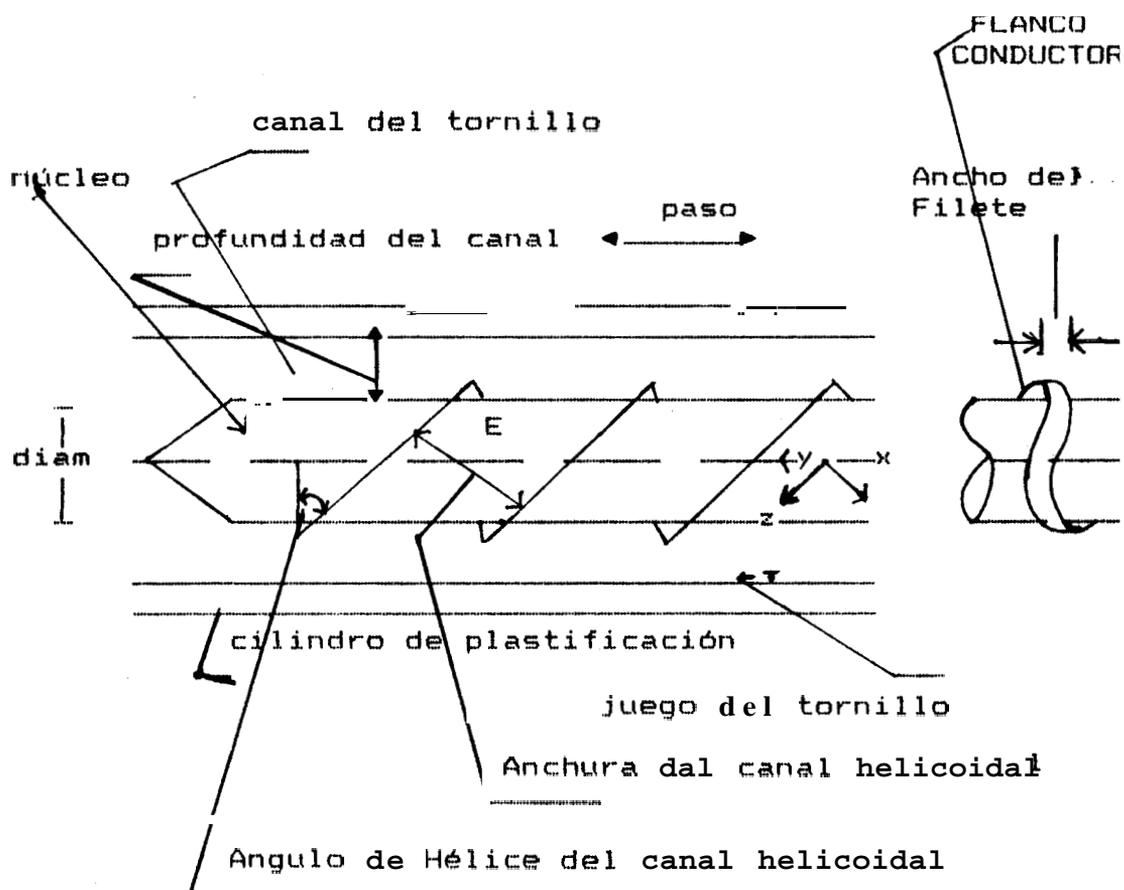


FIGURA # 1.7.2 :Diagrama de Fuerza del Tornillo

$$\sigma_t = \frac{P}{A} + \frac{My}{I} = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z} \quad 1.7.11.$$

donde el módulo resistente (Z), se define como I/y , la fuerza P igual a la presión específica del material por el área (A) del tornillo:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad 1.7.12.$$

donde D es el diámetro del núcleo y es igual a:

$$d = D - 2h_2$$

donde D es el diámetro del tornillo y h_2 es la profundidad del canal-

El máximo momento por flexión de la figura # 1.7.2

$$\uparrow (+) M_b = Qx \cdot x/2 \quad \text{si } x = l(L) \quad 1.7.13.$$

El momento en el punto b (M_b) = $Q \cdot L^2/2$

Para hallar el módulo de sección, tenemos que la sección transversal del tornillo es una corona circular. El módulo de la sección (Z):

$$Z = \frac{\pi \cdot D^3}{32} [1 - (d/D)^4] \quad 1.7.14.$$

La carga Q debido al peso del tornillo, es su peso específico (), por su volumen (V). El esfuerzo ad

misible (σ_{ad})

$$\sigma_{ad} = \frac{\sigma_{ff}}{N_f}$$

1.7.15.

donde:

el limite de fluencia a la flexidn (σ_{ff}) es $1.15\sigma_f$ (limite de fluencia a la traccidn- compresidn), P_Q demos usar un coeficiente por resistencia a la fluencia (N_f) de 2.0 .

$$\sigma_{adm} > (M/Z)$$

Como el tornillo está sujeto a torque por su rotación, tenemos:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T1r}{J} = \frac{T1}{S}$$

1.7.16.

donde $T1$ es el torque, J es el momento polar de inercia, Para un eje hueco:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{16T1.D}{\pi(D^4 - d^4)}$$

1.7.17.

$$\text{El torque } T1 = \frac{H}{2.\pi.f}$$

1.7.18.

Donde H es la potencia y f , es la frecuencia. Si usamos el balance energético del cilindro de calefacción.

$$Q_p = \frac{M.c.\Delta T\omega}{\tau_c} \quad (\text{Kwatts})$$

1.7.19.



BIBLIOTECA

Con éstos datos, reemplazamos en la ecuación 1*.

Con el limite de fluencia a la torsión (σ_{fT}), y un coeficiente de seguridad por resistencia a la torsión de 2.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{fT}}{N} < \tau_{m\acute{a}x}$$

1.7.20.

Si usamos esfuerzos combinados empleando el circulo de Mohr (fig # 1.7.3.)

$$\tau_{m\acute{a}x} = R = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\sigma\right)^2 + \tau^2}$$

1.7.21.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2}\sigma + \tau_{m\acute{a}x}$$

Para asegurarnos de la esbeltez del tornillo, hallamos la flecha máxima. De la figura #.1.7.2.

$$M_{AB} = EI \frac{d^2 y}{dx^2} = q \frac{x^2}{2}$$

$$EI \frac{dy}{dx} = q \frac{x^3}{6} + C_1$$

$$EIY = q \frac{x^4}{24} + C_1 X + C_2$$

En $X=0$ $Y=0$ $C_2=0$

En $X=0$ $\frac{dy}{dx} = 0$ $C_1=0$

Entonces:

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{q \cdot l^4}{8EI}$$

1.7.22.

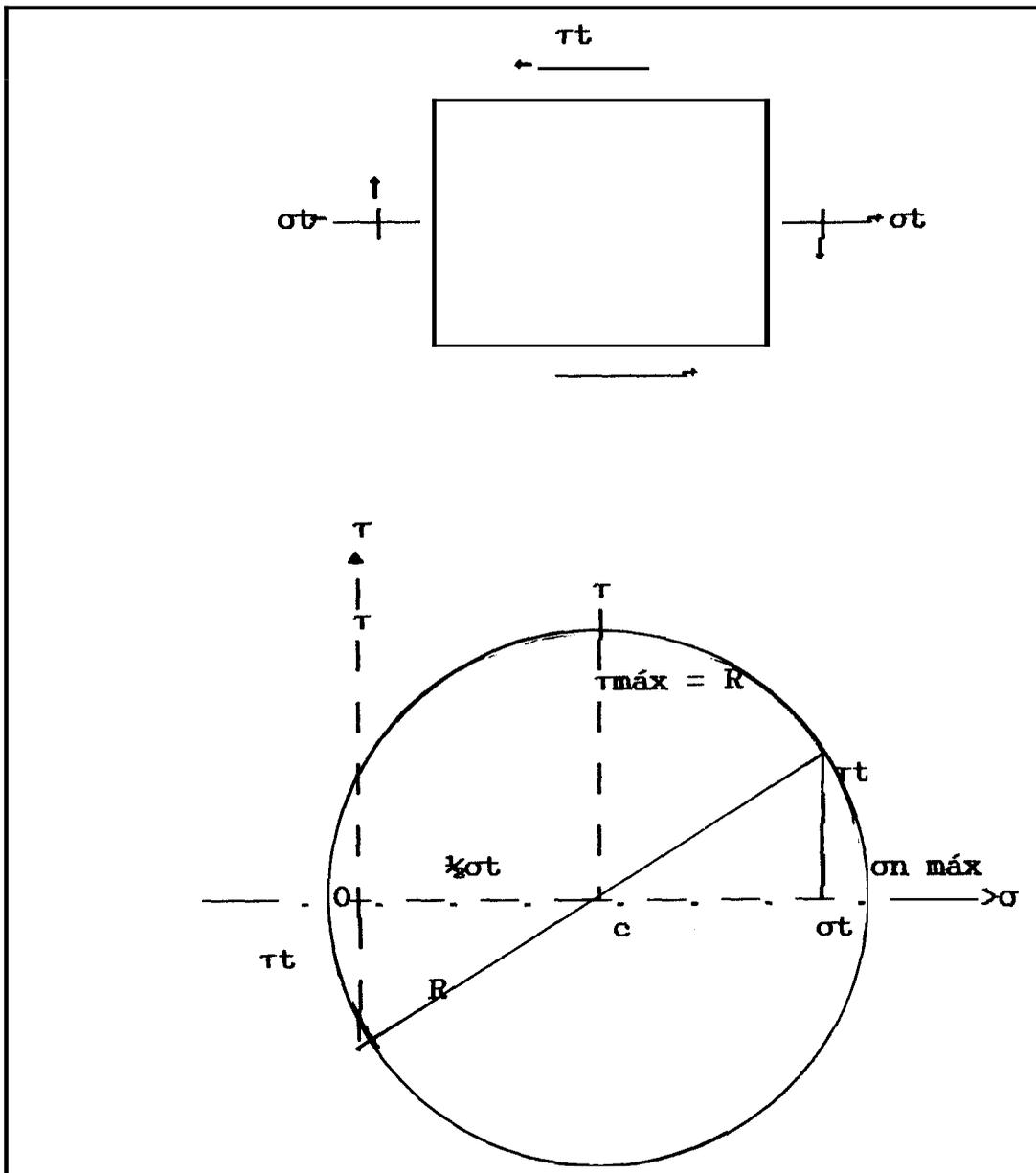


FIGURA # 1.7.3 :Esfuerzos combinados - Circulo de Mohr

El molde matriz o cabezal utilizado es de acero de transmisión (AISI1038), es recomendable usar para este tipo de aplicación acero inoxidable por su resistencia a la corrosión. Las características del molde se muestran en la figura # 1.7.4.

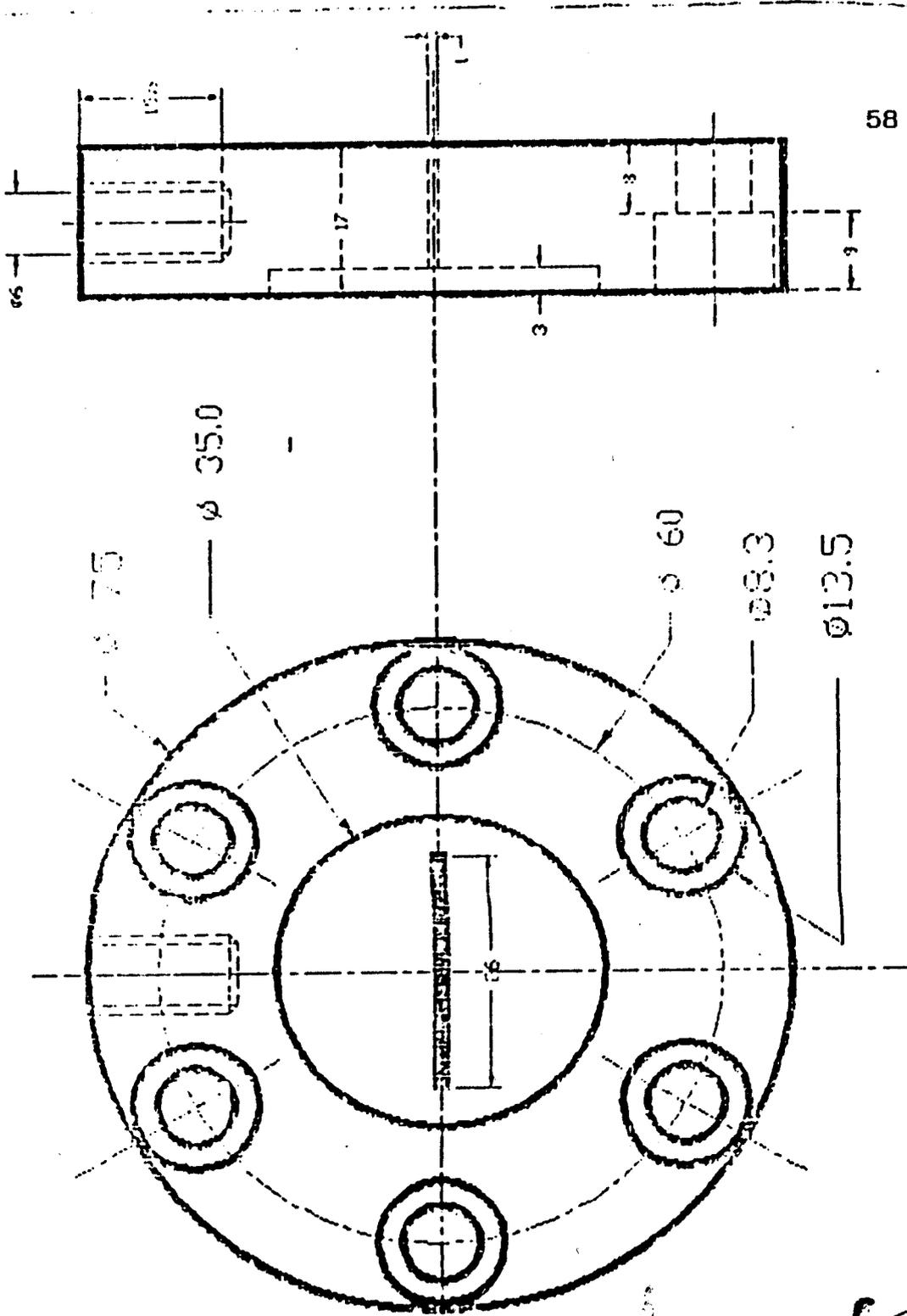
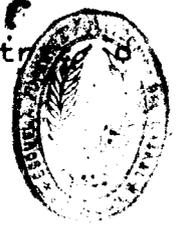


Figura # 1.7.4. Características del molde matriz
cabezal utilizado (AISI1038).



INDUSTRIAL

CAPITULO II

II) TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1 OBTENCIÓN Y SELECCIÓN DEL MATERIAL TRITURADO.

En los Estados Unidos los programas de reciclaje del poliestireno son organizados para cubrir una área geográfica o una entidad específica, como una escuela. El principal criterio para un exitoso programa para el reciclaje del poliestireno es escoger un área tal en la que se genere suficiente cantidad de poliestireno, En nuestro medio el material se obtiene directamente de los desperdicios que proceden principalmente de las cafeterías, restaurantes de servicio rápido, hogares, fuentes de soda en las que se expande "yogurt", Este se lo obtiene de botaderos de basura, se utilizan a los denominados "chamberos" 6 "minadores", los cuales se encargan de seleccionar el tipo de resina que necesitamos, Estos chamberos, son personas sin mayor preparación sobre los distintos tipos de plásticos, por lo que se les instruyó acerca de determinados productos, que debían conseguir, los mismos que fueron: empaques para huevos, vasos descartables y cuchillería, Previamente conocimos que estos productos son de

poliestireno (PS) debido a la resina utilizada, lo que pudimos comprobarlo al apretar los vasos, y observar que estos se rompen fácilmente, condiciones que tiene el poliestireno de alto impacto. En cuanto a los empaques para huevo se pudo comprobar con facilidad que se trataba de poliestireno cristal expandido debido a su apariencia y flexibilidad.

Por otro lado, en lo que respecta a la cuchillería fue necesario realizar otras pruebas prácticas como la llamada "prueba a la llama" véase tabla # 2.1, la cuál nos da un color "amarillo-naranja" y además la prueba al olfato, pues el poliestireno (PS), tiene la particularidad de tener un olor a "margarita".

Se seleccionó, cuchillería transparente de poliestireno cristal, vasos de coloración blanca de "PS" Alto Impacto (AI) y cajas de huevo, las cuales nos ayudarían a obtener láminas uniformes y libres de "vetas", que podrían formarse si mezclamos distintas coloraciones del poliestireno.

El material, luego de ser previamente lavado, (proceso mediante el cual retiramos todo tipo de material diferente a la resina, como lo es, la suciedad, etiqueta), y de ser sometidos a un proceso de seca

do ambiental se introduce dichos productos en el interior de un molino "tritador" donde posteriormente se obtendra el "scrap" o escamas o "pellets", dependiendo de la calibración de las cuchillas, Las distancias entre las cuchillas para obtener el "SCRAP" debe ser de 0.5 - 1.00mm, pero si se quiere gránulos de poliestireno (pellets), esta distancia es de 0.2 - 0.3mm.



2.2 PRODUCCION DE LAMINA CON EL EQUIPO EXPERIMENTAL.

Una vez obtenido el "scrap" con el "molino" procedemos a la siguiente etapa que es la produccion de láminas con una extrusora de tornillo, En primer lugar se procedió a seleccionar proporciones experimentales de material reciclado, mezclado con poliestireno virgen, y así poder evaluar sus propiedades, Los porcentajes escogidos fueron:

- 1,- 30% "SCRAP" de poliestireno cristal y 70% virgen.
- 2,- 25% "SCRAP" de poliestireno cristal y 75% virgen.
- 3,- 100% de poliestireno cristal virgen .
- 4,- 15% de poliestireno cristal expandido y 85% virgen.
- 5,- 20% poliestireno cristal expandido, y 80% virgen.
- 6.- 25% "SCRAP" poliestireno alto impacto y 75% virgen.
- 7,- 100% poliestireno alto impacto virgen.

Estas mezclas de la resina fueron introducidas a una tolva de alimentacion, por debajo de la cual se encuentra inmediatamente la zona de alimentacion es la zona de entrada del material. En esta zona la

profundidad de los filetes es mayor y su diámetro es constante en toda su compresión, La experiencia indica un mínimo de cuatro filetes, a fin de evitar una alimentación no uniforme o un aumento indeseado de temperatura.

La mayor parte de las extrusoras, son calentadas por medio de resistencias eléctricas, colocadas al rededor del cilindro, divididas en grupos (zonas de calentamiento).

Uno de los factores primordiales para el proceso de extrusión, es un perfecto control de temperatura del cilindro o sea no es suficiente ser sometido a un buen sistema de calentamiento y necesariamente a uno bueno de enfriamiento,

La temperatura del tornillo se regula en 180°C aproximadamente, y la temperatura del molde a 200°C a una velocidad del tornillo de 15 rev/min con enfriamiento, la alimentación se la hizo manual y el transporte de la misma para su enfriamiento se hizo también en forma manual,

Los problemas que puede traer la falta de un control en los perfiles de temperatura de las distintas zonas de la extrusora son variables, se presentaban en el momento de que la lámina salía por los labios del molde, líneas continuas en el sentido de



la extrusión, tal como se ve en la figura # 4.4, se encontró que el mayor porcentaje de estas líneas fue para el que contenía mayor porcentaje de SCRAP" que de poliestireno cristal. Por otro lado, el mismo hecho de halar manualmente la lámina, nos traía bastantes problemas en la obtención de una lámina continua.

2.3 EVALUACION DE LA UTILIZACION ENTRE EL MATERIAL RECICLADO Y EL MATERIAL VIRGEN.

Este análisis se lo puede hacer en base a varios criterios:

Las propiedades mecánicas, dureza Rockwell, facilidad de moldeo (dado por las imperfecciones de la lámina), resistencia al alto impacto.

Una vez obtenida la lámina y haber efectuado el control de calidad correspondiente, tenemos que uno de los defectos que nos da la pauta para ver la moldeabilidad del polímero mediante el proceso de extrusión, es la mala dispersión. En lo que respecta al poliestireno cristal, es menor con un porcentaje que varía entre el 20 y el 25% de material reciclado, ya sea poliestireno común o expandido, indiferentemente se puede ver que hay mayores consecuencias cuando se utiliza el poliestireno cristal virgen. Por otra parte, se observó la presencia de líneas continuas en el sentido de extrusión, tenían mayor acentuación en el material virgen de alto impacto, disminuyendo con el porcentaje de poliestireno reciclado; en cambio con el poliestireno cristal ocurre una cuantificación en el sentido contrario. El acabado superficial insatis

factorio, es mayor según disminuye el porcentaje de "SCRAP" en la mezcla, en lo que respecta al cristal, ocurriendo a la inversa en el poliestireno de alto impacto; lo que nos permite ver en que medida puede ser deseable uno u otro acabado superficial.

Otra característica importante es el brillo superficial según se muestra en la figura # 4.5, en lo que respecta al poliestireno, coincide aquí que a medida que se incrementa el porcentaje de reciclado en la mezcla, la resina pierde brillo. Parece ser que todas estas imperfecciones señaladas en los párrafos anteriores son el resultado de no tener un severo control de los diferentes parámetros que se involucran en este proceso, tales como: temperatura de precalentamiento, temperatura de los rodillos de acabado, temperatura de la masa plástica, temperatura en la zona de alimentación, temperatura de molde, presión en el cabezal, variación de la velocidad de rotación de la rosca, abertura de los labios, humedad en el material, etc.

Cuando analizamos las propiedades mecánicas dadas por el ensayo de tracción, ver figura # 4.2, notamos que se puede apreciar muy claramente que el poliestireno cristal expandido, mejoraría mucho sus



propiedades de resistencia a la ruptura, al mezclarse con un porcentaje mayor de material reciclado. En cambio vemos en la figura # 4.2 que el material virgen pierde dureza al mezclarse con poliestireno reciclado, Todas estas propiedades nos ayudan a evaluar de cuan ventajoso es utilizar un porcentaje de material reciclado en la fabricacion de ciertos productos, en los cuales se requiere cierta propiedad como componente principal.

CAPITULO III

III) CONTROL DE CALIDAD DE LA LAMINA

3.1 RESISTENCIA AL IMPACTO - METODO IZOD.

Objetivo : La prueba de resistencia al impacto método "IZOD", se lo realiza con el fin de medir la energía necesaria para romper un cuerpo de prueba extruído bajo condiciones normalizadas.

Tal energía es calculada en ft.lb/in de entalle, 6, Joule por metro, de acuerdo al sistema internacional de unidades.

Las pruebas de resistencia al impacto son eminentemente comparativas, y por lo tanto, de gran utilidad cuando se desea hacer una "variedad" de materiales para especificar el mejor para una determinada aplicación. Sin embargo, cuando se comparan dos polímeros es importante recordar que la resistencia al impacto método "IZOD", no debe ser considerada aisladamente como indicador de la resistencia mecánica del material; lo mismo que para muchos polímeros existentes que son sensibles al entalle y, en virtud de esto, presentará una elevada concentra

ción de tensiones en la región cercana al entalle. Por lo tanto, determinados polímeros de ingeniería que tienen excelentes propiedades mecánicas, como por ejemplo el nylon y el poliacetal, tiene relativamente baja resistencia al impacto método "IZOD". En la figura # 3.1.2. se muestra el modelo de probeta para el ensayo de resistencia al impacto método "IZOD".

Esquema de como es determinada la resistencia al impacto método "IZOD" (vista lateral del cuerpo de prueba y la trayectoria del pistón).

Definición Conforme a la Norma ASTM D - 256 .- Se trata de un método utilizado para determinar la resistencia al doblado de cuerpos de prueba normalizados sometidos al choque de un péndulo también normalizado. La resistencia al impacto es definida como la energía necesaria para "romper" el cuerpo de prueba.

La energía consumida por el péndulo para romper el cuerpo de prueba, es igual a la suma de las siguientes energías:

1. Energía necesaria para iniciar la fractura del cuerpo de prueba.
2. Para propagar la fractura a lo largo del cuerpo de prueba,

3. Para separar totalmente el cuerpo de prueba en dos partes.
4. Para doblar el cuerpo de prueba.
5. Para producir vibración en el brazo del péndulo.
6. Para producir vibración o movimiento horizontal en la estructura de la máquina.
7. Vencer la fricción del sistema de sustentación del péndulo y también la resistencia del aire.
8. Deformación plástica del cuerpo de prueba en la zona de impacto.
9. Vencer al rozamiento causado por el contacto del péndulo con la superficie del cuerpo de prueba,

El ensayo de resistencia al impacto, depende esencialmente de las condiciones de obtención del cuerpo de prueba. Es muy importante también la dirección en la cual es medida la resistencia al impacto; si es paralela al flujo o perpendicular al mismo. Esto es imprescindible una vez que la resistencia es perpendicular a la dirección del flujo es mayor que la dirección paralela al flujo. La resistencia al impacto depende también de la temperatura de realización del ensayo; al aumentar la temperatura se incrementa la resistencia al impacto.

3.2 TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO VICAT.

OBJETIVO: Este ensayo tiene por finalidad establecer un parámetro para estimar la resistencia térmica de los materiales termoplásticos.

Definición conforme a la norma ASTM-D1525.

Es la temperatura a la cual una aguja de sección transversal-circular, igual a 1mm^2 penetra 1mm de profundidad, en un cuerpo de prueba de material termoplástico; sometido a una carga específica (generalmente 1 Kg) y utilizando una velocidad de calentamiento preseleccionada.

Son normalizadas dos velocidades de ablandamiento

$$v1 = 50 \pm 5^\circ\text{C/h}$$

$$v2 = 120 \pm 12^\circ\text{C/h}$$

El cuerpo de prueba, debe tener por lo menos $\frac{1}{2}$ plg de largo y $\frac{1}{8}$ plg. de espesor, Si es necesario, se puede utilizar dos cuerpos de prueba para apreciar el espesor normalizado. El tamaño del cuerpo de prueba es generalmente de 1plg.

Los datos obtenidos a partir de este ensayo, pueden ser utilizados para comparar la resistencia térmica (o el punto de ablandamiento) de materiales termoplásticos,

Los resultados obtenidos en diferentes laborato_

rios usando la misma velocidad de calentamiento, se encuentran generalmente dentro del mismo "rango" con variación máxima de 4°C.

3.3 TRACCION EN EL PUNTO DE RUPTURA.

Objetivos; Las propiedades de tensión constituyen los ~~mas~~ importantes indicadores de la resistencia mecánica de un material. La fuerxa necesaria ~~pa~~ ra alargar un cuerpo de prueba, es determinada junto a la cantidad total de material estirado antes de la ruptura del cuerpo referido. La resis tencia a la tracción es un amplio término. En rea lidad se debe distinguir 3 fendmenos diferentes:

1. La tensidn del deslizamiento.
2. La tensidn en el punto de ruptura para el caso de fractura dúctil.
3. La máxima tensidn para el caso de fractura frá gil.

Los cuerpos de prueba para determinación de las propiedades de tensidn pueden ser moldeados bajo condiciones normales. El espesor tipico es de 1/8plg., sin embargo las demás dimensiones pueden variar.



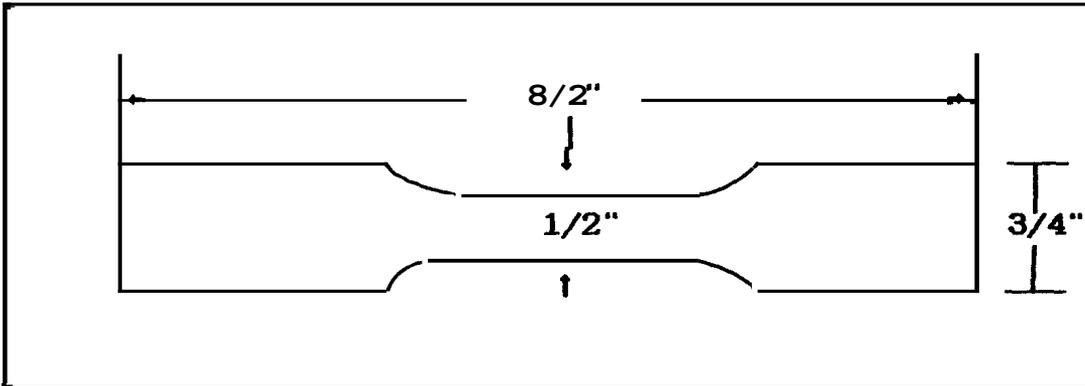


Figura # 3.3.1 :Dimensiones de la probeta para ensayo de tracción.

El módulo de elasticidad o módulo de tracción, es la razón entre la tensión aplicada y la consiguiente deformación en la zona en que la deformación es linealmente proporcional a la tensión.

El módulo de elasticidad es esencialmente una medida de la rigidez del material, siendo muy útil en la elección de un polímero para una aplicación dada. Se puede establecer que el material ideal para cierto producto debe exhibir un comportamiento, cuando en uso normal idéntico al observado en la región en que el módulo es medido. De esta forma, sería posible garantizar la conservación de las características elásticas (deformación proporcional a la tensión), en condiciones de servicio.

Definición conforme a la norma ASTM D-638

Se trata de un método utilizado en la determinación de propiedades de tensión de plásticos, bajo normas de cuerpos de prueba moldeados por inyección o extrusión, ensayados bajo condiciones definidas de pre - tratamiento, temperatura, unidad y velocidad de la máquina de ensayos utilizada.

El ensayo es comparado particularmente para la producción de datos relacionados a las propiedades de tensión, que pueden ser utilizados en el control y en la especificación de materiales plásticos. Estos datos son también muy útiles en características cualitativas y trabajos de investigación y desarrollo,

Las propiedades de tensión pueden variar debido a

1. Forma de preparación de los cuerpos de prueba.
2. Velocidad de realización del ensayo-
3. Ambiente en el cual el ensayo es realizado.

Consecuentemente, cuando se desea comparar resultados, tales factores deben ser cuidadosamente controlados,

3.4 ELONGACION EN EL PUNTO DE RUPTURA

Definición de algunos términos relacionados con las propiedades de tensión.

1. Tensión o tracción.- Es la carga por unidad de área de sección transversal inicial, en un momento dado del ensayo. Es expresado en unidades de fuerza, por unidad de área: Generalmente en Kgf/cm^2 o lbr/plg^2 .

2. Resistencia a la tracción.- Es la máxima tensión soportada por los cuerpos de prueba durante el ensayo, Cuando la tensión máxima ocurre en el punto de fluencia, esta debe ser llamada de " Resistencia a la tracción en el punto de fluencia". cuando ocurre en la ruptura, debe ser llamada de " Resistencia a la tracción en el punto de ruptura".

3. Elongación.- Es el aumento en la longitud del cuerpo de prueba determinado a través de la distancia final entre las mordazas que sujetan el cuerpo de prueba en la máquina de ensayo, menos la distancia inicial. Es expresado en porcentaje de longitud original, también se puede expresar en cm o mm .

4. Punto de fluencia.- Primer punto de la curva

esfuerzo de formación, en el cual ocurre un aumento en la deformación sin ocurrir aumento en la tensión.

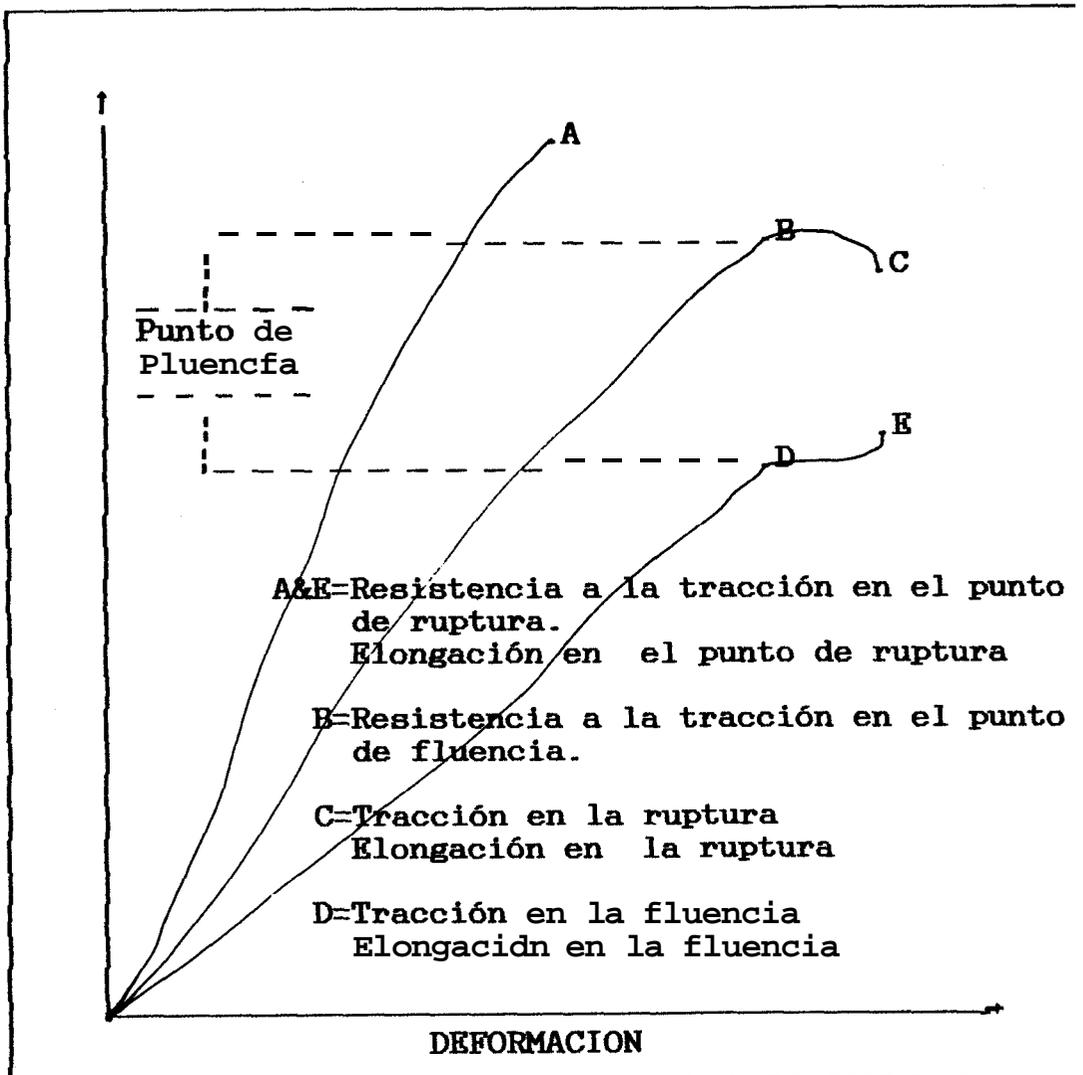


Figura # 3.4.1 :Ejemplo cualitativo del comportamiento de tres materiales en términos de esfuerzo de formación.

Se puede decir que la elongación es un determinante en la ductibilidad de los termopolímeros.

La elongación se determina juntando, después de la fractura, las partes de la muestra y midiendo las distancias entre las marcas puestas en las muestras antes de prueba,

$$\text{Elongación} = \frac{L_f - L_o}{L_o} \cdot 100$$

Donde:

L_f = longitud de la medida final

L_o = longitud de la medida original

La elongación es una de las propiedades mecánicas cuantificadas en un ensayo de tracción; y también se lo hace bajo la norma ASTM D - 638.

3.5 RETRACCION

Este control es visual y se lo hace en base a las imperfecciones, y acortamiento de la lámina en espesor y ancho, este tipo de defectos, se presentan en las láminas debido a una temperatura de precalentamiento demasiado alta, lo cual se puede poner en incongruencia con la temperatura de las demás zonas y obligando a que el material tenga mayor fluidez, perdiendo plasticidad, haciéndose presente la contracción del material,

3.6 ENSAYOS FISICOS.

DETERMINACION DE LA DENSIDAD Y DE MASA ESPECIFICA

Objetivo: La densidad se constituye en uno de los elementos más importantes que determinan el costo del producto acabado. Además de eso la relación costo/volumen o la propia densidad es usada en el control de producción, tanto de materias primas como en la producción de artículos por inyección y extrusión.

Los términos densidad y masa específica son frecuentemente usados indistintamente, sin embargo, existe una sutil diferencia entre sus significados.

Densidad es entendida como la razón entre la masa de un volumen dado de un material a 73.4°F (23°C) y el mismo volumen de agua a la misma temperatura

Masa Especifica es expresada como masa por unidad de volumen a 23°C . La discrepancia entre los valores de masa específica y densidad provienen del hecho de que el agua a 23°C tiene masa específica ligeramente inferior a uno para convertir masa específica en densidad se puede usar el siguiente factor:

$$\text{Masa Especifica (g/cm}^3\text{)} = \text{Densidad} * 0.99756$$

Definición conforme Norma ASTM D 92

La masa específica y la densidad son propiedades muy importantes, que pueden ser utilizadas en la identificación de un material, en la deducción de alteraciones físicas de una muestra para indicar el grado de uniformidad entre diferentes muestras y la densidad (masa específica) medida de un lote de muestras.

Variaciones en la densidad de una muestra puede ocurrir debido a la vacancia en la red cristalina, pérdida del plastificante, absorción de solventes, etc.

Partes de una misma muestra pueden diferir en densidad, en virtud de haber diferencias en la red cristalina, historia térmica, porosidad y composición (tipos o proporciones de resina, plastificante, pigmentos o cargas).

Método Práctico para Determinación de la Densidad

Se trata de una manera rápida y precisa para obtener la densidad de un material. La instrumentación necesaria es la siguiente:

- Balanza Analítica
- Vaso de Precipitación de 50ml
- Termómetro
- Baño para Calentamiento o Enfriamiento.



Se determina la densidad en base a los siguientes cálculos :

$$\text{Densidad de la muestra} = \frac{MA}{VA} * \frac{1}{0.99756}$$

$$VA = \frac{\text{Masa de agua Desalojada por la muestra}}{\text{Densidad de agua}}$$

$$\text{Masa del agua Deslizada} = (MPA - MP) - (M - MA)$$

Donde :

MA = Masa de la muestra

VA = Volumen de la muestra

MP = Masa del vaso vacío

MA A = Masa del vaso más agua

M = (masa del vaso + agua + muestra) -
(masa de vaso vacío)



BIBLIOTECA

Determinación de la Temperatura de D

Objetivo: Este ensayo muestra la temperatura en la cual una cantidad arbitraria de deflexión ocurre, bajo efecto de una carga seleccionada. En este caso no existe intención de establecer cuáles serían los límites de temperaturas soportadas por el material para aplicaciones específicas. A partir de este ensayo se puede comparar el comportamiento relativo de varios materiales de condiciones normales, sin embargo, los resultados obtenidos son particularmente útiles para actividades relacionadas al "control de calidad y desenvolvimiento".

Definición Conforme Norma ASTM D - 6.8

Se trata de un método para determinar la estructura en la cual una deformación arbitraria ocurre cuando las muestras de materiales poliméricos son sometidos a un "set" arbitrario de condiciones de ensayo. Este método se aplica a cuerpos de prueba inyectados o extruidos, con espesor mayor o igual a 3mm de materiales que sean rígidos a temperaturas normales.

Durante el ensayo la lámina de sección transversal rectangular es ensayada como si fuese una viga, en el centro de la cual es aplicada una carga

de 455kpa a 1820kpa con el fin de conferir la máxima tensión en las fibras del material. La muestra es inmersa bajo la acción de una carga en un baño térmico que permite una velocidad de calentamiento igual a $2 \pm 0.2^\circ\text{C}/\text{min}$. La temperatura del medio es medida cuando el cuerpo de prueba sufre una deflexión igual a 0.25 mm. Esta temperatura es definida como "la temperatura de deflexión térmica" de la muestra.

Los cuerpos de prueba miden generalmente $5 \times \frac{1}{8}$ p/g por un espesor entre $1/8$ y $\frac{1}{2}$ p/g;

Determinación de la Dureza Rockwell.-

Objetivos.- El ensayo para determinación de la dureza Rockwell, puede ser utilizada para diferenciar durezas relativas de diferentes tipos de un polímero dado. No obstante, una vez que la "fluencia y la recuperación elástica" están envueltas en la determinación de la dureza, no es válido comparar "durezas" de varios tipos de polímeros, en base solamente de este tipo de ensayos. La dureza Rockwell no debe ser considerada como un indicador de las condiciones del uso del material o de la resistencia a la abrasión del mismo.

Definición conforme a norma ASTM D - 785

El valor de la dureza Rockwell de un polímero es un número derivado de la profundidad de penetración de un cuerpo esférico en el material, bajo la acción de una carga. Durante el ensayo, el cuerpo de prueba es sometido a la acción de los siguientes esfuerzos:

1. Carga leve
2. Carga leve + carga pesada
3. Carga leve

El penetrador utilizado para entallar el cuerpo de prueba es de forma esférica.

Los equipos destinados a la determinación de la dureza rockwell "durómetros", poseen un conjunto de esferas de acero con diámetros específicos, que pueden ser utilizados para diversos tipos de materiales poliméricos. El valor de la dureza rockwell de un material, es siempre presentado al lado de una letra que indica el diámetro de la esfera utilizada como penetrador, la carga es una escala - adoptada.

La dureza rockwell está directamente relacionada con la dificultad que presenta para entallar el cuerpo de prueba, por lo tanto, cuanto mayor es el valor de la dureza rockwell en la escala del a

quipo, mayor será la dureza del material.

Esquema de ejecución del ensayo para determinación de la Dureza Rockwell. La distancia RB es usada para calcular la dureza rockwell, la cual puede ir directamente en el aparato, figura # 3.6.2.

CAPITULO VI

IV.- DISCUSION DE RESULTADOS

4.1.- Análisis de resultados.

En el presente trabajo hemos podido apreciar que las propiedades del polímero dependen principalmente de: la naturaleza química de los monómeros y su consecuencia en la estructura molecular formada tanto en lo que se refiere a su constitución como configuración al peso molecular y la configuración.

Pudimos apreciar la influencia del perfil de temperatura empleado para nuestro polímero (poliestireno) en la obtención de la lámina, la cual se refleja en distorsiones y defectos en la lámina. Otro factor importante fue la velocidad del tornillo extrusor lo cual repercutía en una adecuada plasticidad.

Se fabricaron siete láminas con proporciones variables, las cuales presentaron los datos mostrados en las tablas, diagramas y anexos.

En lo que respecta a la tracción en el punto de ruptura, la mezcla que llegó a tener un esfuerzo mayor fue la de 20% "SCRAP" de poliestireno cristalino.

tal común la cual se refleja en una mezcla óptima cuando se requiere en un proceso de esta característica como primordial (ver figura # 4.2).

La determinación de la temperatura VICAT, nos dio resultados que no fueron muy dirtantes, siendo siempre mayores para el poliestireno virgen, ya sea el cristal o el de alto impacto.

La densidad del polimero no varió, pero se presentó una centécima mayor en el poliestireno cristal 100% virgen (tabla XVII).

Según la figura # 4.3 pudimos observar que la resistencia al impacto disminuye a medida que se aumenta el porcentaje de poliestireno reciclado.

La utilización del poliestireno virgen se puede controlar a una línea de productos en la que, las propiedades sean un factor primordial. En cambio el uso de poliestireno reciclado en mezcla con virgen, puede variar en pequeñas proporciones que hace que su uso, sea rentable.



PROPORCIONES UTILIZADAS	VICAT °C
30% "SCRAP" (PS) cristal	100
25% "SCRAP" (PS) cristal	102
100% (PS) cristal virgen	104
20% "SCRAP" (PS) expandido	103
15% "SCRAP" (PS) expandido	102
25% "SCRAP" (PS) alt. impacto	106
100% "SCRAP" (PS) alt. imp. (V)	107

Tabla XIV: Resultados de temperatura de ablandamiento a VICAT.

PROPORCIONES UTILIZADAS	Elong. en pto. de ruptura (cm/cm)	Resis. a la tracc. en pto. ruptu. [Kg./cm ²]
30% "SCRAP" (PS) cristal	0.05	333.9
25% "SCRAP" (PS) cristal	0.0425	283.56
100% (PS) cristal virgen	0.0525	350.67
20% "SCRAP" (PS) expandido	0.07138	467.74
15% "SCRAP" (PS) expandido	0.0256	315.29
25% "SCRAP" (PS) alt. impact	0.2063	319.67
100% "SCRAP" (PS) alt. imp. V	0.135	221.56

Tabla XV: Ensayo de tracción.

PROPORCIONES UTILIZADAS	Densidad (g/cm ³)
30% "SCRAP" (PS) cristal	1.04
25% "SCRAP" (PS) cristal	1.04
100% (PS) cristal virgen	1.05
20% "SCRAP" (PS) expandido	1.04
15% "SCRAP" (PS) expandido	1.04
25% "SCRAP" (PS) alt. impacto	1.04
100% "SCRAP" (PS) alt. imp. (V)	1.04

Tabla XVI: Determinación de densidad.

PROPORCIONES UTILIZADAS	Durez Rockwel "L"
30% "SCRAP" (PS) criatal	97
25% "SCRAP" (PS) cristal	92
100% (PS) cristal vrigen	99
20% "SCRAP" (PS) expandido	93
15% "SCRAP" (PS) expandido	90
25% "SCRAP" (PS) alt. impacto	66
100% "SCRAP" (PS) alt. imp. (V)	80

Tabla XVII: Ensayo de dureza.



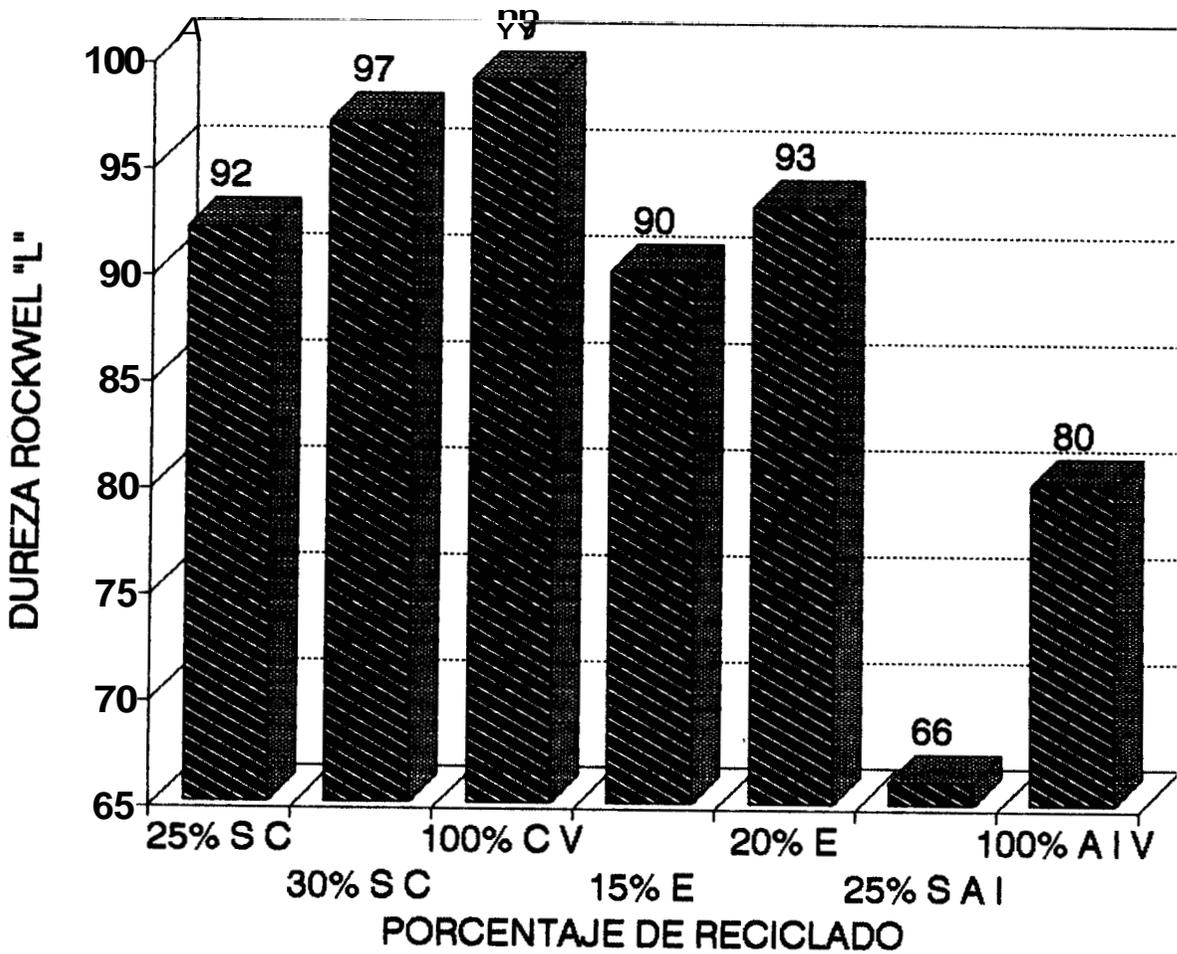


Figura # 4.1.: Gráfico de dureza Rockwel "L" .vs. Porcentaje del material reciclado.

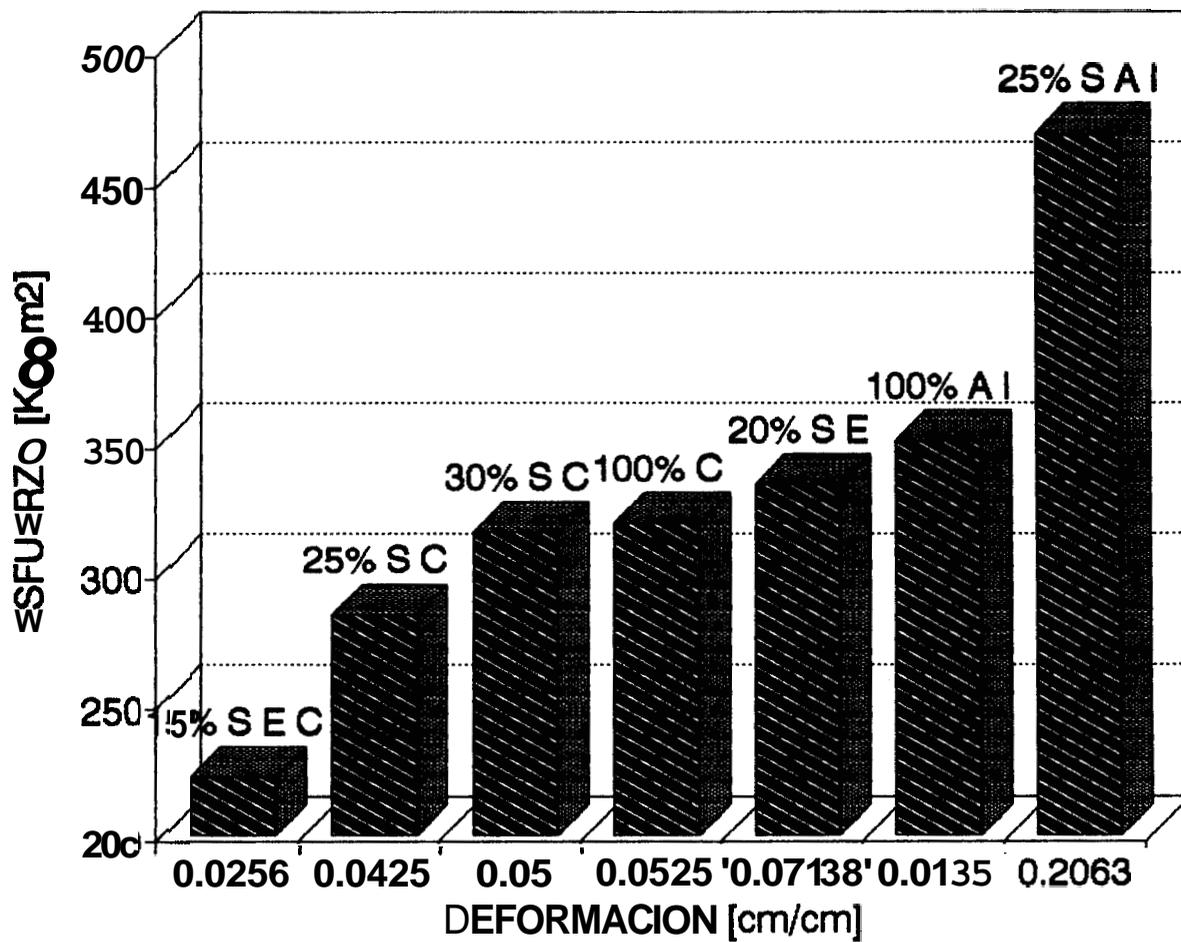


Figura # 4.2 :Gráfico esfuerzo deformación
taje de material reciclado.

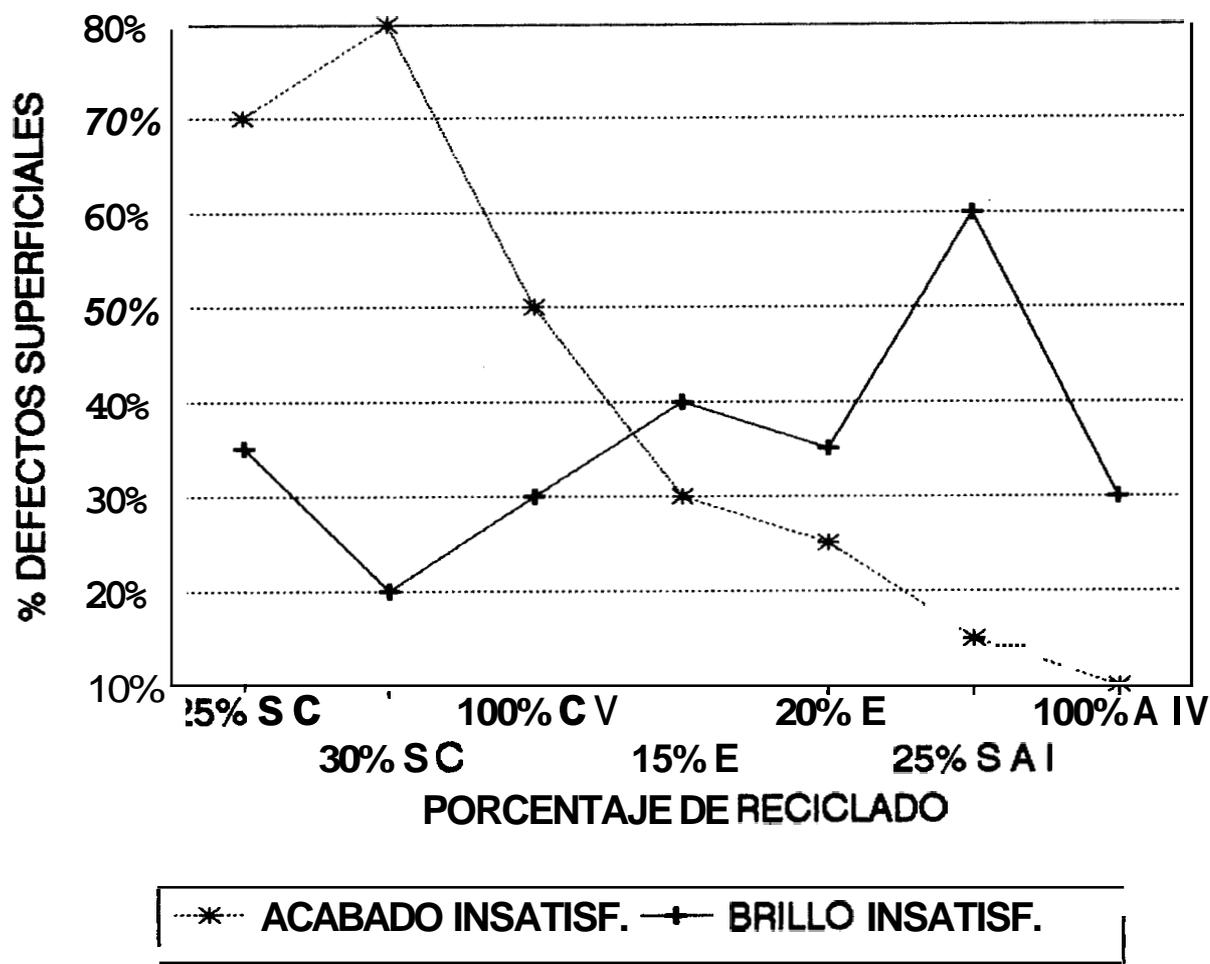


Figura # 4.3.: Gráfico de los defectos superficiales .vs. Porcentaje de Reciclado.

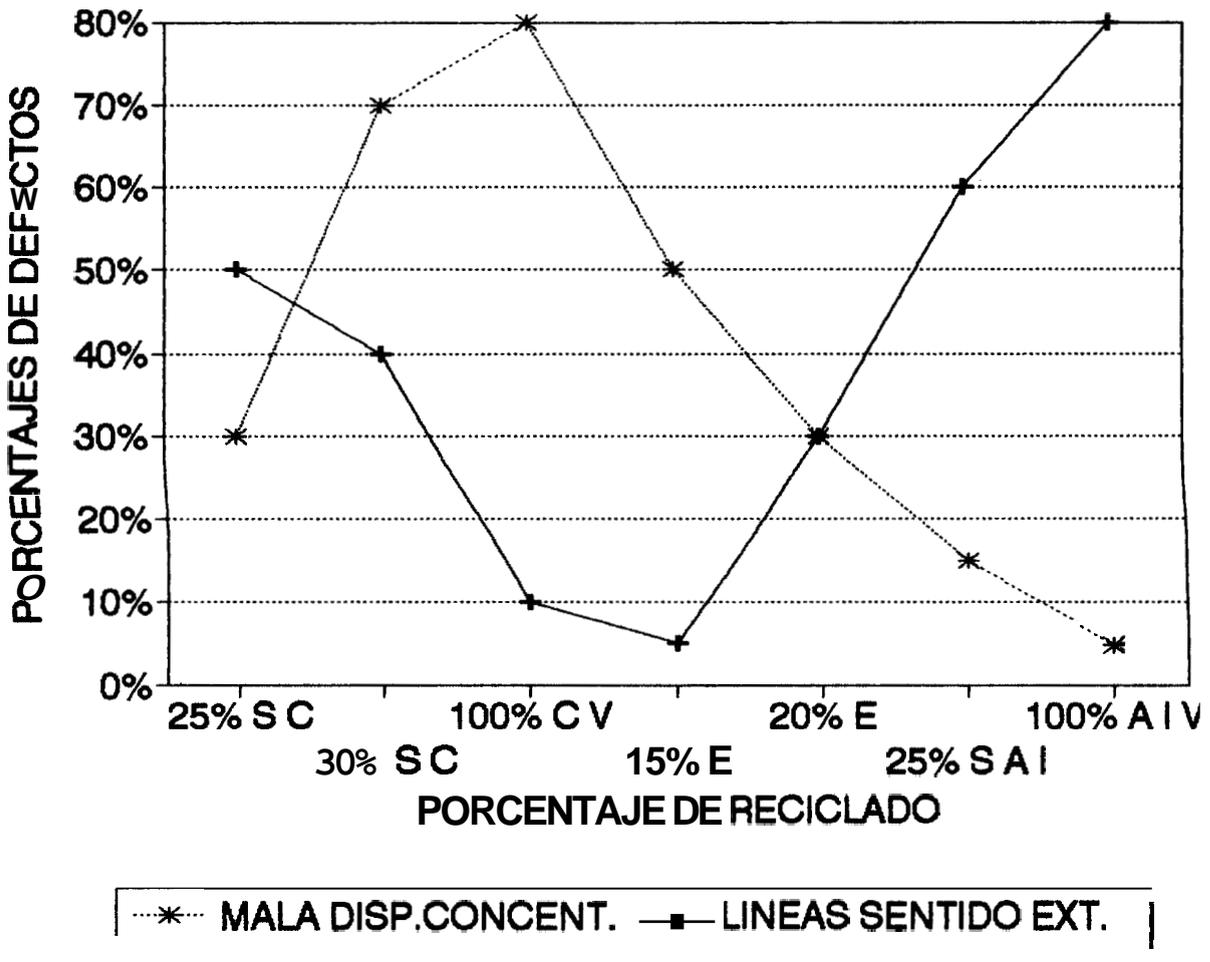


Figura # 4.4: Grafico de Porcentaje de Defectos .vs. Porcentaje de material reciclado

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1.- El poliestireno tiene varias presentaciones en el mercado debido a su gran aplicación; pero sus diferentes tipos pueden dar lugar a confusión en la recolección y selección de la resina lo cual nos puede dar una ligera mezcla con otros polímeros, reflejándose en un cambio en las propiedades.
- 2.- Teniendo en cuenta la cantidad de poliestireno no utilizada en la industria y expendida a los diferentes lugares en nuestro país, el reciclaje de poliestireno, sería rentable, ya que la utilización de material reciclado disminuye los costos de producción.
- 3.- Además de esto, según el trabajo de investigación mostrado se puede ver que el reciclaje, ha dado buenos resultados a nivel mundial y se puede proyectar un buen éxito a nivel local.
- 4.- La selección del material se hizo con la resina en forma de "SCRAP" mezclado con material virgen granulado, con lo que no hubo ningún problema, reflejándose que se puede también hacer uso de la extrusión con poliestireno reciclado en forma

de "pellets".

5.- La extrusión del material se hizo con la resina en forma de "SCRAP" mezclado con material virgen granulado, con lo que no pudimos comprobar que este proceso es válido y se puede aplicar, ya sea para material virgen con material reciclado en forma de "SCRAP" o para reciclado en forma de "pellets".

6.- Los ensayos efectuados, para realizar el control de calidad de la lámina, definido en base a criterios y normas, nos cuantificaron las propiedades en forma apropiada, teniendo en cuenta que un ensayo nos puede determinar una o varias propiedades al mismo tiempo. Además en estos ensayos pudimos obtener resultados que nos diferenciaron las mezclas y nos dieron propiedades que mejoraban o desmejoraban.

7.- Las láminas en el proceso de extrusión, presentaron contracción e imperfecciones (distorsiones) lo cual se debía en si a que el sistema para darle acabado por medio del tiraje automático, no funcionaba, lo cual tuvimos que hacer manualmente, y sin contar con nociones claras sobre esta velocidad de tiraje de la lámina.

8.- Otro factor importante, fue la utilización de

un adecuado perfil de temperatura; contando desde la temperatura de la zona de alimentación, temperatura de precalentamiento, temperatura de la masa plástica, temperatura del molde; las cuales no tuvieron concordancia con algunas de nuestras mezclas debido a imperfecciones presentes.

9.- La mezcla óptima para la obtención de láminas con material reciclado a mi criterio debe ser de 15 a 20% de "SCRAP" y de 80 a 85% de material virgen, en base a la estabilización de sus propiedades.

10.- El control de los procesos de moldeo de los termoplásticos, se presta a la adaptabilidad, con el fin de obtener determinada forma y dimensiones requeridas, que pueden inclusive automatizarse, con mucha facilidad.

Recomendaciones

1.- Se hace necesario, que los gobiernos de turno, brinden su colaboración en un programa tan elemental, como lo es reciclaje del plástico, concientizando a la comunidad de la importancia que tiene el reciclaje en nuestro medio, como vía de desarrollo y solución al problema de acumulación de desperdicios.

2.- La instrucción a las personas que seleccionan

las resinas , debe mostrar las características mas importantes de la resina, con el fin de hacer una buena selección y no tener los diferentes problemas que se presentan por la mezcla de materiales ajenos a nuestra resina.

3.- Es necesario crear un Centro de Investigación, **nes** y desarrollo de la tecnología del plástico en nuestro medio, **ya** que como se sabe, de estas resinas plásticas, se hacen tubos, perfiles, engranajes, etc, que podrían ser optimizados con un estudio a fondo de los polímeros y sus propiedades tanto físicas como estructurales.

4.- En el sondeo que hicimos a varias industrias de la localidad, vimos su afán de prestar ayuda a todo lo que sea relacionado con el apoyo científico, a estudiantes interesados en desarrollar esta rama de los materiales de ingeniería, y es por eso que debe haber mayor coordinación entre la ESPOL y las industrias de plásticos.

TABLAS. DIAGRAMAS Y ANEXOSTablas

A MONOMERO	----▶	A-A-A-A-A	HOMOPOLIMERO
B MONOMERO	----▶	B-B-B-B-B	HOMOPOLIMERO
A B COMONOMEROS	---▶	A-B-B-A-A	COPOLIMERO ESTATICO
		A-B-A-B-A	COPOLIMERO ALTERNADO
		A-.-A-B-.-B-A-.-A	COPOLIMERO EN BLOQUE
		A-A-A-A-A B B B	COPOLIMERO GRAFTIZADO O INSERTADO

Tabla I :Cadenas Macromoleculares en Homo y Copolimeros

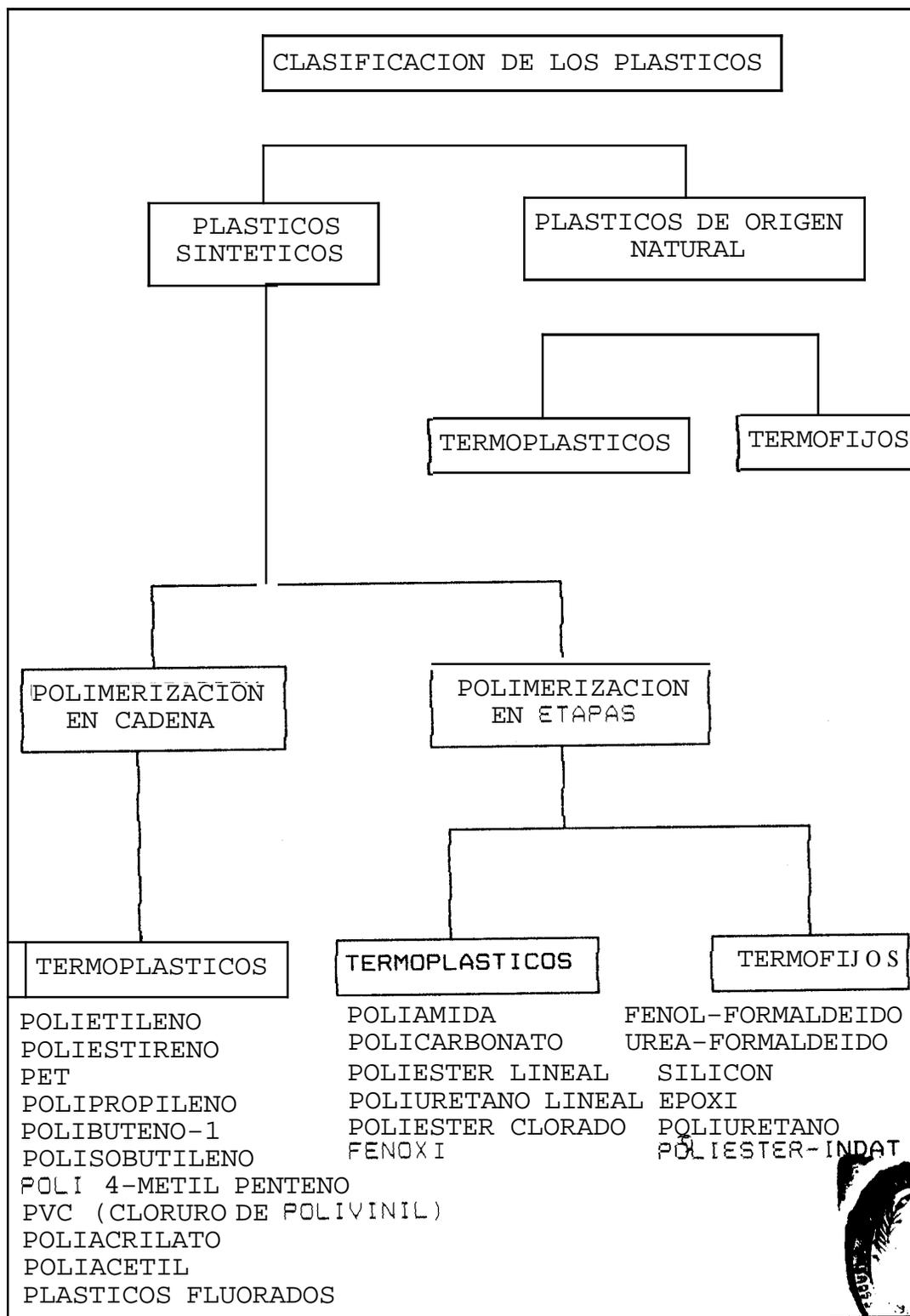
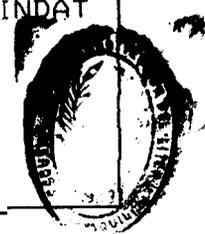


Tabla II: Clasificación de los plásticos



BIENHECHOS

POLIMERO	UNIDAD REPETITIVA(MERO)	MONOMERO (S)
POLIETILENO	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ - \text{C} - \text{C} - \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	H ₂ C=CH ₂
POLIESTIRENO	$\begin{array}{c} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \\ \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}=\text{CH} \\ \\ \text{O} \end{array}$
POLI-ISOPRENO	$\begin{array}{c} - \text{CH}_2 - \text{C} = \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
POLIHEXAMETILENO-ADIPAMIDA (NYLON) 66	$\begin{array}{c} -\text{NH}(\text{CH}_2)_6-\text{N}-\text{C}-\text{(CH}_2)_4-\text{C}- \\ \quad \quad \quad \parallel \quad \quad \quad \parallel \\ \quad \quad \quad \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{NH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2 \\ \quad \quad \quad \text{Y} \\ \text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-(\text{OOH}) \end{array}$
POLICAPROLACTAMA (NYLON 6)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \parallel \\ -\text{N}-(\text{CH}_2)_5-\text{C}- \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{C}=\text{O} \end{array}$
POLI(DIMETIL SILOXANO)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{Si}-\text{O}- \\ \\ \text{H}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} (\text{CH}_3)_2-\text{Si}-\text{O}-\text{Si} \\ \quad \quad \quad \text{Y} \\ \quad \quad \quad \text{H}_2\text{O} \end{array}$

Tabla III. :Unidades repetitivas de los polimeros mayormente usados.



ESPECIFICACIONES	UNIDADES	VALOR
Fbrmula estructural		C ₆ H ₅ -CH=CH ₂
Peso molecular		104
Peso especifico a 25°C	g/ml	0.9019
Punto de ebullicibn	"C	145.2
Punto de congelamiento	"C	-30.6
Viscosidad a 25°C	CP	0.730
Punto de Ingnicibn	"C	49.0
Tensión superficial a 25°C	din/cm	30.86
Color especifico , líquido a 20°C	col/g/°C	0.4039
Presión de vapor a 20°C.	mmHg	0.45

<p>Agua, solución acuosa de sales, ácidos y bases. Alcoholes alifáticos de cadena corta. Detergentes líquidos (20°C).</p>	<p>RESISTE</p>
<p>Aceite mineral, aceite combustible. Alcoholes alifáticos de cadena larga. Hidrocarburos alifáticos. Ácidos, oxidantes, cloro, bromo</p>	<p>RESISTENCIA LIMITADA</p>
<p>Hidrocarburos aromáticos Cetonas Eteres Esteres Solventes clorados</p>	<p>NO RESISTENTE SOLUBLE</p>

Tabla V: Tabla de resistencia química de la resina (poliestireno)

NOMBRE	GRAVEDAD ESPECIFICA	COLOR DE LA LLAMA
Polietileno de baja densidad (LDPE)	0.91 - 0.93	azul - amarillo
Polietileno de alta densidad (HDPE)	0.93 - 0.96	azul - amarillo
Polipropileno PP	0.85 - 0.9	azul - amarillo
Poliestireno PS	1.05 - 1.08	naranja - amarillo
Cloruro de polivi_nilo	1.15 - 1.65	(verde) naranja - amarillo
Nylon	1.09 - 1.14	azul bajo
Acrilico	1.18 - 1.19	azul bajo (amarillo)
Poliester	1.12 - 1.46	naranja - amarillo
Acetato Vinil	1.19	amarillo oscuro
Policarbonato	1.20	naranja - amarillo
Caseina	1.35	amarillo

Tabla VI: Características visuales de algunos polímeros

NOMBRE	SE DERRITE SUAVE	OLOR	COLOR	DENSIDAD DE HUMO
Polietileno de baja densidad (LDPE)	SI	cera de vela	blanco	muy poco
Polietileno de alta densidad (HDPE)	SI	cera de vela	blanco	muy poco
Polipropileno PP	SI	pesado	blanco	muy poco
Poliestireno PS	SI	dulce margarita	negro	denco
Cloruro de polivi_	SI	cloro	blanco verdusco	denso
Nylon	SI	pelo quemado		
Rcrlilico	SI	floral	algo negro	
Poliester	NO	dulce resinoso	negro	denso
Rcetato Vinil	SI	acético	negro	
Policarbonato	NO	dulce fenólico	negro	
Caseina	SI	leche quemada	gris	

Parte 2ª de la tabla VI.

<u>Poliestireno</u>	<u>Resistencia al Impacto</u> (lbxft/in ent)(cmxKgf/cm ent)	
EDN-849	0.35	1.90
EDN-303	0.90	4.90
EDN-492	1.60	8.80
EDN-926	3.10	16.90

<u>Poliestireno</u>	<u>VICAT (°C)</u>
EDN-489	92
EDN 86	100
EDN 477	100
EDN 84	103
EDN 87	106

Tabla VIII: Temperatura de Ablandamiento VICAT de algunos productos EDN.

<u>POLIESTIRENO</u>	<u>RES. TRACCION EN EL PTO. RUPTURA</u> (Kgf/cm ²)	<u>ELONGACION EN EL PTO. RUPTURA</u>	<u>MOD. ELAST. EN TRACCION</u> (Kgf/cm ²)
EDN- 87	500	3,0	30.000
EDN-844	350	1,2	33.000
EDN-303	330	25	26.000
EDN-477	250	55	17.500
EDN-492	235	46	20.800
EDN-926	150	36	17.500

Tabla IX. :Propiedades de tensión de algunos productos EDN

POLIESTIRENO	DENSIDAD
EDN - 84	1.05
EDN - 86	1.05
EDN - 849	1.05
EDN - 477	1.04
EDN - 492	1.04
EDN - 926	1.04

Tabla X :Densidad de algunos productos EDN

EDN-849	75
EDN- 86	80
EDN- 84	88
EDN- 87	90
EDN-926	88
EDN-492	82
EDN-303	90

Observación: Carga = 264/b/in²

Tabla XI:Temperatura de Deflexión Térmica de Algunos Productos EDN



A

ESCALA	CARGA LEVE (Kg)	CARGA PESADA (Kg)	DIAMETRO DE LA ESFERA (mm) (*)
R	10	60	12,700
L	10	60	6,350
M	10	100	6,350
E	10	100	3,175
K	10	150	3,175

* Tolerancia = $\pm 0,0025$

Tabla XII: Escalas de dureza Rockwel "L"

POLIESTIRENO	DUREZA ROCKWELL R/L/M
EDN-492	-/50/12
EDN-477	-/80/40
EDN-926	-/67/25
EDN-303	-/90/50
EDN- 84	-/95/-
EDN- 86	-/100/75

Tabla XIII: Dureza Rockwell de algunos productos EDN.

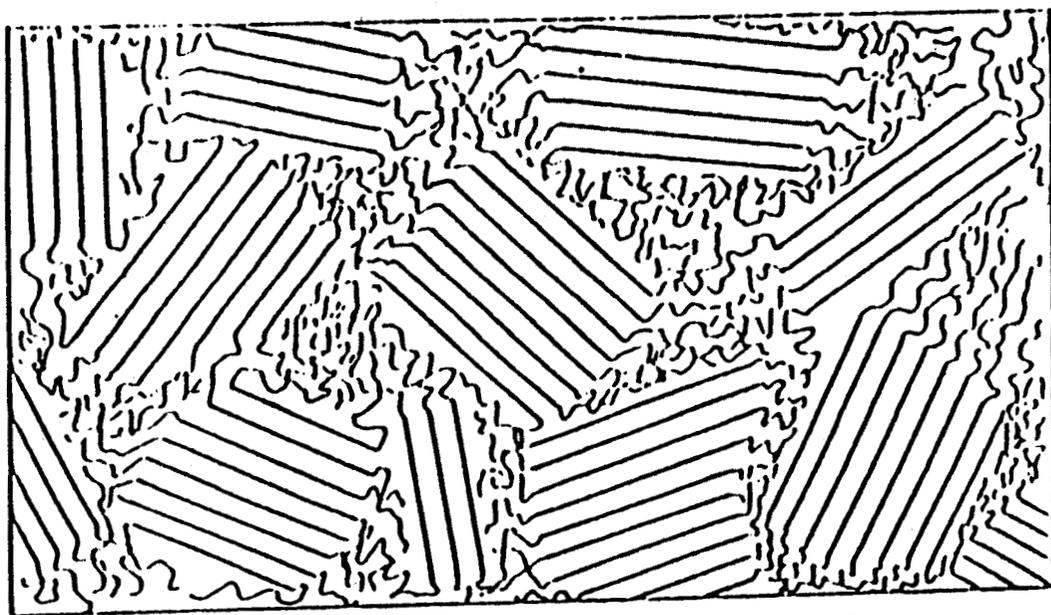
FIGURAS

Figura # 1.2.3 : Diagrama de los polímeros semicristalinos

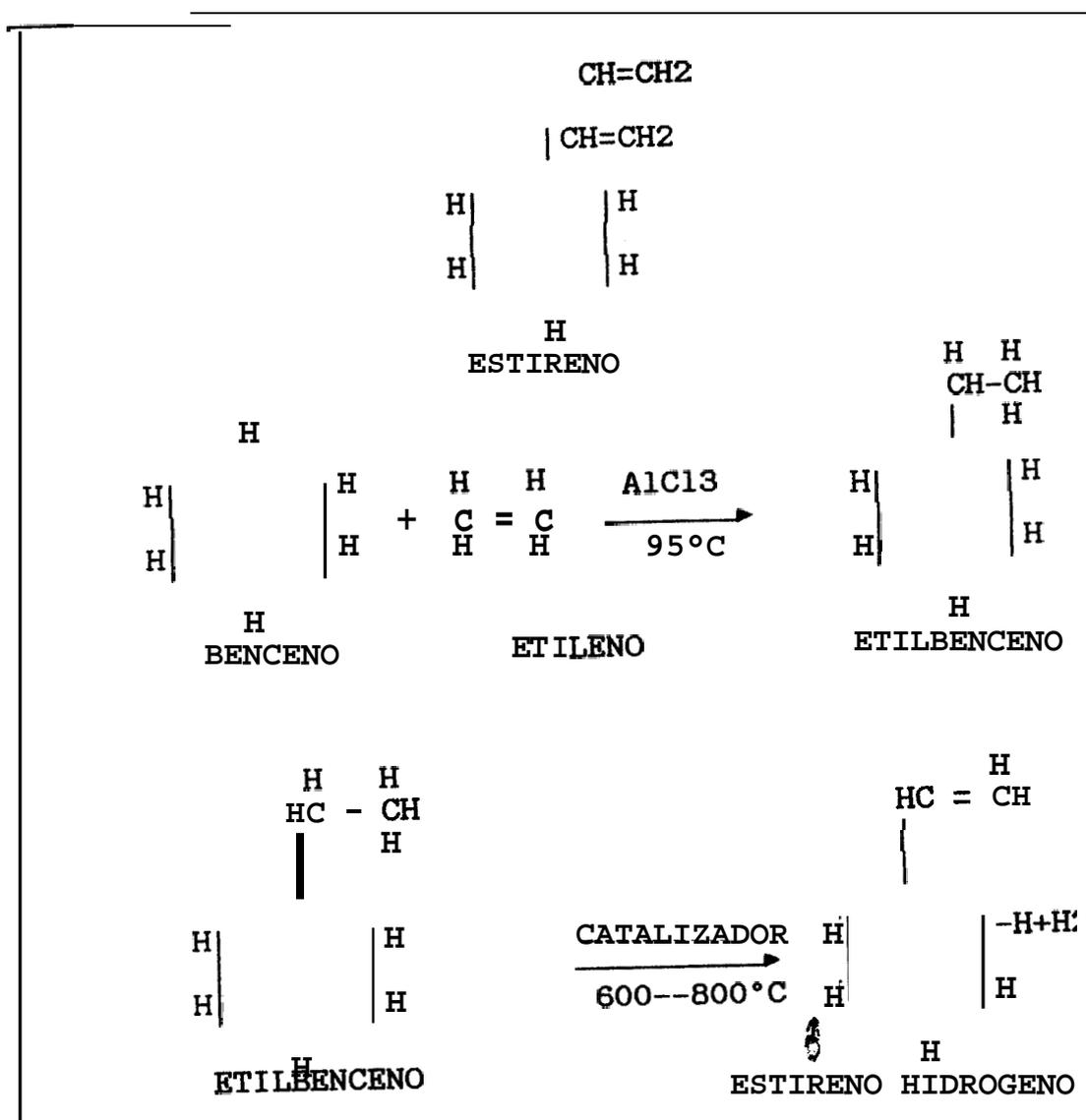


Figura # 1.3.1: Configuración molecular del estireno.

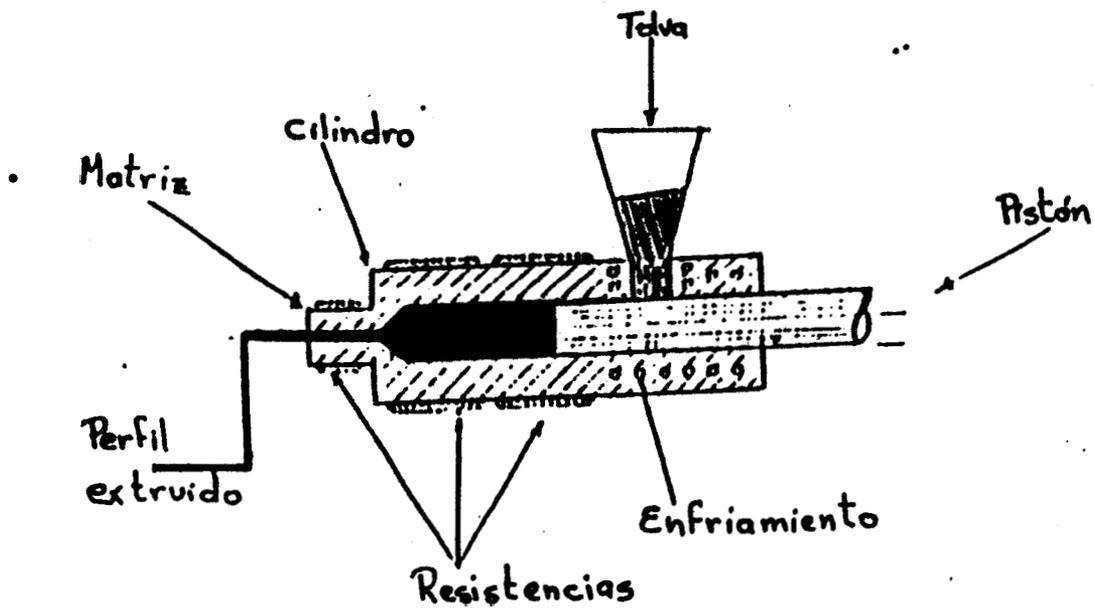


Figura # 1.6.1 :Esquema de una extrusora de desplazamiento positivo (Pistón)

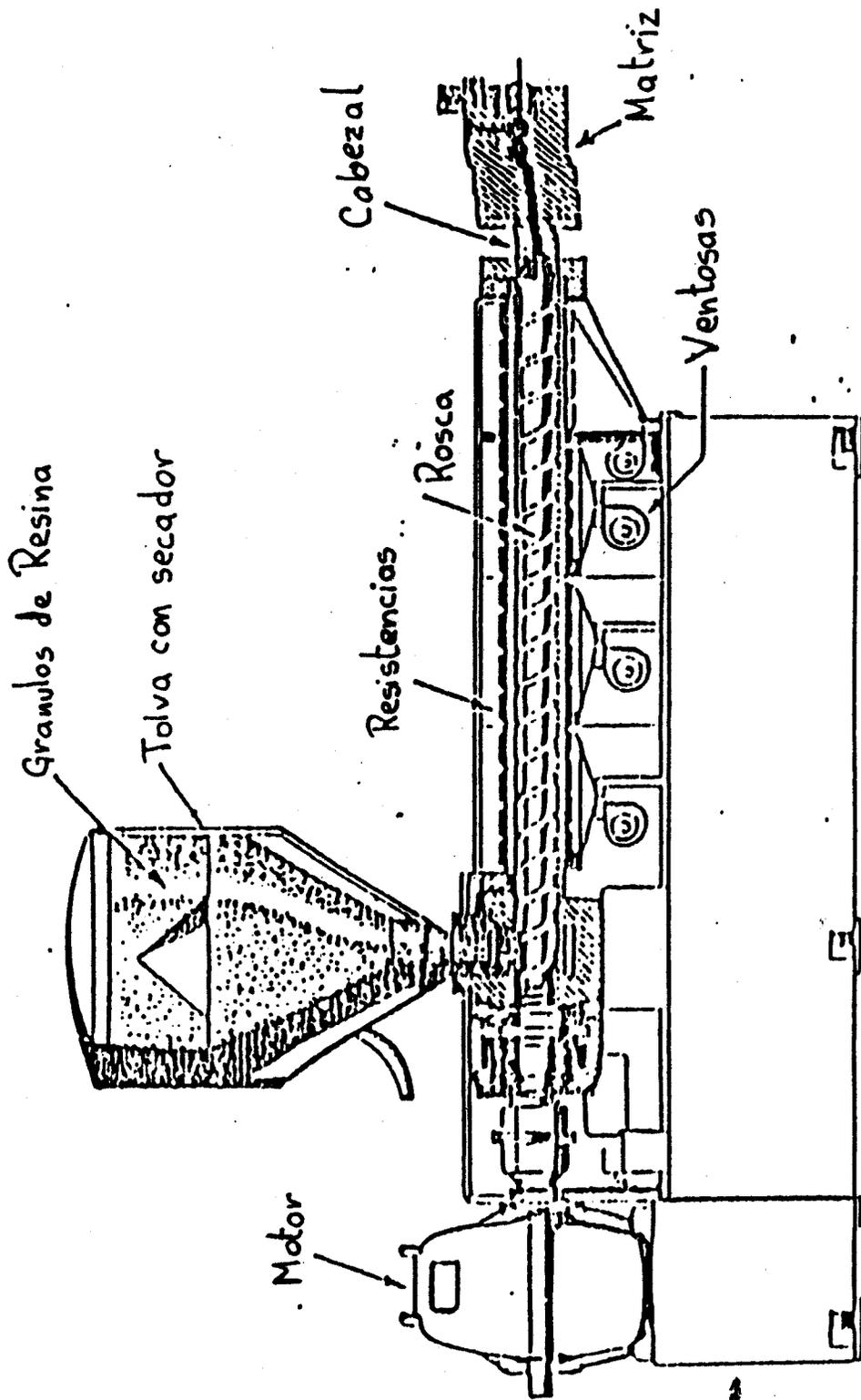


Fig. # 1.6.2: Máquina extrusora de tornillo

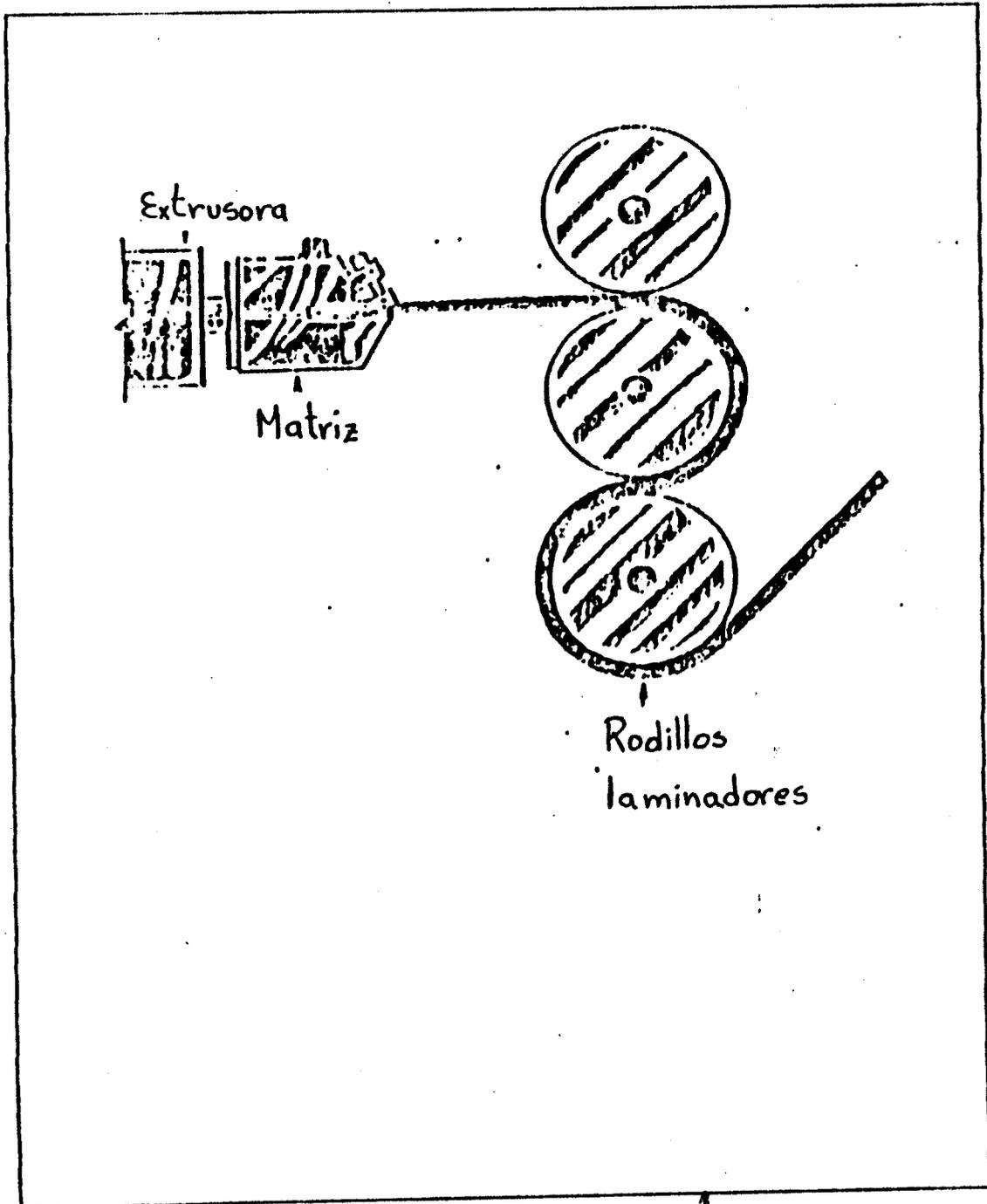


Figura # 1.6.3 : Sistema de rodillos laminadores

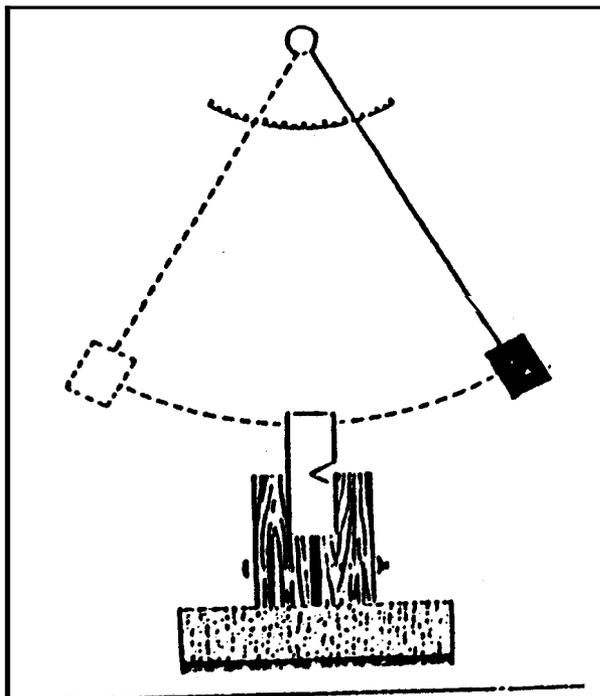


Figura # 3.1.1 : Esquema de como es determinada la resistencia al impacto método IZOD.
(Vista lateral del cuerpo de prueba, y trayectoria del pistón).

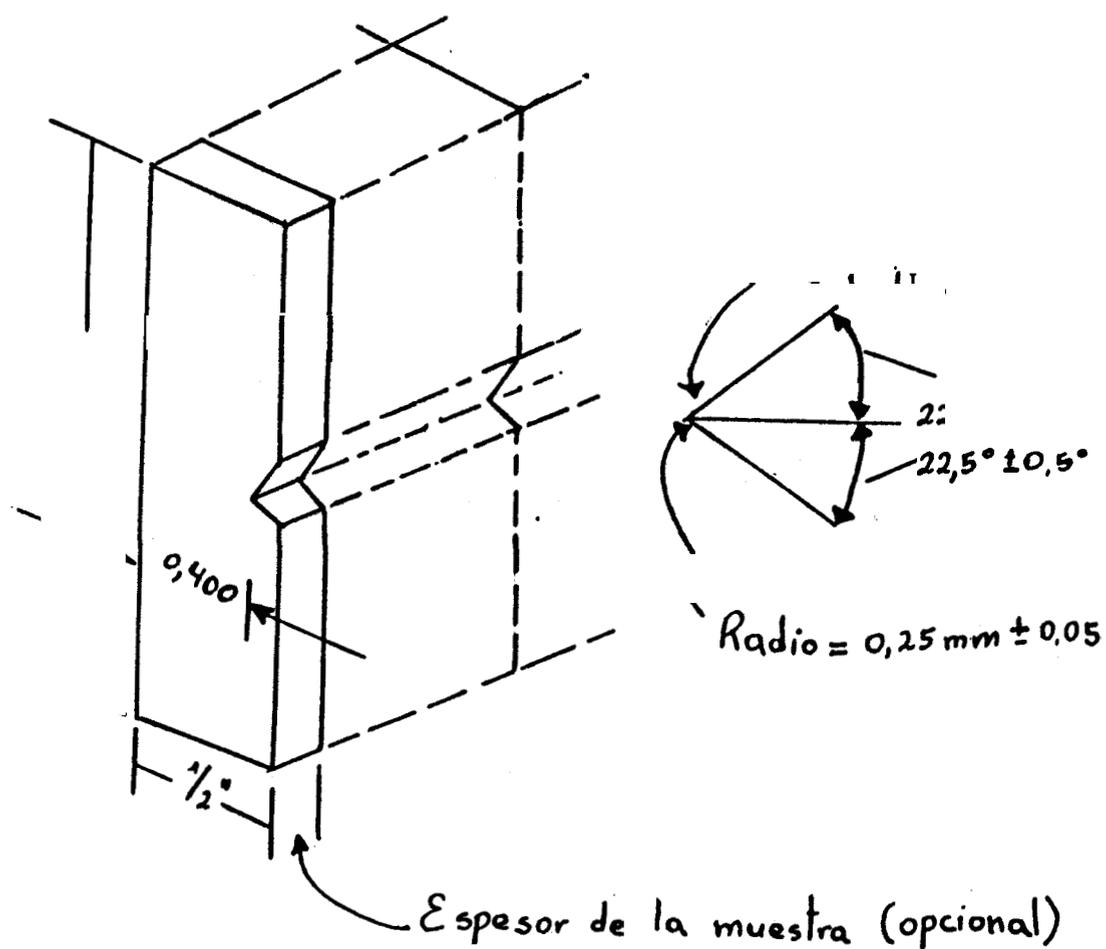


Figura # 3.1.2 :Cuerpo de prueba del ensayo de resistencia al impacto método "IZOD".
Dimensiones usuales: $\frac{1}{8} < \frac{1}{2} < 2\frac{1}{2}$ pulgadas.

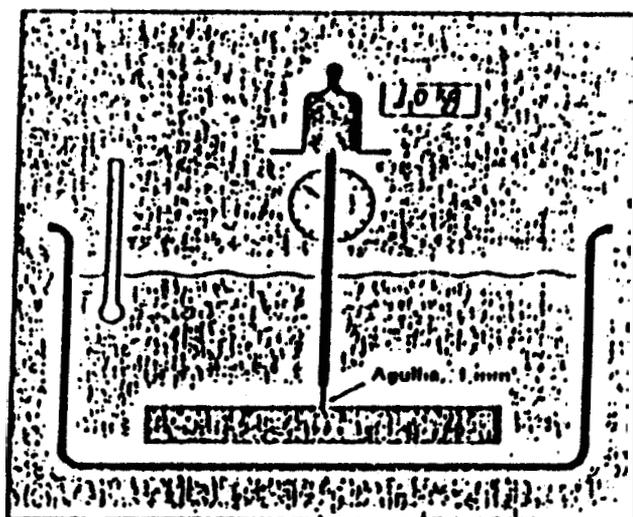


Figura # 3.2.3 :Vista esquemática del equipo utilizado para determinación del punto de ablandamiento VICAT:

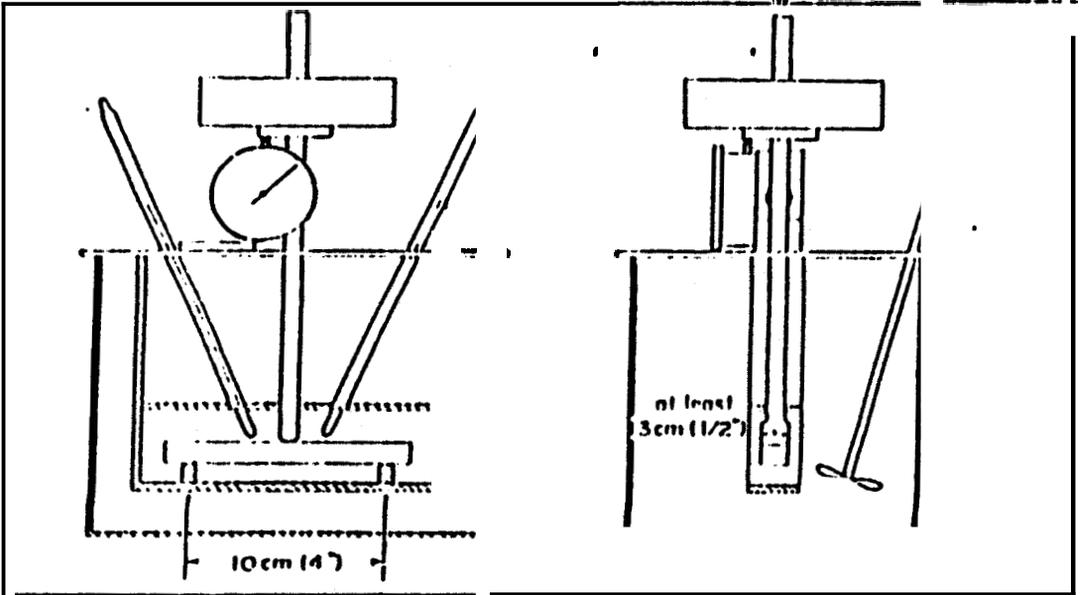


Figura # 3.6.1. :Equipo utilizado para el ensayo de de_ flexión térmica.

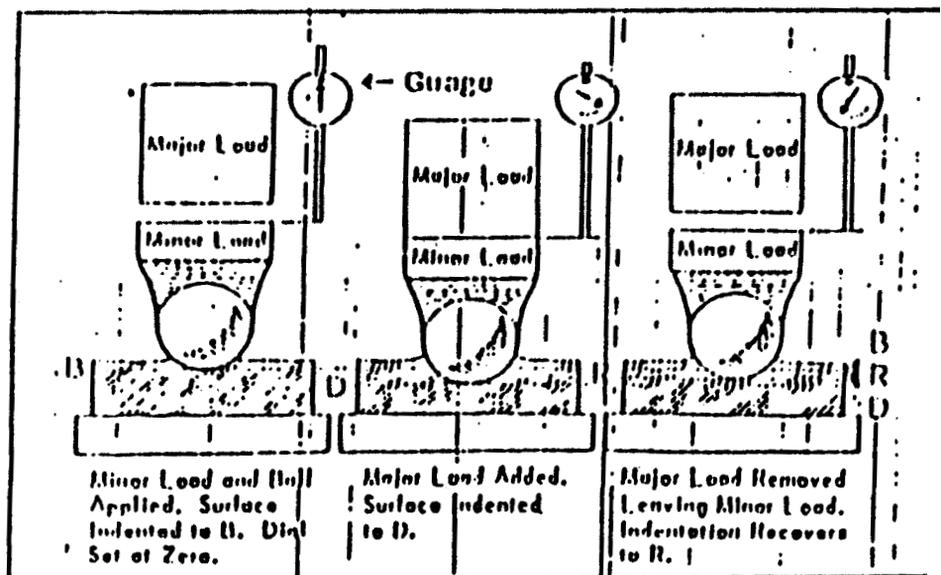


Figura # 3.6.2.: Esquema de realización del ensayo para determinación de la dureza Rockwell.

BIBLIOGRAFIA

- 1 .- Savgordny V.K, Transformación de plástico , Gustavo Gilr, Barcelona 1978, pdgs # 23, 24, 25, 26.
- 2 .- Lave K.- Stenger H., Processes, Machinery, Tooling, Tercera Edición; New York 1972, pdgs # 1, 2, 3, 4, 5, 6; 24, 25, 26.
- 3 .- Simonds Herber R.- Church James M. , Plásticos formulación y moldeo, New York 1970, pdgs # 16, 19, 21, 28, 35, 117.
- 4.- Therlkeld James, Ingeniería del ámbito térmico , Edit. Prentice/Hall Internacional, España 1973, pdgs. # 6, 20, 21, 36.
- 5.- Singer Ferdinand L. - Pytel Andrew , Resistencia de materiales, Horla, tercera edición, México D.F. 1982, págs. # 44, 85, 156, 164, 207, 218, 335, 338.
- 6.- Shigley Joseph E. - Mitchel Larry D., Disc?- Ingeniería Mecánica, Mc. Graw Hill, cuarta edición, México D.F. 1985, pdgs. # 12, 13, 288, 289, 294, 307, 312, 313, 318, 319, 322, 331, 332, 333.
- 7.- Escuela Superior Politécnica del Litoral, tesis de grado, Facultad de Ingeniería Mecánica, Diseño y cálculo de una máquina de inyección de termo ,

- Silva Ricaurte Luis, 1989, págs. # 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77.
- 8.- Escuela Superior Politécnica del Litoral, Kreith F., Principi de transferencia de calor, primera parte, págs: # 141, 148, 149, 150.
- 9.- EDN - Estireno Do Nordeste S.A., (Sao Paulo, Brazil; curso de actualización 1991).