



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA PRODUCTIVO PARA  
PRODUCIR BOLSAS DE POLIETILENO DE BAJA  
DENSIDAD”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA MECÁNICA ELECTRICISTA**

**Y DE**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**ÁREA: INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PRESENTA:**

**VANESSA HUERTA GONZALEZ**

**Y**

**GONZÁLO JESÚS SÁNCHEZ VALENCIA**

**ASESOR:**

**ING. FRANCISCO RAÚL ORTIZ GONZÁLEZ**



**SAN JUAN DE ARAGÓN, EDO. DE MÉXICO, 2013.**

---



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

*VANESSA HUERTA GONZÁLEZ*

*Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero*

*Agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la  
realización del presente trabajo.*

*A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr  
mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

*A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy yo. Por estar presentes  
siempre con un apoyo incondicional durante este tiempo. Por ser mi fortaleza en los  
momentos de debilidad. Por los valores que me han inculcado y por haberme dado la  
oportunidad de tener una excelente educación. Por haber creído en mí en todo momento  
que este logro están mío como de ustedes por que sin ustedes esto no hubiera sido  
posible ¡ya soy ingeniera!*

*A mi hermano Oscar por que aunque no te hayas dado cuenta eres un gran ejemplo de  
un hermano mayor y del cual aprendí aciertos en momentos difíciles. Ya que eres una  
persona que se fija sus propias metas y persevera para alcanzarlas.*

*Agradezco de manera especial y sincera al Ing. Francisco Raúl Ortiz González, por  
aceptar el haber sido mi asesor en la elaboración de esta tesis, su apoyo y su confianza  
así también como su disponibilidad y paciencia.*

*Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la  
realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.*

---

GONZALO JESÚS SÁNCHEZ VALENCIA

*Estos pensamientos son para todas aquellas personas que con una sola palabra, un pensamiento o un buen deseo lograron hacer posible este proyecto el cual se los dedico con mucho cariño a:*

*Dios, por todos los momentos felices llenos de bendiciones y buenos deseos a un en los momentos difíciles él siempre ha estado ahí cuando más los necesitamos dándonos un consejo o un aliento de fe y esperanza.*

*Mis padres, por darles la alegría de ser padres por primera vez y compartir buenos momentos todos los días, superando como familia aquellas pruebas difíciles que ha puesto la vida, por dedicarme su tiempo, por cuidarme y dándome buenos consejos lo cual hoy me hace defenderme de la vida.*

*Mi hermano, por todos los consejos, el apoyo como hermano menor que a veces no me daba cuenta el cómo ser una persona comprometida, también por los buenos recuerdos que hemos tenido desde que éramos niños y que siempre existirá.*

*Mi esposa, la cual tuve la fortuna de haberla conocido ya que ella es quien me dio la felicidad de llevar la palabra esposo y próximamente padre, por todos sus consejos que me han ayudado a defenderme de la vida, a superar mis miedos, a seguir adelante.*

*Mis profesores que me han acompañado y que siempre creyeron en mis desde que era un niño explicándome todos sus conocimientos lo cual plasmo en este proyecto.*

*Ing. Francisco Raúl Ortiz, por todo este tiempo que nos ha dedicado sus conocimientos, amistad y comprensión con el objetivo de presentar este proyecto, lo cual significa un triunfo y un gran reconocimiento para todos.*

*Mi abuelita, por todas las atenciones que tuvo desde que era un niño, el día de hoy me da gusto verla llena de felicidad superando todos los momentos que fueron difíciles con el apoyo de toda la familia.*

Gracias

---

INTRODUCCIÓN.....	I
CAPÍTULO I LOS PLÁSTICOS	
I.I DEFINICIONES GENERALES.....	2
I.II HISTORIA.....	3
I.II.I CARACTERÍSTICAS.....	5
I.III LOS PLÁSTICOS A NIVEL MUNDIA.....	9
I.IV LOS PLÁSTICOS EN MÉXICO.....	13
I.IV.I LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN.....	18
I.V COMPOSICIÓN DE LA BASURA EN MÉXICO.....	21
I.V.I ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO, DISPOSICIÓN FINAL Y DESTRUCCIÓN EN MÉXICO.....	23
CAPITULO II PROPIEDADES MECÁNICAS	
II.I. GENERALIDADES.....	29
II.II PROPIEDADES MECÁNICAS.....	29
II.II.I ELONGACIÓN.....	31
II.II.II COMPORTAMIENTO ELÁSTICO.....	33
II.II.III VISCOELASTICIDAD.....	35
II.II.IV DEFORMACIONES PERMANENTES.....	38
II.II.V COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA....	41

**CAPÍTULO III EL POLIETILENO**

III.I ANTECEDENTES.....	47
III.II CARACTERÍSTICAS.....	48
III.III ESTRUCTURA FÍSICA.....	52
III.IV CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES.....	52
III.V ESTRUCTURA FÍSICA Y QUÍMICA	
III.V.I ESTRUCTURA QUÍMICA.....	57
III.V.II ESTRUCTURA FÍSICA.....	58
III.VI ORIGEN DEL POLIETILENO.....	59

**CAPÍTULO IV DISEÑO DEL SISTEMA PRODUCTIVO**

IV.I CONCEPTOS TEÓRICOS.....	70
IV.I.I CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS EN BASE A SU PROCESO.....	71
IV.II PROCESO DE EXTRUSIÓN CONVENCIONAL.....	72
IV.II.I DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINARIA DE EXTRUSIÓN	
IV.II.II TOLVA.....	73
IV.II.III BARRIL O CAÑÓN.....	74
IV.II.IV HUSILLO.....	75
IV.II.V CILINDROS.....	76

IV.II.VI CONTROL DE LA TEMPERATURA EN LOS CILINDROS.....	78
IV.II.VII SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL CILINDRO.....	78
IV.II.VIII EL MOTOR.....	78
IV.II.IX EL CABEZAL Y EL PLATO ROMPEDOR.....	79
IV.III DIAGRAMA HOMBRE MÁQUINA.....	84
IV.III.I REALIZACIÓN DEL PROCESO POR LA MÁQUINA.....	86
IV.IV DISEÑO DEL SISTEMA.....	87
IV.IV.I PRONÓSTICO.....	91
IV. V DISTRIBUCIÓN DE PLANTA.....	95
IV. V.I DISTRIBUCIÓN DE LA NUEVA PLANTA.....	96
CONCLUSIONES.....	99
ANEXO.....	101
BIBLIOGRFÍA.....	105

En la primera década del siglo XX, en el ambiente de los sistemas productivos ocurrió una verdadera revolución ya que en el año de 1860 difícilmente se pensó en el reto que podría significar la competencia, la calidad y la globalización de productos y servicios

El polietileno es la materia prima más económica dentro del ramo de los plásticos debido a que en su obtención a partir del fraccionamiento del petróleo involucra un menor número de pasos en relación al polipropileno, lo que implica una menor cantidad de energía utilizada en su síntesis, induciendo un menor precio de los empaques en el mercado.

A continuación se describirán los aspectos principales en los que se encuentran comprendidos los capítulos de este trabajo:

El primer capítulo menciona los aspectos principales de los plásticos desde sus orígenes hasta sus principales aplicaciones.

El segundo capítulo presenta los polímeros por los que se constituyen los plásticos sus orígenes y sus tipos principalmente esto nos ayuda a entender la formación de los plásticos.

El tercer capítulo hace referencia sobre el polietileno donde nos enfocamos a sus orígenes y aplicaciones lo que nos lleva a hacer un trabajo sobre este polímero.

El cuarto capítulo con el sistema productivo para la fabricación de bolsas de polietileno de baja densidad, se realiza la distribución de planta, con la finalidad de optimizar las líneas de producción, sus balances de producción considerando los tres turnos de producción.

# CAPÍTULO I

## LOS PLÁSTICOS

**OBJETIVO:**

Conocer los orígenes que dieron inicio a la fabricación de los plásticos, así como su evolución, lo cual los ha llevado a tener propiedades definidas de acuerdo al tipo de plástico: lo cual nos lleve a conocer mejor el significado de los plásticos en forma más general.

Así mismo, la importancia de los plásticos a nivel mundial conociendo los principales países y empresas productoras. También es importante conocer su consumo a nivel nacional y las medidas que actualmente se están utilizando para evitar la contaminación.

**I.1 DEFINICIONES GENERALES**

Para conocer de forma más general el término “plásticos”, es necesario conocer la opinión de varios autores, los cuales atienden la temática que presenta este capítulo:

Ramos, 2007, menciona “son sustancias sintéticas de diferente estructura macromolecular, ya que está constituido por gran cantidad de moléculas de hidrocarburos, alcoholes y demás compuestos orgánicos, es decir el plástico es una sustancia orgánica dada su cantidad de carbono entre sus numerosas moléculas”.

Ernesto Ureta Barrón, 2005, señala que “son sustancias de similares estructuras que carecen de un punto fijo de evaporación y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones”.

Schwarz Otto, 2002, reitera que “se denominan plásticos a un gran número de productos de origen orgánico y alto peso molecular, que son sólidos en su estado definitivo flexibles de ellos, resistentes, poco pesados y aislantes del calor.

Dadas los conceptos anteriores definimos que el término Plástico, se aplica a las sustancias de distintas estructuras y naturalezas que carecen de un punto fijo de ebullición y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones.

La palabra plástico se usó originalmente como adjetivo para denotar un cierto grado de movilidad y facilidad para adquirir cierta forma, sentido que se conserva en el término plasticidad. Los plásticos son sustancias formadas por macrocélulas orgánicas llamadas polímeros se hallan presentes en estado natural en algunas sustancias vegetales y animales como el caucho, la madera y el cuero.

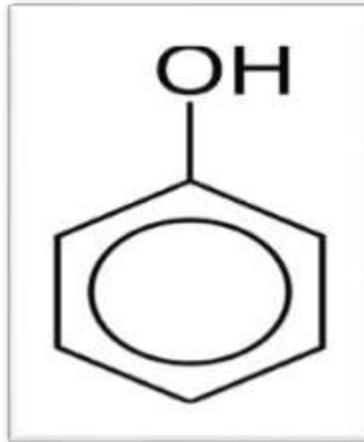
Así que la palabra plástico es una forma de referirse a materiales sintéticos capaces de entrar en un estado plástico.

## **I.II HISTORÍA**

El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860, cuando Phelan and Collander fabricante estadounidense de bolas de billar, ofreció una recompensa de 10.000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural, destinado a la fabricación de bolas de billar.

Una de las personas que compitieron fue el inventor norteamericano Wesley Hyatt, quien desarrolló un método para procesar a presión la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de alcohol como disolvente.

En 1909, el químico norteamericano de origen Belga Leo Hendrik Baekeland (1863-1944) sintetizó un polímero de interés comercial, a partir de moléculas de fenol y formaldehído ( Ver figural.I) Este producto podía moldearse a medida que se formaba y resultaba duro al solidificar.



FUENTE: [HTTP://WWW.SABELOTODO.ORG/QUIMICA/FENOLES.HTML](http://www.sabelotodo.org/quimica/fenoles.html)

**FIGURA: I.I MOLECULA DE FENOL**

No conducía la electricidad, era resistente al agua y los disolventes, y fácilmente mecanizable. Se lo bautizó con el nombre de bakelita, el primer plástico sintético de la historia. Baekeland nunca supo que, en realidad, lo que había sintetizado era lo que hoy conocemos con el nombre de copolímero.

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros.

En la década de los 30's químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE) (Ver figura I.II). Sin embargo otros autores mencionan que el descubrimiento del polietileno fue en la década de los 50's. donde aparece el polipropileno (PP).



FUENTE: [HTTP://WWW.MANUNCIOS.COM.MX/IMAGEN/VENTA-DE-SCRAP-RESINAS-DE-PLASTICO.POLIETILENO](http://www.manuncios.com.mx/imagen/venta-de-scrap-resinas-de-plastico-poli-etileno)

**FIGURA: I.II RESINAS DE POLIETILENO**

## **I.II CARACTERÍSTICAS**

Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico.

Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas (se ablandan con el calor), mientras que las entrecruzadas se endurecen con el calor). las moléculas lineales son mucho más fuertes que las ramificadas. La mayor parte de los plásticos que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas.

Un punto relevante del plástico radica en que es un material de diseño y construcción entre otros atributos es uno de los polímeros más importantes en el mercado

Si bien existen más de cien tipos de plásticos, los más comunes son sólo seis, los cuales se muestran en la siguiente tabla (Ver tabla I.I), donde se identifica con un número dentro de un triángulo a los efectos de facilitar su clasificación para el reciclado, ya que las características diferentes de los plásticos exigen generalmente un reciclaje por separado.

TIPO / NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	USOS / APLICACIONES
 <p><b>PET</b> Polietileno Tereftalato</p>	<p>Se produce a partir del Ácido Tereftálico y Etilenglicol, por poli condensación; existiendo dos tipos: grado textil y grado botella. Para el grado botella se lo debe post condensar, existiendo diversos colores para estos usos.</p>	<p>Envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, frascos varios (mayonesa, salsas, etc.). Películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera (productos alimenticios), envases al vacío, bolsas para horno, bandejas para microondas, cintas de video y audio, geotextiles (pavimentación /caminos); películas radiográficas.</p>
 <p><b>PEAD</b> Polietileno de Alta Densidad</p>	<p>El polietileno de alta densidad es un termoplástico fabricado a partir del etileno (elaborado a partir del etano, uno de los componentes del gas natural). Es muy versátil y se lo puede transformar de diversas formas: Inyección, Soplado, Extrusión, o Roto moldeó.</p>	<p>Envases para: detergentes, lavandina, aceites automotor, shampoo, lácteos, bolsas para supermercados, bazar y menaje, cajones para pescados, gaseosas y cervezas, baldes para pintura, helados, aceites, tambores, caños para gas, telefonía, agua potable, minería, drenaje y uso sanitario, macetas, bolsas tejidas.</p>
 <p><b>PVC</b> Cloruro de Polivinilo</p>	<p>Se produce a partir de dos materias primas naturales: gas 43% y sal común (*) 57%.</p> <p>Para su procesado es necesario fabricar compuestos con aditivos especiales, que permiten obtener productos de variadas propiedades para un gran número de aplicaciones. Se obtienen productos rígidos o totalmente flexibles (Inyección - Extrusión - Soplado).</p>	<p>Envases para agua mineral, aceites, jugos, mayonesa. Perfiles para marcos de ventanas, puertas, caños para desagües domiciliarios y de redes, mangueras, para medicamentos, pilas, juguetes, envolturas para golosinas, películas flexibles para envasado (carnes, fiambres, verduras), film cobertura, cables, papel vinílico.</p>

 <p><b>PEBD</b> <b>Polietileno de Baja Densidad</b></p>	<p>Se produce a partir del gas natural. Al igual que el PEAD es de gran versatilidad y se procesa de diversas formas: Inyección, Soplado, Extrusión y Roto moldeo.</p> <p>Su transparencia, flexibilidad, tenacidad y economía hacen que esté presente en una diversidad de envases, sólo o en conjunto con otros materiales y en variadas aplicaciones.</p>	<p>Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc. Películas para: Agro (recubrimiento de Acequias), embasamiento automático de alimentos y productos industriales (leche, agua, plásticos, etc.). Streech film, base para pañales descartables. Bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos. Tubos y pomos (cosméticos, medicamentos y alimentos), tuberías para riego.</p>
 <p><b>PP</b> <b>Polipropileno</b></p>	<p>El PP es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso. El PP es un plástico rígido de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y de más baja densidad. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.), se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería.</p>	<p>Película/Film (para alimentos, snacks, cigarrillos, chicles, golosinas, indumentaria). Bolsas tejidas (para papas, cereales). Envases industriales (Big Bag). Hilos cabos, cordelería. Caños para agua caliente. Jeringas descartables. Tapas en general, envases. Bazar y menaje. Cajones para bebidas. Baldes para pintura, helados. Potes para margarina. Fibras para tapicería, cubrecamas, etc.</p>
 <p><b>PS</b> <b>Poliestireno</b></p>	<p>PS Cristal: Es un polímero de estireno monómero (derivado del petróleo), cristalino y de alto brillo. PS Alto Impacto: Es un polímero de estireno monómero que le confiere alta resistencia al impacto. Ambos PS son fácilmente moldeables a través de procesos de: Inyección, Extrusión/Termo formado,</p>	<p>Potes para lácteos (yogurt, postres, etc.), helados, dulces, etc. Envases varios, vasos, bandejas de supermercados y rotiserías. Heladeras:</p> <p>Contrapuestas, máquinas de afeitar descartables. Bazar: platos, cubiertos, bandejas, etc. Juguetes, etc.</p>

FUENTE: PLÁSTICOS

TABLA I.I PRINCIPALES TIPOS DE PLÁSTICOS

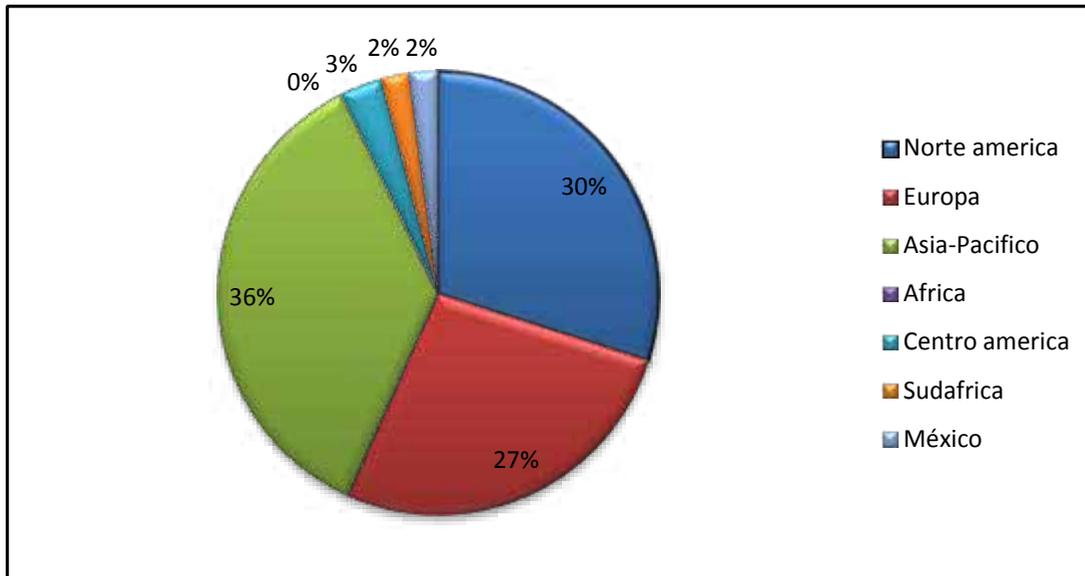
**I.III LOS PLÁSTICOS A NIVEL MUNDIAL**

El sector del plástico y sus manufacturas resulta ser uno de los sectores más competitivos en el mundo actual, particularmente con el surgimiento de nuevos productores como China e India a los cuales se está desplazando la producción (e incluso últimamente el diseño) desde los países desarrollados. Algo similar ocurre en el ámbito europeo con la ampliación de la Unión Europea ya que la producción de los países industriales se está moviendo hacia los nuevos socios en busca de mano de obra más barata.

La internacionalización de sus actividades, para muchos transformadores de la industria plástica, representa una prioridad. Los consumidores finales con representación global quieren proveedores que estén presentes en el mundo entero y que, por tanto, estén en condiciones de proveer el mismo producto con el mismo estándar de calidad en cualquier lugar. Las fábricas distribuidas a lo largo del planeta de las grandes terminales automotrices, las fábricas de artículos electrónicos, aparatos de telecomunicaciones, infraestructura de abastecimiento y disposición, materiales de empaque y bienes de consumo, forzan a los transformadores de plástico a elegir a sus propias plantas industriales en los grandes mercados extranjeros, para así abastecer localmente a los clientes.

Para conservar su competitividad, los fabricantes de plástico siguen reaccionando con enormes esfuerzos en dirección a la reconfiguración de vías de distribución, reestructuraciones, fusiones y adquisiciones. Para alcanzar estándares unificados de calidad de producto y, al mismo tiempo, producir de manera competitiva, los fabricantes intentan alcanzar una óptima condición de costos utilizando tecnología de procesos ultramoderna en instalaciones grandes y de escala mundial. Los principales países productores de plástico a nivel mundial son (Ver figura I.III)

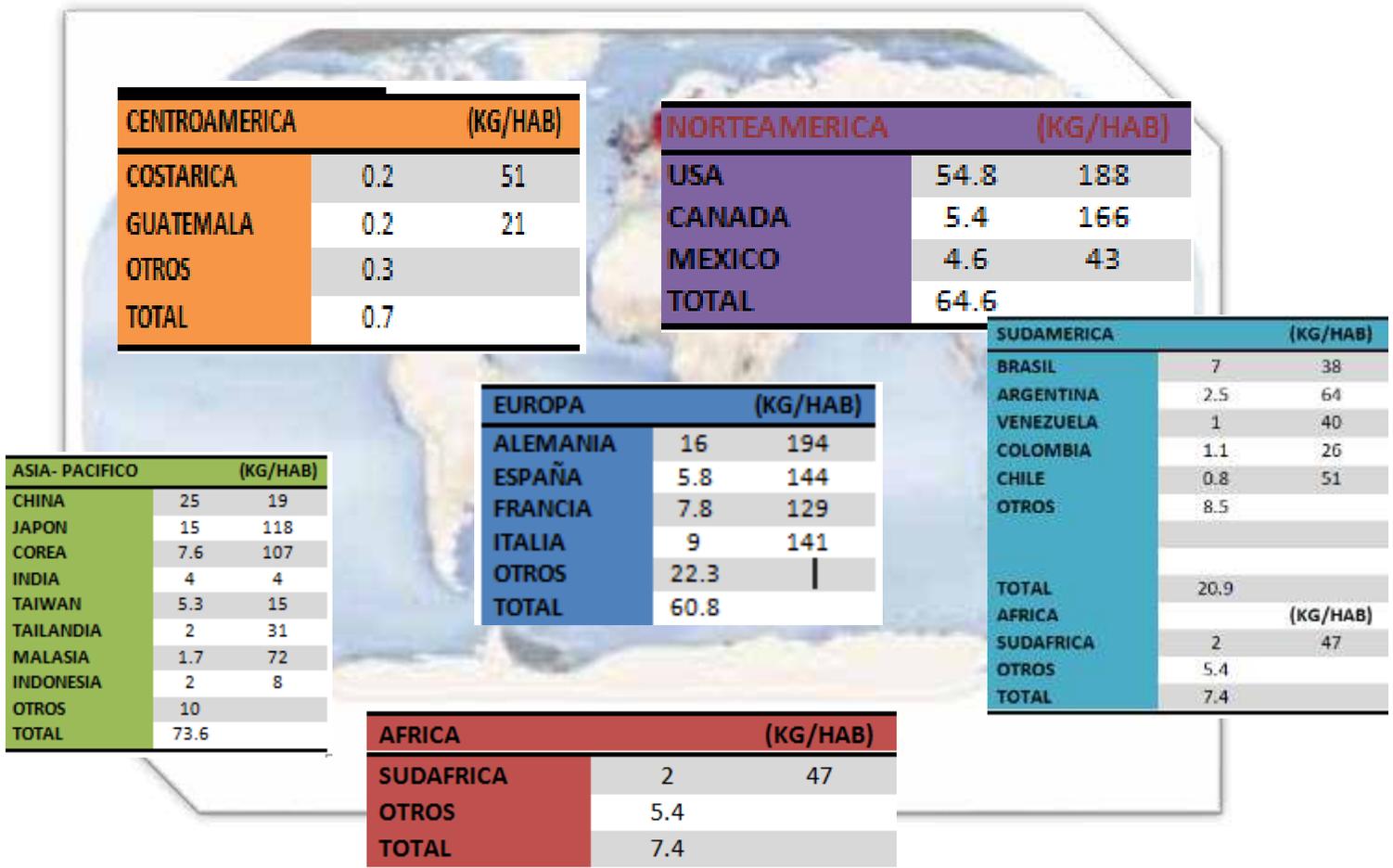
- BASF(ALEMANIA)
- DOW CHEMICAL(EUA)
- INEOSGroup (Reino Unido)
- LYON DELL BASELL(HOLANDA)
- SABIC (ARABIA SAUDITA)
- DUPONT (EUA)
- OTAL (FRANCIA)
- FORMOSA PLASTICS GROUP (TAIWAN/AUSTRALIA)
- BAYER (ALEMANIA)



FUENTE: INGENIERÍA DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS 2010

FIGURA I.III PAÍSES PRODUCTORES DE PLÁSTICOS

En países industrializados el consumo per cápita de polímeros es notablemente mayor que en los países en vías de desarrollo, convirtiéndose de esta forma en un parámetro del desarrollo de una nación. En la figura I.IV se muestra el consumo mundial de plásticos por país y consumo per cápita



FUENTE: [HTTP://ES.SCRIBD.COM/DOC/22621358/INTRODUCCIÓN-A-LA-INGENIERÍA-DE-POLÍMEROS](http://es.scribd.com/doc/22621358/introduccion-a-la-ingenieria-de-polimeros)

FIGURA I.IV CONSUMO MUNDIAL DE PLÁSTICOS POR PAÍS Y CONSUMO PER CÁPITA

Los Estados Unidos es uno de los países con mayor actividad en el sector industrial generando cerca de 321 millones de dólares anuales en ventas, y abarca mercados de diferentes sectores como el empaque y la construcción entre otros.

En el caso de Francia, la industria del plástico generó 24,390 millones de euros, siendo la sexta economía en este sentido. En la figura I.V se muestra el consumo de plásticos (millones de toneladas) y crecimiento por país.

	<b>Pais</b>	<b>Consumo</b>	<b>Crecimiento 2006</b>
1	USA	54.6	2
2	CHINA	25	18
3	ALEMANIA	16	2
4	JAPON	15	4
5	ITALIA	9	3
6	FRANCIA	7.8	4
7	COREA	7.6	8
8	BRASIL	7	8
9	ESPAÑA	5.8	3
10	CANDA	5.4	6
11	TAIWAN	5.3	15
12	MEXICO	4.5	3
13	INDIA	4	16
14	ARGENTINA	2.5	6
15	INDONESIA	2	10

	<b>Pais</b>	<b>Consumo</b>	<b>Crecimiento 2006</b>
16	TAILANDIA	2	7
17	SUDAFRICA	2	5
18	MALASIA	1.7	3
19	COLOMBIA	1.1	5
20	VENEZUELA	1	1
21	CHILE	0.8	15
22	COSTARICA	0.2	15
23	GUATEMALA	0	3
24	OTROS	60.5	5

FUENTE: [HTTP://ES.SCRIBD.COM/DOC/22621358/INTRODUCCIÓN-A-LA-INGENIERÍA-DE-POLÍMEROS](http://es.scribd.com/doc/22621358/introducción-a-la-ingeniería-de-polímeros)

**FIGURA I.V CONSUMO DE PLÁSTICOS (MILLONES DE TONELADAS) Y CRECIMIENTO POR PAÍS EN EL 2006**

**I.IV LOS PLÁSTICOS EN MÉXICO**

México ha duplicado su economía a partir del inicio del nuevo milenio (año 2000) se ha convertido en la economía más grande de América latina las empresas vinculadas al mercado de exportaciones muestran los mayores crecimientos en promedio ya que el motor de crecimiento de la economía mexicana seguirá siendo la exportación.

El capital extranjero está presente en la industria del país, donde los Estados Unidos de America (EUA) quedan con un 73% seguido de Alemania 8.42% suiza 4% y Francia 3.66% principalmente.

La industria de los plásticos está formado por sectores tales como: la industria petroquímica fabricante de resinas y aditivos y la industria manufacturera transformadora de productos plásticos. El fabricante de resinas constituye el último eslabón de una de las cadenas productivas de la petroquímica.

Los transformadores de plástico reciben más del 60 % de sus insumos primarios de la empresa paraestatal “Petróleos Mexicanos” (Pemex). Entre las inversiones de este organismo está la construcción de una planta de polietileno de escala mundial en el sur de el estado de Veracruz (Ver figura I.VI) con la que se reducirán hasta 38% las inversiones de polietileno lineal. La tecnología proviene de Mitsubishi Hezveri Industries, quien firmó contrato con Pemex para construir la planta. Por el gobierno federal la decisión de construir esta planta por el gobierno federal hace que México importe un millón de toneladas de polietileno al año.



*FUENTE: WWW EL UNIVERSAL*

**FIGURA I.VI PLANTA DE VERACRUZ**

México un país con tecnología, altas reservas de crudo, gas natural y un tamaño importante de mercado para petroquímicos; absurdamente depende de importaciones para abastecer el mercado creciente de la industria de los plásticos, manejando precios internacionales cuando la industria necesita precios preferenciales, como se manejan en diferentes países de primer mundo. Increíblemente el poder legislativo y ejecutivo de nuestro país no se pone de acuerdo para realizar las modificaciones que necesitan las leyes en materia, y simplemente estamos perdiendo competitividad en los mercados nacionales e internacionales, esperamos que los cambios no lleguen tarde y sea inútil el proceso, en el que la industria empieza a agonizar.

La falta de disponibilidad de insumos petroquímicos competitivos, como el gas natural y derivados como el etanol, los derivados de refinación (naftas y propileno) y el suministro de energía eléctrica son deficiente además tiene uno de los precios más

altos del mundo. Las oportunidades en los mercados, por el pago de los insumos no es el adecuado.

Las resinas plásticas de mayor consumo en el país son (Ver figura I.VII).

- ✓ Termoplásticos
- Polietileno de baja densidad (PEBD) - 20.2
- Polietileno de alta densidad (PEAD) - 17.95%
- Polipropileno (PP) - 17.77%
- Polietilentereftalato (PET) - 11.97%
- Cloruro de polivinilo (PVC) - 10.15%
- Poliestireno (PS) - 9.38%



FUENTE: [HTTP://WWW.GOOGLE.COM.MX/IMGRES?Q=POLIETILENO+DE+BAJA+ALTA+DENSIDAD](http://www.google.com.mx/imgres?q=polietileno+de+baja+alta+densidad)

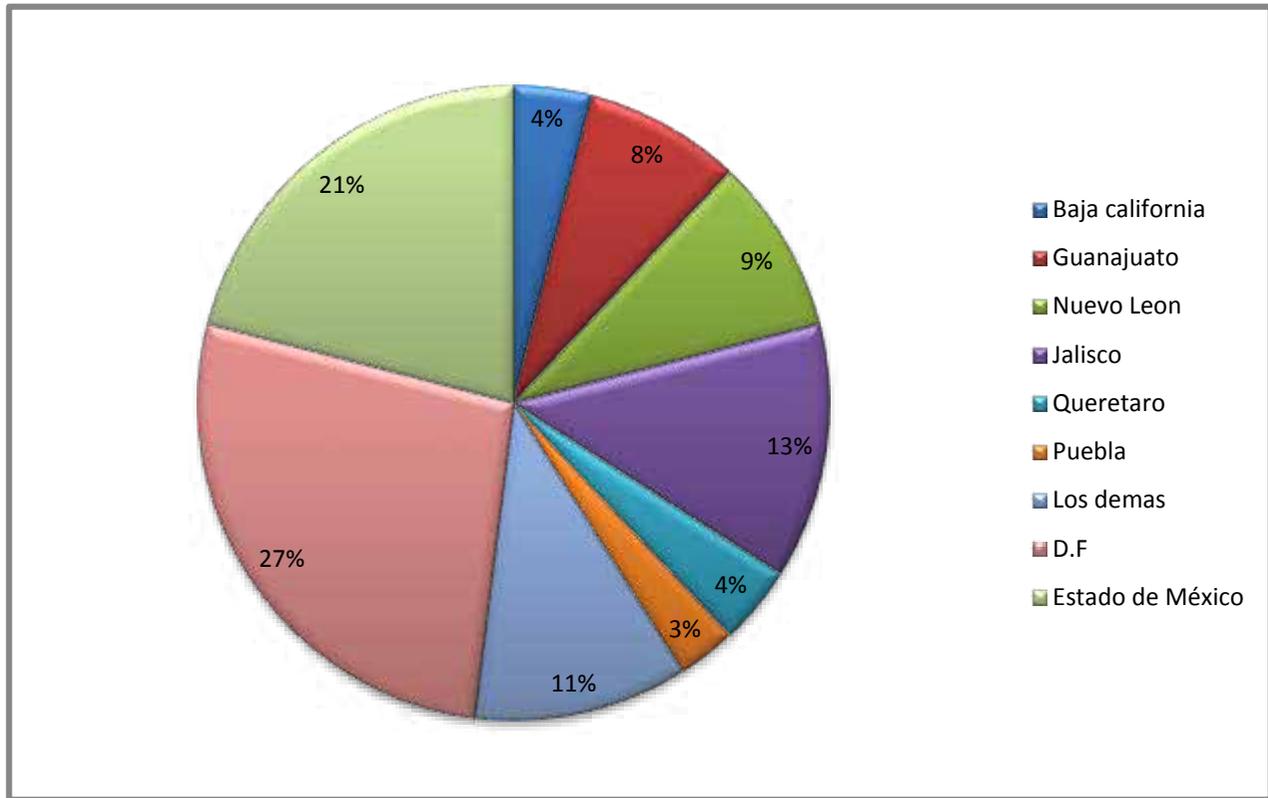
FIGURA: I.VIII RESINAS DE MAYOR CONSUMO EN EL PAÍS

## Termofijas

- Emulsiones de Acetato de polivinilo PVA y Acrílicas (3.18%)
- Poliuretanos (1.69%)
- Resinas Alcídicas (2.95%)
- Fenol – Formaldehído (0.44%)
- Fenol – Fumaricas (0.04%)
- Melamina – formaldehído (0.16%)
- Maleicas (0.19%)
- Poliéster (1.69%)
- Urea – formaldehído (0.55%).

En 1999, el consumo de plásticos en México era de 32 Kilogramos(Kg). Por habitante/año, cantidad reducida en comparación de nuestros principales socios comerciales; EUA con 186 Kg.; Canadá con 168 Kg; Alemania con 194 kg.Sin embargo, el consumo de plásticos va en aumento, como lo muestran los últimos datos (Ver figura I.IX) que refieren a un consumo de 46 kg por habitante al año y eso implica un crecimiento de la actividad industrial de este sector.

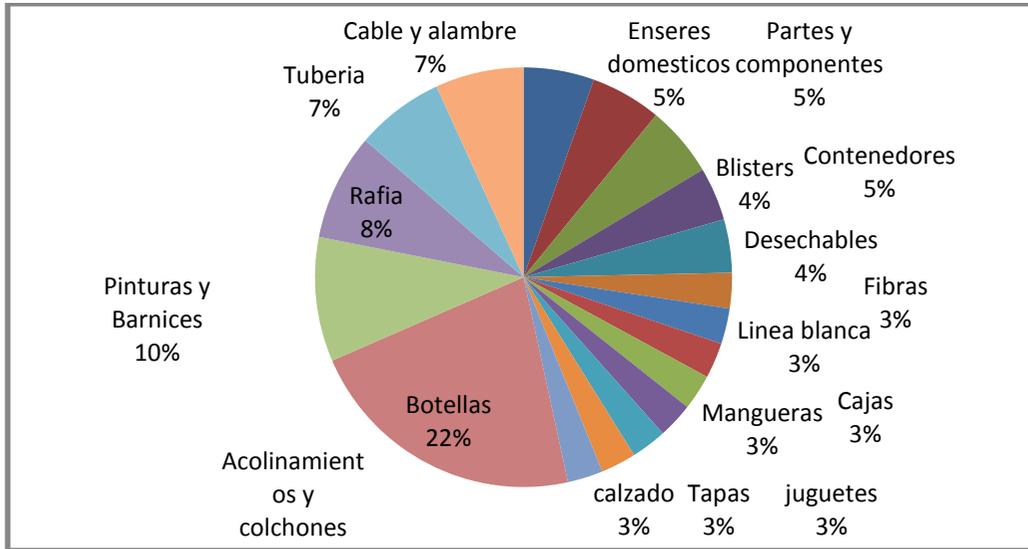
En México existe una gran diferencia entre la demanda de plásticos y las compañías que generan la tecnología para la transformación (fabricantes de resinas, de aditivos, de maquinaria, de equipos periféricos, de moldes, etc.) aumentando la distancia que existe entre nuestro país y las grandes potencias económicas, ya que la mayor parte de las resinas y prácticamente todo el equipo para la transformación tendrá que importarse del extranjero, creando un déficit de tecnológico, económico y social



FUENTE: CENTRO EMPRESARIAL DEL PLÁSTICO 2011

**FIGURA I.IX PRINCIPALES ESTADOS FABRICANTES DE PLÁSTICO**

EN LA FIGURA I.X se muestran los Tipos de productos. Que impactan al 80% del consumo de plásticos en la República Mexicana siendo la película para empaques termoformados el producto de mayor consumo.



FUENTE: [HTTP://ES.SCRIBD.COM/DOC/22621358/INTRODUCCION-A-LA-INGENIERÍA-DE-POLÍMEROS](http://es.scribd.com/doc/22621358/introduccion-a-la-ingenieria-de-polimeros)

FIGURA I.X PRODUCTOS DE PLÁSTICO QUE IMPACTAN CON EL 80% DEL CONSUMO

### LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN

Se estima que en el proceso de transformación de petroquímicos básicos, la industria del plástico aumenta un valor agregado en más de 50 veces como producto terminado que como petróleo. La industria manufacturera de plásticos cuenta con alrededor de 4500 empresas. De las cuales 84% corresponden a la micro y pequeña industria.

La industria de transformación tiene un problema grande de competitividad, debido al deterioro de la participación en los mercados tradicionales regionales, en las exportaciones y en el acelerado crecimiento de las importaciones de productos terminados. Las empresas que se anticiparon a modernizar no sólo el equipo de transformación sino el personal que labora en ellas, pudieron consolidarse y actuar en nuevos mercados, con una cultura de competitividad global en el mercado de calidad

total. En la tabla (Ver tabla I.II) se puede apreciar los principales procesos de transformación utilizados en la industria de los plásticos.

proceso de transformación	1994(%)	2004(%)
inyección	49	25
Extrucción	31	42
Soplado	10	14
Otros	10	19
Total	100	100

FUENTE: J.EDUARDO MORALES.TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS

**TABLA I.II PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN**

Los procesos de transformación de los plásticos más importantes son la inyección y la extrucción. El promedio de años de uso de las máquinas en 1994 era de 20 años, mientras que en 2004 su antigüedad era de aproximadamente 10 años, esto se ve reflejado en la productividad de las empresas. En promedio un operador de una máquina inyectora de los Estados Unidos hace el doble que el operador mexicano, esta deficiencia se debe en parte a la tecnología empleada.

Actualmente, más del 80% de las empresas se clasifican como de producción en baja escala. El mercado se encuentra muy concentrado. El 20% de las empresas más grandes controlan el 70% de la producción nacional la mayoría son filiales o están asociadas con empresas transnacionales, además de registrar una alta concentración de capital en que los plásticos abarcan 80% del total del mercado nacional. En la tabla (Ver tabla I.III) se muestra que la industria de los plásticos es muy diversa ya que va

desde los envases hasta la producción de artículos médicos pasando por la industria de la construcción.

Principales procesos	Productos	Principales mercados
Extrusión	Láminas monofilamentos, Películas, perfiles, Recubrimientos, tuberías desechables, popotes, mangueras, alfombras, cables y alambres	Envases y empaques De consumo Construcción Muebles Industrial Eléctrico y electrónico Adhesivos Transportación Agrícola Médico Juguetero
Inyección	Electrodomésticos, aparatos eléctricos y electrónicos accesorios, autopartes y jeringas, piezas mecánicas, productos moldeados, enseres domésticos, juguetes, calzado, audio y video para higiene personal, desechables, artículos de oficina, conexiones, accesorios, contenedores, carcazas	
Soplado	Contenedores, botellas, tarros juguetes, enseres domésticos	
Calandrado	Láminas, recubrimientos, películas, piel sintética, impermeables, pisos, papel tapiz	
Otros (rotomoldeo, recubrimiento, espumado, vaciado)	Tinacos, concentradores, para impermeabilización, pinturas, barnices, paneles, casetones, láminas	

FUENTE J. EDUARDO MORALES. TECNOLOGIA DE LOS PLÁSTICOS

TABLA I.III RELACIÓN DE PROCESOS CONTRA PRODUCTOS

**I.V.COMPOSICIÓN DE LA BASURA EN MÈXICO**

Dado el desarrollo económico e industrial, en nuestro país se produce maquinaria, bienes de inversión y de consumo y, como consecuencia de estos procesos, se generan residuos y desechos que en conjunto producen contaminación ambiental. (Ver figura I.XI)



FUENTE: WWW REFORMA

**FIGURA: I.XI MAQUINARÍA DE RESICLAJE DE PLÁSTICO**

La basura está compuesta por varios materiales susceptibles de recuperación para ingresar nuevamente a una cadena productiva, de tal forma que no representen un problema ni un riesgo a la población y al ambiente. En la tabla I.IV se muestran los porcentajes de basura en México.

Componente	%
Desechos orgánicos	47
Papel	14
Otros	14
Plásticos	11
Materiales peligrosos	10
Metales	2
Vidrio	2

FUENTE: ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUÍMICA, AC 2011

**TABLA I.IV PORCENTAJE DE LA BASURA EN MÈXICO**

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el país en materia ambiental es el consumo del plástico. De acuerdo con el Instituto Nacional de Recicladores, A.C. En 2011, el consumo aparente en México fue de 29 kg/habitante, y se espera que para el año 2012 sea de 49 kg/habitante, considerando que los residuos plásticos al año son alrededor de 1, 121,000 Toneladas (Ton), recolectándose únicamente 12% del plástico desechado.

En general los desperdicios de plásticos están básicamente formados por:

- Polietileno de baja densidad (PEBD),
- Polietileno de alta densidad (PEAD),
- Poli cloruro de vinilo (PVC),
- Polipropileno (PP),
- Poli estireno (PS) y
- Polietilenterefalato (PET)

Los plásticos que son arrojados en la vía pública no se degradarán fácilmente por lo cual es un problema ambiental. Los desechos como tazas de poliuretano, envases para detergente entre otros son una agresión visual. Sin embargo depositados adecuadamente en un terreno sanitario, se convierten en un factor estabilizador de esos sitios. Aunque la contribución de los plásticos a la carga de desechos sólidos es alrededor de 1% en peso, su volumen general hace que sea bastante visible, y por tanto, objeto de preocupación civil. Por ello el reciclado se ha vuelto un objeto principal de la industria de los plásticos.

### I.V.I ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO, DISPOSICIÓN FINAL Y DESTRUCCIÓN EN MÉXICO

Para resolver el problema de los residuos existen diferentes alternativas, entre otras:

- **Relleno sanitario:** es un lugar legalmente utilizado donde se depositan las basuras municipales después de la clasificación o selección. Se clasifican en mecánicos y rústicos: en ambas variantes los residuos se distribuyen en 20 a 30 Centímetros (cm) de espesor y se compactan formando una celda que deberá recubrirse con una capa de tierra entre 15 y 20 cm, esparcida y compactada igual que los residuos en la siguiente figura (ver figura I.XII) se muestra como es un relleno sanitario.



FUENTE: [HTTP://TEOTIHUACANENLINEA.BLOGSPOT.MX/2011/01/GUSTAVO-CARDENAS-MONROY-ANUNCIA\\_31](http://teotihuacanenlinea.blogspot.mx/2011/01/gustavo-cardenas-monroy-anuncia_31)

FIGURA: I.XII RELLENO SANITARIO

- **Pepena:** es un sistema de clasificación mecánica y/o manual de la basura en sus diferentes componentes, tales como vidrio, metales, plásticos y otros, realizada en los llamados tiraderos a cielo abierto. Esta técnica no es muy eficiente debido a que alrededor del 30% de la basura producida se queda en barrancas, ríos y calles; mientras que del 70% que llega a los tiraderos, sólo 40% se aprovecha, debido a que el otro 30% no puede separarse por consistir en materiales destruidos y en vías de putrefacción (Ver figura)



FUENTE: [HTTP://WWW.ELUNIVERSAL.COM.MX/NACION](http://www.eluniversal.com.mx/nacion)

**FIGURA: I.XIII PEPENA**

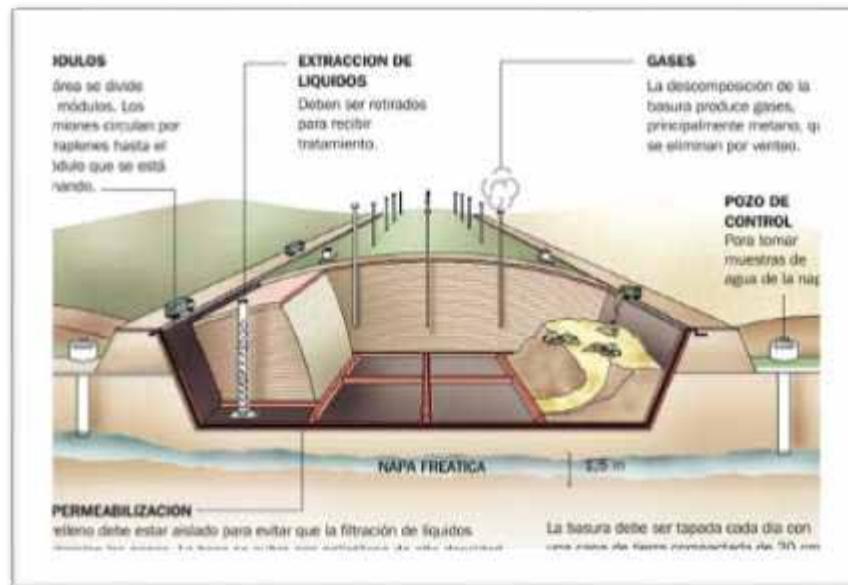
- **Compactación:** este método reduce el volumen que ocupan los residuos, con la aplicación de altas presiones ejercidas sobre ellos. Este sistema no ha dado resultado porque se ha observado que estructuralmente falla la compresión y que con el tiempo la degradación de los materiales rompe el mismo tabique. (Ver figura I.XIV )



FUENTE: [HTTP://WWW.GRUPOICOHARI.COM/FLEXUS](http://www.grupoicohari.com/flexus)

**FIGURA: I.XIV COMPACTACIÓN**

- **Destrucción:** esta técnica consiste en eliminar la mayor parte del volumen de los residuos mediante su combustión, a través de la cual se transforman los desechos en gases, cenizas y escoria, con el fin de reducir el volumen y aprovechar la energía producida en ésta. (Ver figura I.XV)



FUENTE: [HTTP://RELLENO.GALEON.COM](http://relleño.galeon.com)

FIGURA: I.XV DESTRUCCIÓN DE LOS DESECHOS

- **Reciclado:** reciclar significa que todos los desechos y desperdicios que generamos en nuestras vidas se vuelven a integrar a un ciclo natural, industrial o comercial mediante un proceso cuidadoso que permita llevarlo a cabo de manera adecuada y limpia. El reciclado se clasifica de la siguiente forma. En la figura I.XVI se muestra el proceso de reciclado.

Reciclaje primario.

Consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. El reciclaje primario se hace con termoplásticos como PET (polietilentereftalato), HDPE (polietileno de alta densidad), LDPE (polietileno de baja densidad), PP (polipropileno), PS (poliestireno) y PVC (cloruro de polivinilo). Las propiedades de los termoplásticos son la base de este reciclaje primario debido a la habilidad de los termoplásticos de refundirse a bajas temperaturas sin ningún cambio en su estructura.

Reciclaje secundario.

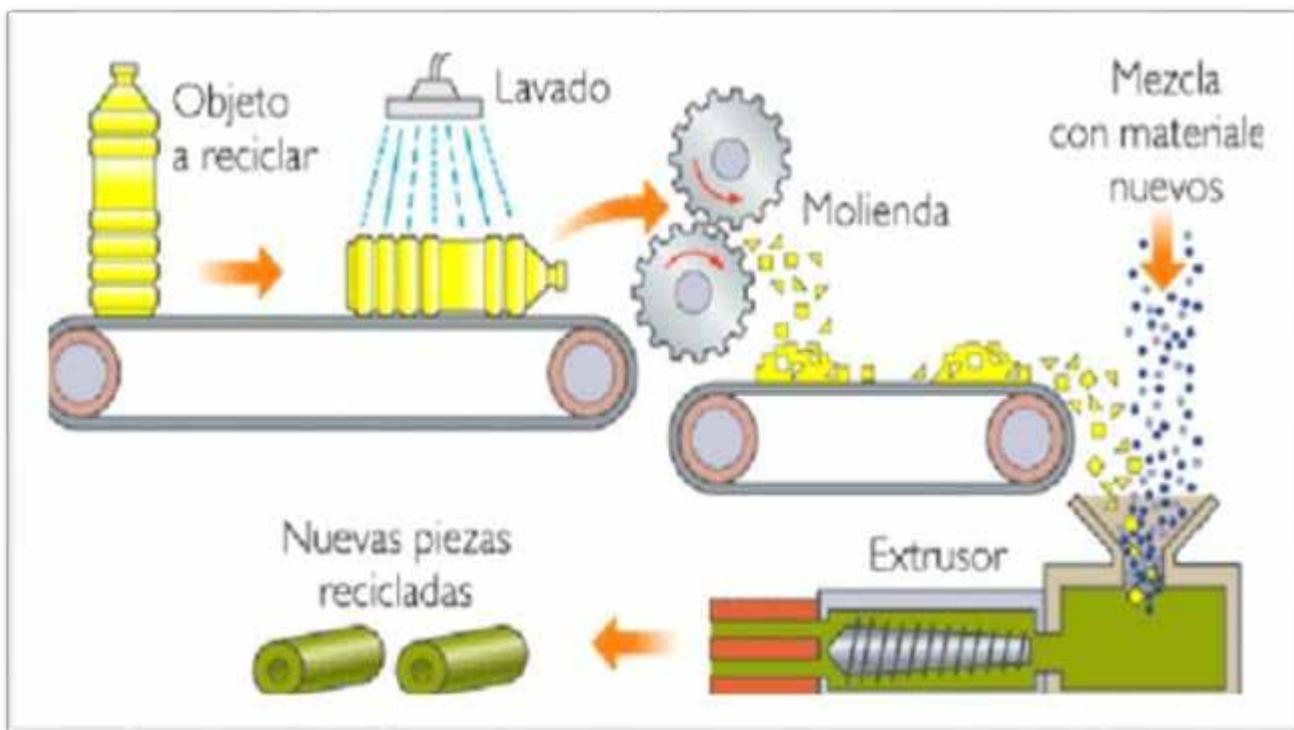
El reciclaje secundario convierte al plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original. Ejemplos de plásticos recuperados por esta forma son los termoestables o plásticos contaminados.

Reciclaje terciario.

Este tipo de reciclaje degrada el polímero a compuestos químicos básicos y combustibles. Es diferente a los dos primeros porque involucra además de un cambio físico un cambio químico. Hoy en día el reciclaje primario cuenta con dos métodos principales. Pirolisis y gasificación. En el primero se recuperan las materias primas de los plásticos, de manera que se puedan rehacer polímeros puros con mejores propiedades y menos contaminación. Y en el segundo, por medio del calentamiento de los plásticos se obtiene gas que puede ser usado para producir electricidad.

Reciclaje cuaternario.

Consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir el plástico es usado como combustible para reciclar energía. Las ventajas: mucho menos espacio ocupado en los rellenos sanitarios, la recuperación de metales y el manejo de diferentes cantidades de desechos. Sin embargo, algunas de las desventajas es la generación de contaminantes gaseosos



FUENTE: [HTTP://WWW.GOOGLE.COM.MX/IMGRES?Q=RECICLADO+PRIMARIO&UM=1&HL=ES&BIW=800&BIH=485&TB](http://www.google.com.mx/imgres?q=reciclado+primario&um=1&hl=es&biw=800&bih=485&tb)

FIGURA: I.XVI RECICLAJE

**CAPÍTULO II**  
**PROPIEDADES**  
**MECÁNICAS**

**OBJETIVO:**

Describir las propiedades de los polímeros y como afectan estas para sus determinados usos en la industria conociendo las causas que hacen que un polímero sea frágil o tenaz.

**II.I. GENERALIDADES**

Una de las características más importantes de los materiales en general, son aquellas que están relacionadas con su uso final. En este sentido el estudio de las propiedades mecánicas es una de las más interesantes, pues restringe la aplicación específica de un material así, uno con poca deformación plástica, por (Ejemplo el vidrio) difícilmente se podrá emplear como protector, como es el caso de las fascias de autos, y en vez de eso, se preferirá un material del tipo elastomérico (con una alta capacidad de absorber energía); para el caso de los materiales poliméricos (plásticos o macromoleculares), los cuales por sus características, tales como altos tiempos de relajación, morfología, temperatura de transición vítrea, etc., han presentado serias dificultades para su análisis en lo referente a sus propiedades mecánicas.

**II.II PROPIEDADES MECÀNICAS**

El peso molecular no se suele emplear para el control de las propiedades resistentes de polímeros, ya que una vez conseguida la masa molecular suficiente para que se produzca un sólido estable, no hay un aumento notable de la resistencia (Ver tabla II.I)

Propiedad	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Polietileno de baja densidad lineal (LLDPE)	Polietileno de alta densidad (HDPE)
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,92-0,93	0,822-0,926	0,95-0,96
Resistencia a la tensión, Mpa	6,2-17,2	12,4-20,0	20,0-37,2
Alargamiento%	550-600	600-800	20-120
Cristalinidad, %	65		95

FUENTE: [HTTP://WWW.UPV.ES/MATERIALES/FCM/FCM15/FCM15\\_3.HTML](http://www.upv.es/materiales/fcm/fcm15/fcm15_3.html)

**TABLA II.I MASAS MOLECULARES Y GRADOS DE POLIMERIZACIÓN DE TERMOPLÁSTICOS**

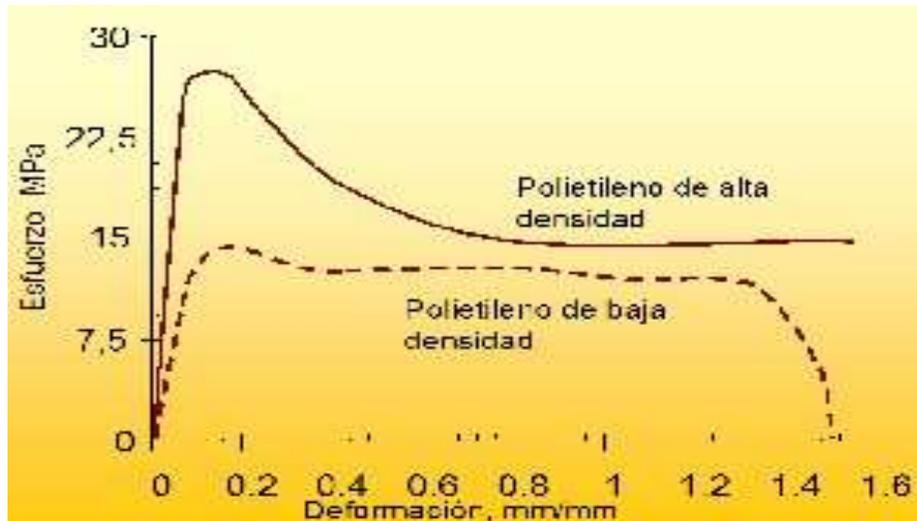
El estudio del comportamiento mecánico de los polímeros, se aplica a los conceptos de esfuerzo y deformación. Los polímeros se pueden someter a pruebas mecánicas para determinar la resistencia de tensión el porcentaje de alargamiento y la resistencia al impacto.

Los polímeros son el grupo de materiales más grande cuyas propiedades mecánicas exhiben características tanto solidas elásticas como líquidos viscosos. A estos materiales se les llama visco elástico.

El comportamiento es no newtoniano, esto quiere decir que el esfuerzo y la deformación no están relacionados linealmente para la mayor parte de la curva esfuerzo- deformación.

El comportamiento visco elástico significa que cuando a un polímero termoplástico se le aplica una fuerza externa ocurren deformaciones tanto elásticas como plásticas (viscosas).

En los termoplásticos la deformación es más complicada ya que la deformación depende a la vez del tiempo de la velocidad a la cual se aplica la carga. En la figura II.1 se muestra la gráfica de esfuerzo- deformación del polietileno de alta y baja densidad.



FUENTE: [HTTP://WWW.UPV.ES/MATERIALES/FCM/FCM15/FCM15\\_3.HTML](http://www.upv.es/materiales/fcm/fcm15/fcm15_3.html)

FIGURA II.1 ESFUERZO-DEFORMACIÓN

### II.II.I ELONGACIÓN

Para comprender mejor el término de elongación nos apoyamos en definiciones de diferentes autores que nos ayuden a comprender mejor el significado de esta palabra, lo cual citan lo siguiente.

Paul, E, Tippens, menciona: Un cuerpo elástico es aquel que recobra su tamaño y su forma originales cuando deja de actuar sobre él una fuerza deformante.

M.C. Potter señala: La elongación es un tipo de deformación ya que es simplemente el cambio en la forma que experimenta cualquier objeto bajo tensión.

Por lo cual definimos que para todos los cuerpos elásticos, conviene establecer relaciones de causa y efecto entre la deformación y las fuerzas deformantes

Por lo general, hablamos de porcentaje de elongación, que es el largo de la muestra después del estiramiento ( $L$ ), dividido por el largo original ( $L_0$ ), y multiplicado por 100.

$$\frac{L}{L_0} \times 100 = \% \text{ elongation}$$

La elongación depende del tipo de material que se está estudiando. Dos mediciones importantes son la elongación final y la elongación elástica.

La elongación final es crucial para todo tipo de material. Representa cuánto puede ser estirada una muestra antes de que se rompa. La elongación elástica es el porcentaje de elongación al que se puede llegar, sin una deformación permanente de la muestra. Es decir, cuánto puede estirarse, logrando que ésta vuelva a su longitud original luego de suspender la tensión.

Esto es importante si el material es un elastómero; los elastómeros tienen que ser capaces de estirarse y luego recuperar su longitud original. La mayoría de ellos pueden estirarse entre el 500% y el 1000% y volver a su longitud original.

**II.II.II COMPORTAMIENTO ELÁSTICO**

El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza

**MATERIALES LINEALES:** Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, y es siempre mayor que cero: si se tracciona una barra, aumenta de longitud.

Para un material elástico lineal el módulo de elasticidad longitudinal es una constante (para valores de tensión dentro del rango de reversibilidad completa de deformaciones). En este caso, su valor se define como el cociente entre la tensión y la deformación que aparecen en una barra recta estirada fabricada con el material del que se quiere estimar el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/S}{\Delta L/L}$$

Donde:

$E$  Es el módulo de elasticidad longitudinal.

$\sigma$  Es la presión ejercida sobre el área de sección transversal del objeto.

$\epsilon$  Es la deformación unitaria en cualquier punto de la barra.

**MATERIALES NO LINEALES:** Para estos materiales elásticos no-lineales se define algún tipo de módulo de Young aparente. La posibilidad más común para hacer esto es definir el módulo de elasticidad secante medio, como el incremento de esfuerzo aplicado a un material y el cambio correspondiente a la deformación unitaria que experimenta en la dirección de aplicación del esfuerzo. Lo siguiente se expresa de la siguiente manera.

$$E_{sec} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$$

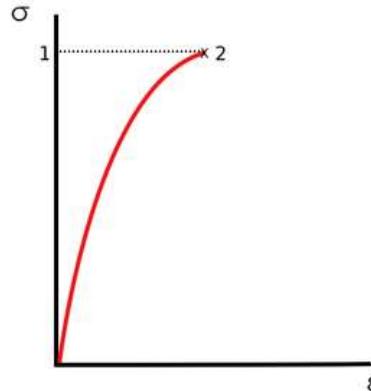
Donde:

$E_{sec}$  Es el módulo de elasticidad secante.

$\Delta\sigma$  Es la variación del esfuerzo aplicado

$\Delta\epsilon$  Es la variación de la deformación unitaria

En la figura (Ver figura II.II) se expresa el módulo de young viene representado por la tangente a la curva en cada punto para materiales como el acero resulta aproximadamente constante dentro del límite elástico



FUENTE: [HTTP://MECATRONICA4B.BLOGSPOT.MX/2011/11/DIAGRAMA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN-UNITARIA.HTMI](http://MECATRONICA4B.BLOGSPOT.MX/2011/11/DIAGRAMA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN-UNITARIA.HTMI)

**FIGURA II.II DIAGRAMA DE TENSIÓN-DEFORMACIÓN**

### II.II.III VISCOELASTICIDAD

Para comprender mejor el término de visco-elasticidad nos apoyamos en definiciones de autores que nos ayuden a comprender mejor el significado de esta palabra, lo cual citan lo siguiente.

Paul, E, Tippens, menciona: La visco-elasticidad es un tipo de comportamiento que presentan ciertos materiales que exhiben tanto propiedades viscosas como propiedades elásticas cuando se deforman.

En un sólido visco-elástico:

- la deformación generalmente depende del tiempo; aún en ausencia de fuerzas, la velocidad de deformación puede ser diferente de cero;

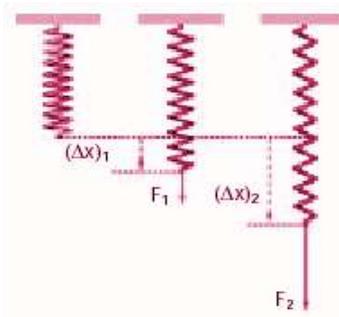
Físicamente las propiedades elásticas son el resultado de desplazar ligeramente los átomos de su posición de equilibrio a lo largo de planos cristalográficos, mientras las propiedades viscosas proceden de la difusión de átomos o moléculas en el interior del material.

M.C. Potter, señala lo siguiente: La visco-elasticidad de polímeros es el estudio de las propiedades mecánicas de los polímeros, que son materiales que presentan visco-elasticidad. Un material visco-elástico es un material que presenta tanto propiedades viscosas como elásticas. Es por ello que a los polímeros termoplásticos se les llama de forma común simplemente plástico.

La elongación en estos materiales depende no sólo de la tensión sino que depende del tiempo que ésta es aplicada. Mientras se aplica una tensión constante, la elongación incrementa lentamente, alcanzando un valor máximo de forma exponencial. La base de la explicación de este fenómeno obedece a fricciones internas en el material.

Una vez comprendido el término de visco-elasticidad, se concluye: Un material visco-elástico es un material que presenta tanto propiedades viscosas como elásticas. Es por ello que a los polímeros termoplásticos se les llama de forma común simplemente plástico.

La teoría clásica de la elasticidad considera las propiedades mecánicas de los sólidos elásticos de acuerdo con la ley de Hooke, es decir, la deformación conseguida es directamente proporcional al esfuerzo aplicado. (Ver figura II.III)



FUENTE: FÍSICA CONCEPTOS Y APLICACIONES, PAUL, E TIPPENS

FIGURA: II.III TEORÍA DE HOOKE

Por otra parte, la teoría hidrodinámica trata las propiedades de los líquidos viscosos para los que, de acuerdo con la ley de Newton, el esfuerzo aplicado es directamente proporcional a la velocidad de deformación pero independiente de la deformación misma.

Muchos sólidos elásticos dejan de seguir la relación lineal dada por la ley Hooke por encima de un cierto valor de deformación. De igual modo muchos fluidos viscosos dejan de seguir la ley de Newton por encima de un cierto valor de velocidad de deformación.

En cuanto a los materiales visco elásticos, el comportamiento es algo parecido, para deformaciones muy bajas, casi cercanas al equilibrio existe una relación lineal entre esfuerzo y deformación, encontrándose en la zona denominada como de "visco elasticidad lineal". Para deformaciones mayores, dicha relación deja de ser lineal y se alcanza la denominada zona de "visco elasticidad no lineal".

La facilidad con la que sucede esta deformación permanente o no en el termoplástico depende del comportamiento visco elástico del material. Para deformar un material se necesita un cierto porcentaje de tensión que depende del porcentaje total de deformación y de la velocidad de la deformación.

La viscosidad,  $\eta$ , se define como el cociente entre la tensión que causa el deslizamiento y el gradiente de velocidad,  $\Delta v / \Delta x$ , que nos describe la rapidez con la que unas cadenas se deslizan sobre otras.

$$\eta = \frac{\tau}{\Delta v / \Delta x}$$

Por ello si los polímeros tienen alta viscosidad requieren mayores esfuerzos para causar la deformación plástica y presentan menor deformación viscosa.

El efecto de la temperatura en la viscosidad es idéntica que en los vidrios,

$$\eta = \eta_0 \exp \frac{E_\eta}{RT}$$

Donde  $\eta_0$  = viscosidad limite y  $E_\eta$  dependen de la estructura del polímero.

Al aumentar la temperatura, el polímero es menos viscoso y se deforma más fácilmente.

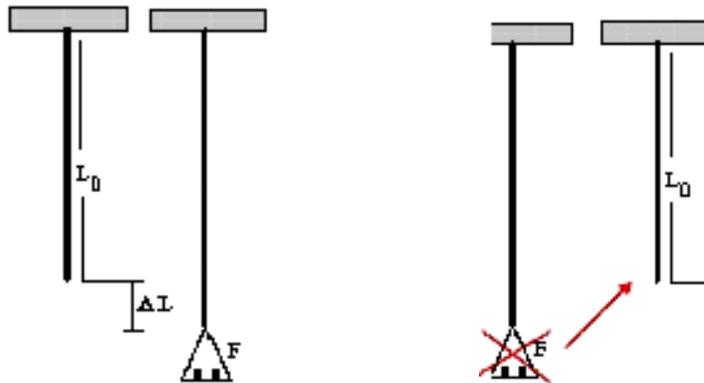
Por otro lado cuando se aplica la tensión durante un largo periodo de tiempo, presenta un flujo viscoso importante, incluso a bajas temperaturas, por lo que el termoplástico presenta alargamientos permanentes continuos

#### II.II.IV DEFORMACIONES PERMANENTES

La deformación elástica en los polímeros es debida a dos mecanismos. Un esfuerzo aplicado hace que los enlaces covalentes de la cadena principal del polímero sufren deformación elástica se estiran y se distorsionan, permitiendo el alargamiento elástico de las mismas

En el momento en que la tensión se elimina la distorsión de la cadena puede desaparecer casi instantáneamente, por lo que una fracción inicial de la curva tensión-deformación puede ser lineal y calcular de este modo de la gráfica el módulo de elasticidad de manera similar al caso de metales y cerámicos

El segundo mecanismo que tiene lugar además es cuando fragmentos de la cadena del polímero que se deforman pero al suprimir la tensión, los segmentos vuelven a sus posiciones de origen por un periodo de tiempo variable, de horas a meses. Este comportamiento dependiente del tiempo puede contribuir a algo de comportamiento elástico no lineal. (Ver figura II.IV)



FUENTE: FÍSICA CONCEPTOS Y APLICACIONES, PAUL, E TIPPENS

FIGURA: II.IV COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

Un ejemplo de lo antes mencionado sería. Si una barra de polímero de longitud unitaria se carga axialmente y se mantiene en un breve tiempo a un esfuerzo constante, se produce una deformación correspondiente, si se descarga el espécimen en este momento, se comportaría en forma elástica y no habrá un cambio permanente en la longitud, en cambio si se mantiene el esfuerzo en la barra desde  $t=0$  o hasta algún tiempo  $t=x$ , se produce un incremento adicional de la deformación.

Cuando se descarga la barra, el incremento adicional de deformación permanece como una deformación permanente se le conoce algunas veces como flujo plástico. El flujo plástico es la de formación continua de un material sujeto a un esfuerzo constante.

Si se sigue aumentando el esfuerzo la deformación unitaria aumenta rápidamente, pero al reducir el esfuerzo, el material no recobra su longitud inicial. La longitud que corresponde a un esfuerzo nulo es ahora mayor que la inicial  $L_0$ , y se dice que el material ha adquirido una deformación permanente.

El material se deforma hasta un máximo, denominado punto de ruptura. Entre el límite de la deformación elástica y el punto de ruptura tiene lugar la deformación plástica.

Si entre el límite de la región elástica y el punto de ruptura tiene lugar una gran deformación plástica el material se denomina dúctil. Sin embargo, si la ruptura ocurre poco después del límite elástico el material se denomina frágil. (Ver figura II.V)

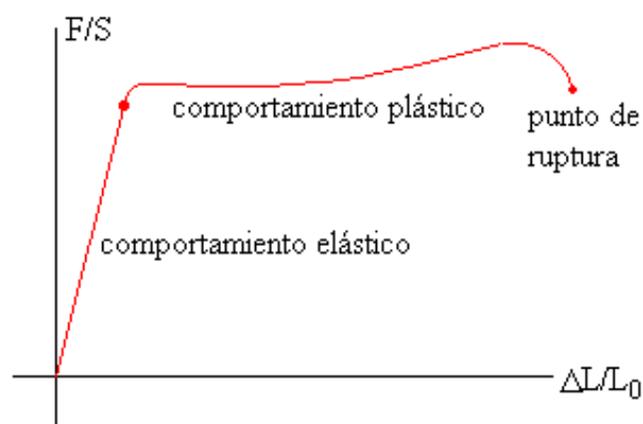


FIGURA: [HTTP://MECATRONICA4B.BLOGSPOT.MX/2011/11/DIAGRAMA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN-UNITARIA.HTML](http://MECATRONICA4B.BLOGSPOT.MX/2011/11/DIAGRAMA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN-UNITARIA.HTML)

FIGURA II.V ESFUERZO DEFORMACIÓN

**II.II.V COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA**

Las propiedades mecánicas de los termoplásticos dependen de la temperatura y la relación funcional. La Temperatura de transición vítrea (TG) es la temperatura a la que se da una seudotransición termodinámica en materiales vítreos, por lo que se encuentra en vidrios, polímeros y otros materiales inorgánicos amorfos. Forma un papel muy importante ya que es un valor de extrema importancia en ingeniería de polímeros, pues indica la temperatura de trabajo del plástico y por ende determina si un plástico concreto puede ser utilizado para una aplicación dada. Se entiende que en esa temperatura el polímero aumenta su densidad, dureza y rigidez, además su porcentaje de elongación disminuye de forma drástica. Ya que es un punto intermedio de temperatura entre el estado fundido y el estado rígido del material.

La Tg no es una temperatura a la cual específicamente ocurre el cambio de estado. A medida que se va incrementando la temperatura la deformación a la ruptura aumenta y aparece la fluencia. Luego, la elongación a la ruptura incrementa enormemente, aunque vuelve a descender cuando el material es suave, por sobre la Tg, o cercano a la temperatura de fusión de los cristales (Tm). La tensión de fluencia disminuye en la medida que aumenta la temperatura.

Por otro lado, la deformación de fluencia generalmente decrece con un incremento en la temperatura para materiales amorfos, aunque es posible encontrar el efecto opuesto en materiales semicristalinos.

El módulo, por otro lado, tiende a disminuir con el aumento de la temperatura. Aunque no es siempre aplicable. La transición ocurre realmente en una escala de temperaturas de 10 a 20 grados. (Ver figura II.VI) cuando aumenta la velocidad el módulo y la fluencia aumenta, pero la elongación a la ruptura disminuye.

---

Para materiales rígidos la velocidad afecta muy poco a las propiedades mecánicas, pero para un material dúctil el efecto puede ser importante para muchas décadas de cambio.

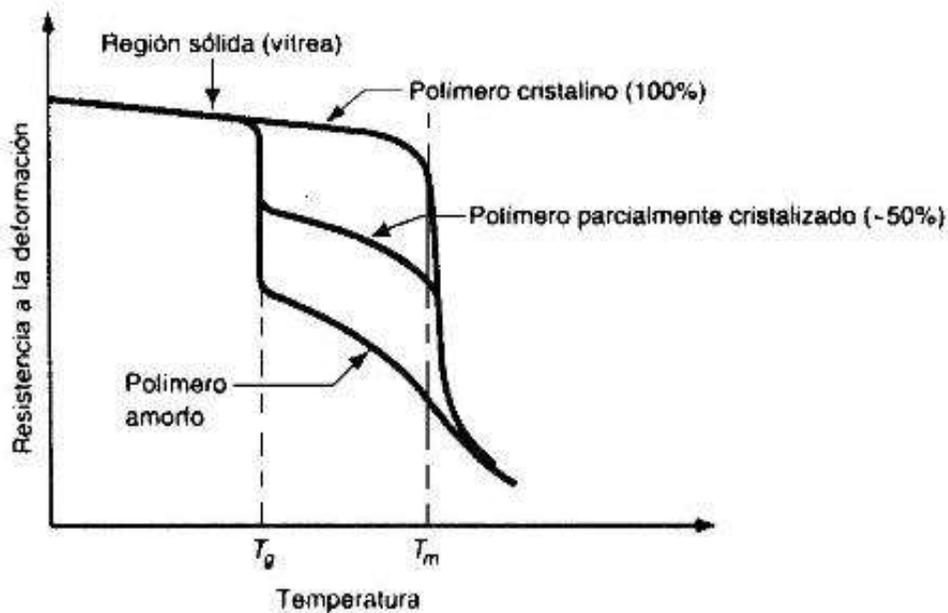
Conforme se incrementa la temperatura por encima de  $T_g$  el polímero empieza a hacerse cada vez más suave, hasta que finalmente se convierte en un fluido viscoso nunca se convierte en un líquido delgado debido a su alto peso molecular.

Esto es análogo al módulo de elasticidad, pero nos permite observar el efecto de la temperatura sobre un polímero amorfo en su transición de sólido a líquido. Por debajo de  $T_g$ , el material es fuerte y elástico.

A la temperatura  $T_g$ , existe una caída repentina en la resistencia a la deformación, a medida que el material se transforma en la fase ahulada, su comportamiento en esta región es visco elástico. Conforme aumenta la temperatura, se transforma gradualmente en un líquido más fluido.

Un termoplástico teórico con 100% de cristalinidad tendría un punto de fusión distinto  $T_m$  en el cual se transformaría de sólido a líquido, pero sin mostrar un punto de transición vítrea perceptible  $T_g$ . Desde luego, los polímeros reales tienen menos del 100% de cristalinidad.

Para los polímeros parcialmente cristalinos, la resistencia a la deformación se caracteriza por la curva que se ubica entre los dos extremos, su posición está determinada por la proporción relativa de las dos fases. Los polímeros parcialmente cristalinos exhiben las características de ambos, plásticos amorfos y plásticos cristalizados. Por debajo de  $T_g$  son elásticos, con una resistencia a la deformación



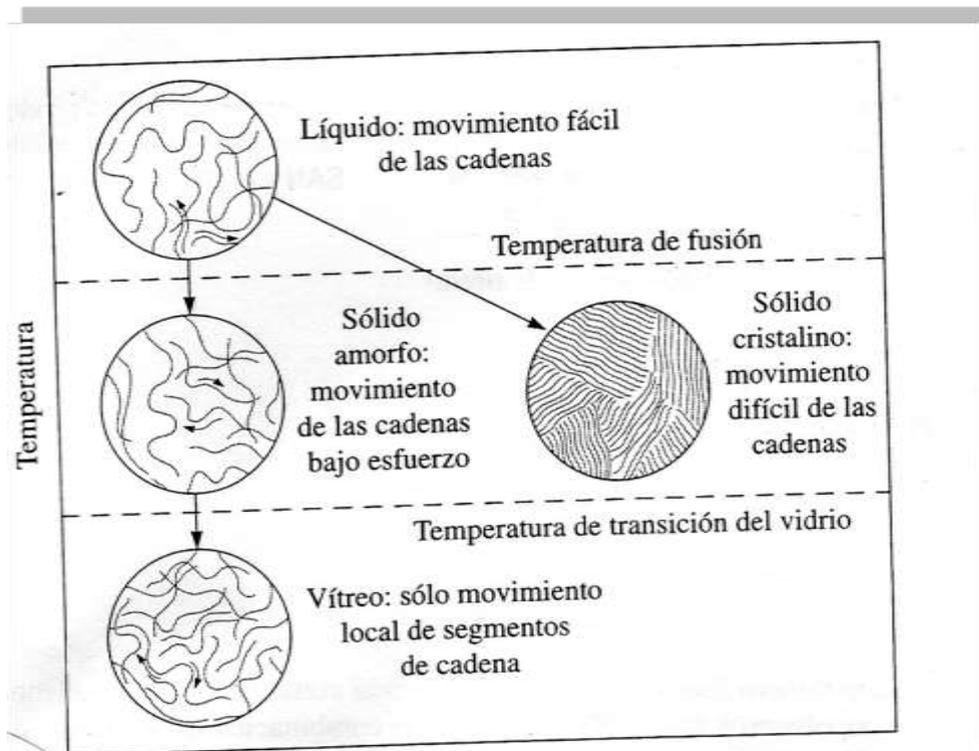
FUENTE: GROOVER, FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA

**FIGURA II.VI RELACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÀNICAS, GRAFICADAS COMO RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA PARA UN TERMOPLÁSTICO AMORFO, UN TERMOPLÁSTICO 100% CRISTALIZADO (TEÓRICO) Y UN TERMOPLÁSTICO PARCIALMENTE CRISTALIZADO.**

Los termoplásticos típicos a temperatura ambiente poseen las siguientes características:

- ✓ Menor rigidez, el módulo de elasticidad es dos veces (en algunos casos tres) más bajos que los metales y los cerámicos.
- ✓ La resistencia a la tensión es más baja, cerca del 10% con respecto a la de los metales.
- ✓ Dureza muy baja
- ✓ Ductilidad más alta en promedio, con un amplio rango de valores, desde una elongación del 1% para el poliestireno, hasta el 500% o más para el propileno.

Las propiedades de los termoplásticos cambian en función de su temperatura, es necesario conocer la forma en que ocurren estos cambios, ya que pueden ayudarnos a diseñar mejores componentes y guiar el tipo de técnicas de procesamiento que deben utilizarse. Una vez que se han enfriado por debajo de la temperatura de fusión, los materiales termoplásticos pueden ser cristalinos o amorfos como se muestra en la figura II.VII.



FUENTE: ALTING, QUÍMICA DE LOS POLÍMEROS

FIGURA II.VII EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA ESTRUCTURA Y EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS

En la siguiente tabla se muestran algunas propiedades de los polímeros termoestables (ver tabla II.II).

	Resistencia a la tensión (Psi)	% de alargamiento	Módulo elástico (psi)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Fenólicos	9000	2	1300	1.27
Aminas	10000	1	1600	1.5
Poliésteres	13000	3	650	1.28
Epoxis	15000	6	500	1.25
Uretanos	10000	6		1.3
Siliconas	4000	0	1200	1.55

FUENTE: ALTING, QUÍMICA DE LOS POLÍMEROS

TABLA II.II PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS TERMOESTABLES

## **CAPÍTULO III**

### **EL POLIETILENO**

**OBJETIVO:** conocer las propiedades físicas y químicas del polietileno para determinar en que lo podemos emplear.

### III.I ANTECEDENTES

El polietileno fue sintetizado por primera vez por el químico alemán Hans Von Pechmann quien por accidente lo preparó en 1898 mientras calentaba gas metano. Cuando sus colegas Eugen Bamberger y Friedrich Tschirner caracterizaron la sustancia grasosa y blanca que él creó, descubrieron largas cadenas compuestas por  $\text{CH}_2$ - y lo llamaron polietileno.

El 27 de Marzo de 1933, fue sintetizado como lo conocemos hoy en día, por Reginald Gibson y Eric Fawcett en Inglaterra, quienes trabajaban para los Laboratorios ICI. Esto fue logrado aplicando una presión de aproximadamente 1,400 bares y una temperatura de  $170^\circ \text{C}$ , donde en una autoclave fue obtenido el material de alta viscosidad y color blanquecino que hoy en día se conoce.

La presión requerida para lograr la polimerización del etileno era demasiado alta, por ello es que la investigación sobre catalizadores. Un catalizador es una sustancia que acelera (en pocos casos, retrasa) la velocidad de una reacción química sin resultar alterado en el proceso. Realizada por el Alemán Kart Ziegler y el italiano Giulio Natta, que dio origen a los catalizadores Ziegler-Natta valió el reconocimiento del más famoso premio a la ciencia a nivel mundial, el premio Nobel en 1963, por su aporte científico a la química. Con estos catalizadores se logra la polimerización a presión normal.

Por la polimerización de etileno pueden obtenerse productos con propiedades físicas muy variadas. Estos productos tienen en común la estructura química fundamental  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ , y en general tienen propiedades químicas de un alcano de peso molecular elevado. Este tipo de polímero se creó para usarlo como aislamiento eléctrico, pero después ha encontrado muchas aplicaciones en otros campos, especialmente como película y para envases.

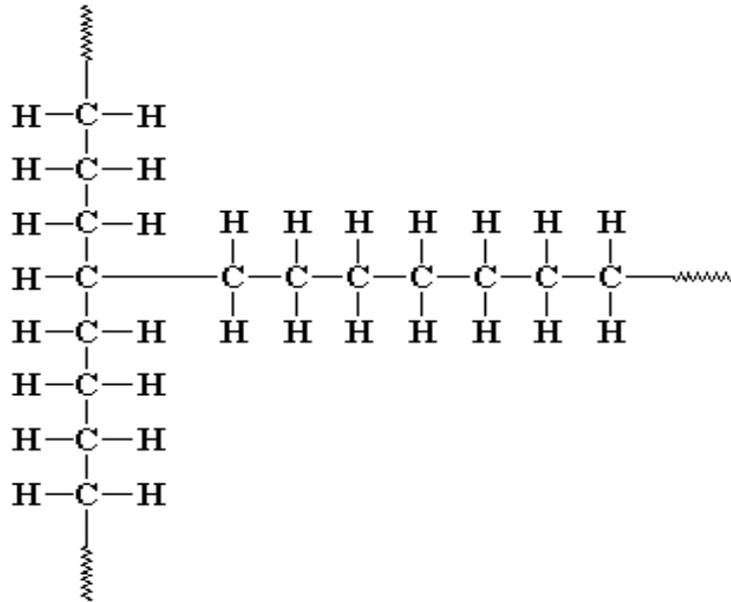
### III.II CARACTERÍSTICAS

El polietileno es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva  $(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_2$

Es químicamente inerte. Se obtiene de la polimerización del etileno (de fórmula química es  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  y llamado etileno), del que deriva su nombre.

Este polímero puede ser producido por diferentes reacciones de polimerización, como por ejemplo: Polimerización por radicales libres, polimerización aniónica, polimerización por coordinación de iones o polimerización catiónica.

El polietileno de baja densidad es un polímero de cadena ramificada (ver figura III.I)



FUENTE: [WWW.TELECABLE.ES/PERSONALES/ALBATROS1/QUIMICA/INDUSTRIA/POLIETILENO.HTM](http://WWW.TELECABLE.ES/PERSONALES/ALBATROS1/QUIMICA/INDUSTRIA/POLIETILENO.HTM)

FIGURA III.I ESTRUCTURA DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

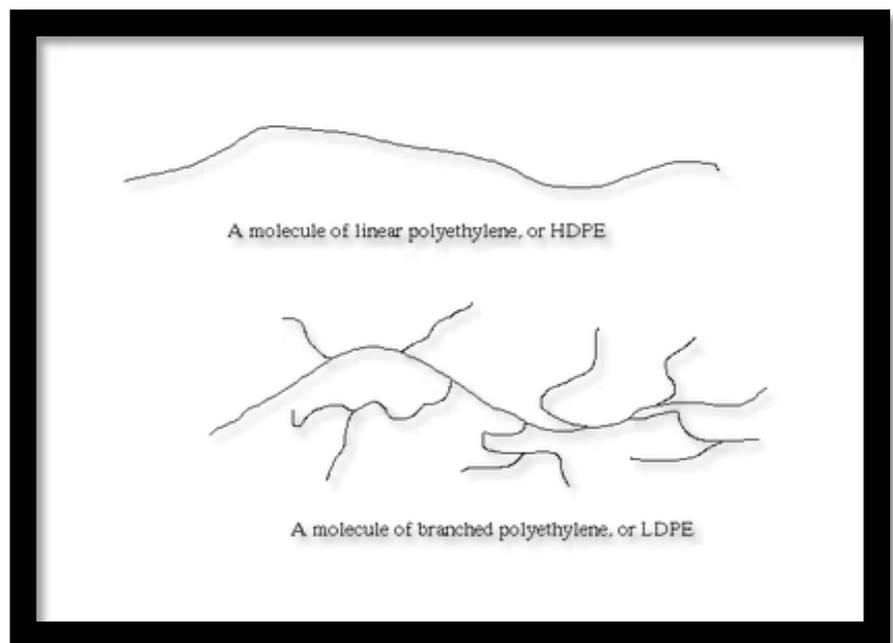
En ausencia completa de oxígeno, el polietileno es estable hasta 290° C. Entre 290 y 350 °C, se descompone y da polímeros de peso molecular más bajo, que son normalmente termoplásticos o ceras, pero se produce poco etileno. A temperaturas superiores a 350° C, se producen productos gaseosos en cantidad creciente, pero el producto principal no es el etileno, sino el butileno.

El polietileno difiere del poliestireno y del metilacrilato de metilo, que dan el monómero como producto principal de la pirólisis. En presencia de oxígeno, el polietileno es mucho menos estable.

Se han observado cambios en las propiedades físicas y químicas que indican oxidación y degradación de las moléculas del polímero a 50° C, y en presencia de la luz se produce una degradación incluso a las temperaturas ordinarias.

Cada uno de estos mecanismos de reacción produce un tipo diferente de polietileno, es un polímero de cadena lineal no ramificada. Aunque las ramificaciones son comunes en los productos comerciales. Las cadenas de polietileno se arreglan abajo de la temperatura de reblandecimiento Tg en regiones amorfas y semicristalinas.

A veces algunos de los carbonos en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos, tiene asociadas largas cadenas de polietileno. A esto se le llama polietileno ramificado o de baja densidad, LDPE cuando no hay ramificaciones se llama polietileno lineal o HDPE. El polietileno lineal es mucho más fuerte que el polietileno ramificado. Pero el polietileno ramificado es más barato y más fácil de hacer (Ver figura III.II).



REFERENCIA [HTTP://TECNOLOGIADELOSPLASTICOS.BLOGSPOT.MX/2011/06/POLIETILENO-DE-BAJA-DENSIDAD](http://TECNOLOGIADELOSPLASTICOS.BLOGSPOT.MX/2011/06/POLIETILENO-DE-BAJA-DENSIDAD)

FIGURA III.II MOLECULA DE POLIETILENO LINEAL Y RAMIFICADA

El polietileno de baja densidad tiene las siguientes características:

- Alta resistencia al impacto.
- Resistencia térmica.
- Resistencia química.
- Se puede procesar por inyección o extrusión.
- Tiene una mayor flexibilidad en comparación con el polietileno de alta densidad.
- Su coloración es transparente, aunque se opaca a medida que aumenta su espesor.
- Difícilmente permite que se imprima, pegue o pinte en su superficie.

Los termoplásticos pueden ser ablandados mediante calor repetidas veces y endurecidos mediante enfriamiento. Las resinas de polietileno son termoplásticas.

Las propiedades de las resinas de polietileno se deben principalmente, sino exclusivamente a tres propiedades moleculares básicas: densidad, peso molecular promedio y distribución del peso molecular.

Estas propiedades básicas a su vez dependen del tamaño, estructura y uniformidad de la molécula de polietileno. Algunas de las propiedades que hacen del polietileno una materia prima tan conveniente para miles de artículos manufacturados son entre otros pocos, pesos, flexibilidad, tenacidad, alta resistencia química y propiedades eléctricas sobresalientes.

La enorme competencia en el mercado de polietileno ha traído consigo más trabajos acerca de la modificación de polietilenos con propiedades específicas para aplicaciones determinadas. Son de esperar mejoras en propiedades parejas con determinados usos, a medida que se comprenda mejor la estructura de los diversos polímeros de polietileno y su relación con las propiedades físicas y químicas.

### III.III ESTRUCTURA FÍSICA

El carácter más importante de la estructura física del polietileno es la cristalinidad parcial del sólido (2.5). Un polietileno no ramificado es casi completamente cristalino y tiene un punto de fusión relativamente neto. Un polietileno tiene una estructura parcialmente cristalina, parcialmente amorfa, y muestra un cambio gradual, a medida que aumenta la temperatura, hasta el estado completamente amorfo fundido.

Otras propiedades, como la resistencia a la tracción, la flexibilidad a temperaturas bajas y la resistencia al choque, son principalmente funciones del peso molecular medio

### III.IV CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES

La abreviatura de polietileno comúnmente utilizada es PE. Los polietilenos pueden clasificarse en:

**PEBD** (en inglés conocido como LDPE o PE-LD) Polietileno de Baja Densidad; Es un plástico semicristalino, blanquecino, inodoro e insípido.

El polietileno de baja densidad es un polímero de cadena ramificada. Fue producido comercialmente por primera vez en el Reino Unido en 1939 mediante reactores autoclave (o tubular) necesitando presiones de 14.500 libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) ,100 Mega pascal (Mpa) y una temperatura de unos 300° C.

Se obtiene por polimerización del etileno a altas presiones (aproximadamente 1,200 atmosfera (atm) y 200° C) con oxígeno o catalizador de peróxido y por mecanismo de radicales libres.

Es un sólido más o menos flexible, según el grosor, ligero y buen aislante eléctrico. Se trata de un material plástico que por sus características y bajo costo se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías.

Los objetos fabricados con LDPE se identifican, en el Sistema de Identificación Americano SPI (Society of the Plastics Industry); con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior (Ver figura III.III)



FUENTE: [HTTP://WWW.GOOGLE.COM.MX/IMGRES?Q=POLIETILENO+BAJA+DENSIDAD](http://www.google.com.mx/imgres?q=polietileno+baaja+densidad)

FIGURA: III.III SIMBOLO DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

### Propiedades

- No tóxico
- Flexible
- Liviano
- Transparente
- con excelentes propiedades eléctricas
- poca resistencia a elevadas temperaturas.
- Inerte (al contenido)

- Impermeable
- Poca estabilidad dimensional, pero fácil procesamiento
- Bajo costo

**PEAD** (en inglés conocido como HDPE o PE-HD): Polietileno de Alta Densidad; Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno.

El polietileno de alta densidad es un polímero de cadena lineal no ramificada. Fue producido comercialmente por primera vez entre los años de 1956-1959 mediante los procesos de Philips y Ziegler utilizando un catalizador especial.

En estos procesos la presión y temperatura para la reacción de conversión del etileno en polietileno fueron considerablemente más bajas. Por ejemplo, el proceso Philips opera de 100 a 150° C y 290 a 580 psi (2 a 4 MPa) de presión.

Se obtiene por polimerización del etileno a presiones relativamente bajas (1-2 atm), con catalizador alquilmetálico (catálisis de Ziegler) o un óxido metálico sobre sílice o alúmina (procesos Phillips y Standard Oil). Su resistencia química y térmica, así como su opacidad, impermeabilidad y dureza son superiores a las del polietileno de baja densidad.

Se emplea en la construcción y también para fabricar prótesis, envases, bombonas para gases y contenedores de agua y combustible (Ver figura III.IV)



FUENTE: [HTTP://WWW.GOOGLE.COM.MX/IMGRES?Q=POLIETILENO+DE+ALTA+DENSIDAD&](http://www.google.com.mx/imgres?q=poli-etileno+de+alta+densidad&)

**FIGURA III.IV METODO DE EMPLEO DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD**

### **Propiedades**

- Resistente a las bajas temperaturas;
- Alta resistencia a la tensión, compresión, tracción;
- Baja densidad en comparación con metales u otros materiales;
- Impermeable;

En la siguiente tabla (Ver tabla III.I) se muestra la comparación del LDPE y el HDPE

Propiedad	LDPE	LLDPE	HDPE
<b>Densidad, g/cm<sup>3</sup></b>	0,92-0,93	0,922-0,926	0,95-0,96
<b>Resistencia a la tracción x 1000 psi</b>	0,9-2,5	1,8-2,9	2,9-5,4
<b>Elongación, %</b>	550-600	600-800	20-120
<b>Rigidez dieléctrica, V/mill.</b>	480	....	480
<b>Máxima temperatura de uso, °C</b>	82-100	480	80-120

FUENTE: [HTTP://WWW.UHU.ES/PROCHEM/WIKI/INDEX.PHP/AAD\\_P\\_Y\\_Z](http://www.uhu.es/prochem/wiki/index.php/AAD_P_Y_Z)

**TABLA III.I COMPARACIÓN DEL LDPE Y HDPE**

Se debe tener en cuenta que el peso molecular es un factor importante para establecer estos números. Muchas de estas propiedades se pueden modificar si se modifica el mismo (resistencia a la tracción, resistencia al choque, alargamiento en ruptura). Lo mismo sucede si el material tiene historial térmico

### **Procesamiento**

El Polietileno se usa para diferentes tipos de productos finales, para cada uno de ellos se utilizan también diferentes procesos, entre los más comunes se encuentran:

- Extrusión: Película, cables, hilos, tuberías.
- Moldeo por Inyección: Partes en tercera dimensión con formas complicadas
- Inyección y soplado: Botellas de diferentes tamaños

- Extrusión y soplado: Bolsas o tubos de calibre delgado

El polietileno tiene un color lechoso translúcido, este color se puede modificar con tres procedimientos comunes:

- Añadir pigmento polvo al PE antes de su procesamiento
- Colorear todo el PE antes de su procesamiento
- Usar un concentrado de color (conocido en inglés como masterbatch), el cual representa la forma más económica y fácil de colorear un polímero.

Aditivos necesarios para el uso final son importantes, dependiendo de la función final se recomiendan por ejemplo: Antioxidantes, anti flama, antiestáticos, antibacteriales.

### III.V ESTRUCTURA FÍSICA Y QUÍMICA

#### III.V.I ESTRUCTURA QUÍMICA

El análisis del polietileno (C, 85.7%; H, 14.3%) corresponde a la fórmula empírica  $(CH_2)_n$ , resultante de la polimerización por adición del etileno. La estructura de un polietileno típico difiere de la de un alcano de cadena recta en que es de cadena ramificada y contiene grupos olefínicos de tres tipos (por lo menos).

Puede contener también otros grupos químicos derivados del catalizador usado en su fabricación o de impurezas en el etileno, pero éstas representan generalmente mucho menos de 0.1% en peso del polímero.

La condición ramificada de la cadena del polímero influye profundamente en las propiedades físicas tanto del polietileno sólido como del polietileno fundido. Variando las condiciones en que se realiza la polimerización, es posible variar el grado de ramificación entre límites amplios y producir gran número de tipos de polímeros.

Como en la mayoría de los polímeros, una muestra normal tiene una distribución amplia de pesos moleculares, y el fraccionamiento del polietileno indica que una muestra de un peso molecular medio numérico de 15,000 contiene material de peso molecular inferior a 1,000 y también superior a 80,000.

Por otra parte, el examen infrarrojo de fracciones del polietileno normal muestra que el número de ligaduras dobles por molécula es aproximadamente el mismo para fracciones de peso molecular elevado y de peso molecular bajo y que la frecuencia de las cadenas laterales a lo largo de la molécula es independiente del peso molecular de la fracción.

### **III.V.II ESTRUCTURA FÍSICA**

El carácter más importante de la estructura física del polietileno es la cristalinidad parcial del sólido (2,5). Un polietileno no ramificado es casi completamente cristalino y tiene un punto de fusión relativamente neto.

Un polietileno tiene una estructura parcialmente cristalina, parcialmente amorfa, y muestra un cambio gradual, a medida que aumenta la temperatura, hasta el estado completamente amorfo fundido.

El grado de cristalinidad a temperaturas ordinarias se determina fácilmente por una medida del peso específico, y es aproximadamente 60% para un polietileno normal.

Puede hacerse muestras más o menos cristalinas, y esta variación es debida a la variación en el grado de ramificación de la cadena.

Varias propiedades son directamente afectadas por la cristalinidad y, en consecuencia por el grado de ramificación. Son ejemplo la dureza, el punto de reblandecimiento y el punto de cedencia por la tracción.

Los estudios del modo de cristalización del polietileno desde su estado fundido muestran que la cristalización empieza en puntos distribuidos al azar en la masa del material y prosiguen radialmente hacia afuera con una rapidez que depende de la temperatura a la cual se produce la cristalización.

### **III.VI ORIGEN DEL POLIETILENO**

Las razones por las cuales surge la idea de utilizar a la caña de azúcar como materia prima son las siguientes:

Alta productividad del cultivo: la caña de azúcar es el cultivo con mayor productividad para la elaboración del etanol (Ver figura III.V). El mismo representa cuantas unidades de energía equivalente se forman a partir de una unidad de combustible fósil, siendo 1.4 para los cereales, 2 para la remolacha y 9,3 para la caña de azúcar.



FUENTE: [HTTP://ES.SCRIBD.COM/DOC/70727365/PRODUCCION-POLIETILENO](http://es.scribd.com/doc/70727365/Produccion-Polietileno)

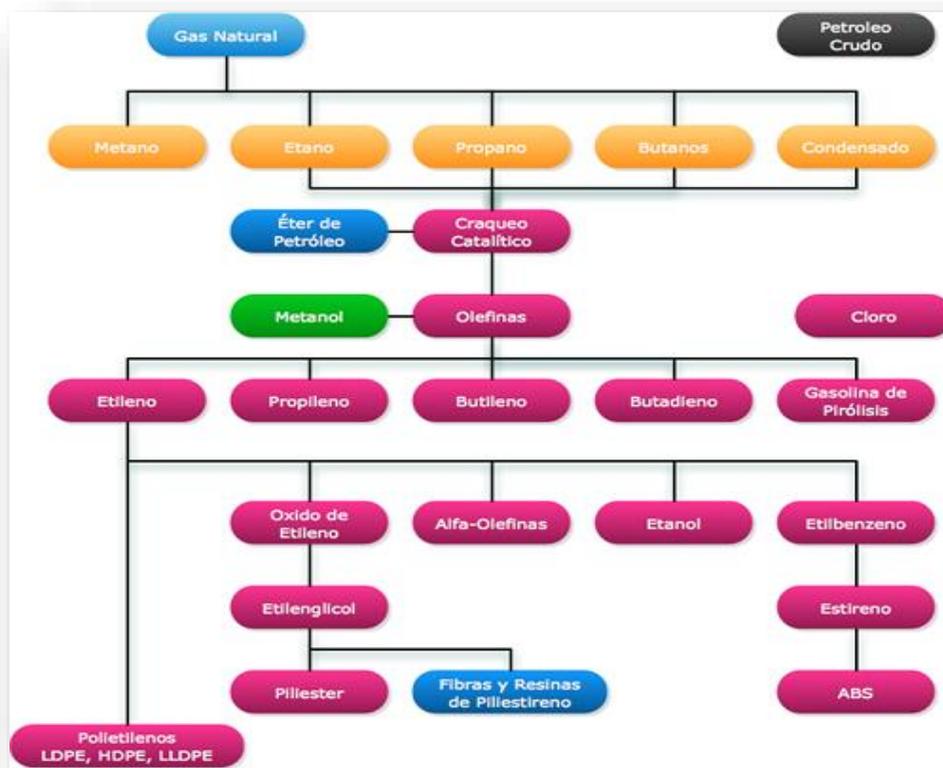
**FIGURA: III.V UNIDADES DE ENERGIA EQUIVALENTE APARTIR DE UNIDADES DE COMBUSTIBLE**

Existen 2 procesos de obtención del polietileno a partir de la caña de azúcar tales como:

- Tradicional ( a partir del gas natural)
- Sustentable ( a partir de la caña de azúcar)

### **TRADICIONAL**

Para obtener polietileno a partir del gas natural, la primera operación es la separación de las distintas moléculas, seguidas por un cracking de las distintas moléculas de etano. Dicho proceso puede ser térmico (por ser sometido a alta temperatura y presión) o catalítico (por aplicación de calor y catalizadores) esto lo podemos ver la siguiente figura (Ver figura III.VI)



FUENTE: [HTTP://ES.SCRIBD.COM/DOC/70727365/PRODUCCION-POLIETILENO](http://es.scribd.com/doc/70727365/PRODUCCION-POLIETILENO)

FIGURA III.VI ÀRBOL PETROQUIMICO

## SUSTENTABLE

La elaboración del polietileno en forma sustentable tiene los siguientes pasos:

- 1- Extracción de sacarosa de la caña de azúcar.
- 2- Obtención de etanol a partir del jugo.
- 3- Deshidratación de etanol para formar etileno.
- 4- Polimerización del etileno.
- 5- Conformado de productos finales

**1.- Extracción de sacarosa de la caña de azúcar:**

El proceso se inicia en el campo con las siguientes etapas:

- Cosecha: cortado y recolección de la caña de azúcar. Una vez cortada, se transporta rápidamente a la fábrica en tractores procurando el menor tiempo de permanencia.
- Almacenaje en patios: La caña que llega del campo se muestrea para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde se almacena temporalmente o se dispone directamente en las mesas de lavado de caña para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras.
- Trituración: La caña es picada en máquinas especialmente diseñadas para obtener pequeños trozos. Las picadoras son unos ejes colocados sobre los conductores accionados por turbinas, provistos de cuchillas giratorias que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño más uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos.
- Molienda: La caña preparada por las picadoras llega a un tándem de molinos, constituido cada uno de ellos por tres o cuatro mazas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña. Cada molino está equipado con una turbina de alta presión. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua, generalmente caliente, para extraer al máximo la cantidad de sacarosa que contiene el material fibroso. Éste proceso de extracción es llamado maceración.

**2.- Obtención del etanol a partir del jugo:**

Para obtener etanol a partir del jugo, se aplican dos pasos de gran importancia:

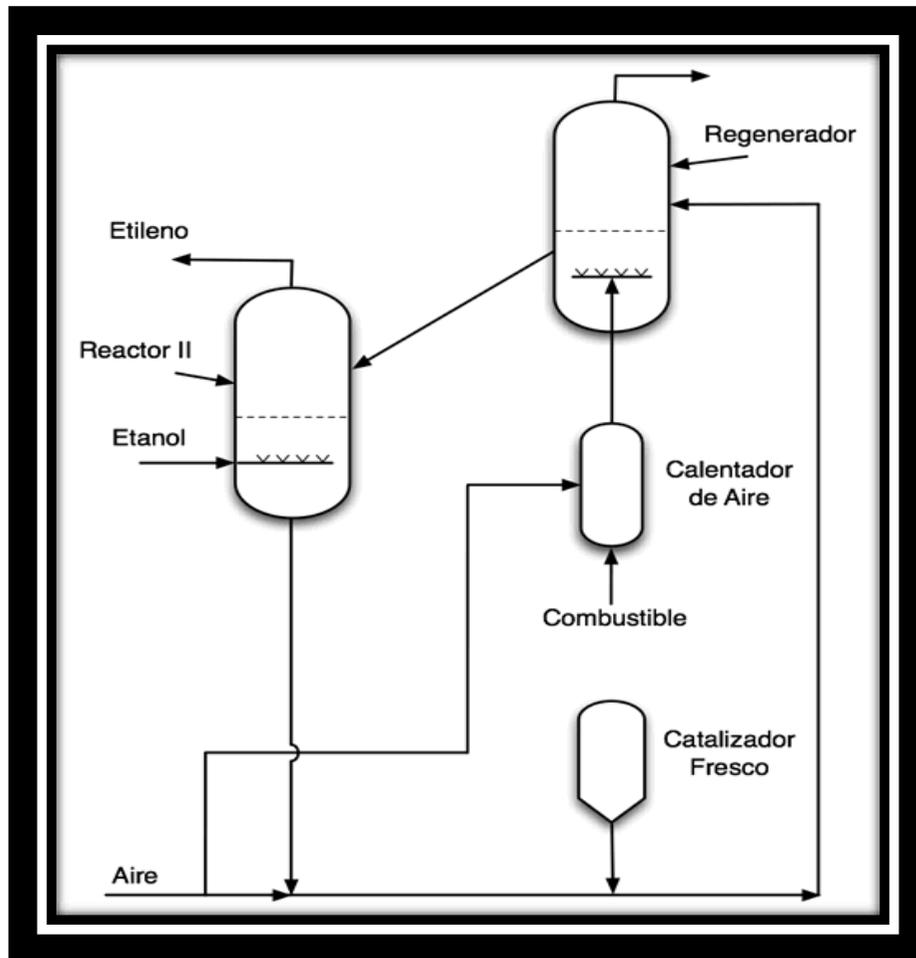
- Hidrólisis de la sacarosa y fermentación: en esta etapa, el jugo es arrojado en cubas de fermentación, donde inicialmente se hace la hidrólisis de la sacarosa con ácidos diluidos (HCl) para formar azúcares reductores (más reactivos):

En las cubas de fermentación, se agrega también una sustancia denominada levadura, que actúa como catalizador para acelerar el proceso de fermentación. La aceleración de la reacción de fermentación hace que se libere una gran cantidad de dióxido de carbono

**3. Deshidratación de etanol para formar etileno:**

Un proceso de lecho fluidizado a 300° C se utiliza para esta parte del proceso. Se obtienen numerosos subproductos como ser éteres, aldehídos, acetonas e hidrocarburos superiores (polimerizados del etileno). El dietil éter ingresa nuevamente al reactor para formar etanol

La reacción es endotérmica y absorbe el calor del aire y del catalizador, el cual es necesario regenerar periódicamente para remover restos de carbono y otros compuestos. El catalizador por excelencia para este proceso es la alúmina, pero existen otros como zeolitas, zeolitas modificadas con metales y agentes superácidos que se utilizan en diferentes condiciones de reacción (Ver figura III.VII).



FUENTE: [HTTP://ES.SCRIBD.COM/DOC/70727365/PRODUCCION-POLIETILENO](http://es.scribd.com/doc/70727365/PRODUCCION-POLIETILENO)

FIGURA III.VII PROCESO DE LECHO FLUIDIZADO

La reacción química que ocurre en el Reactor II es la de formación de una molécula de agua y de etileno a partir del etanol

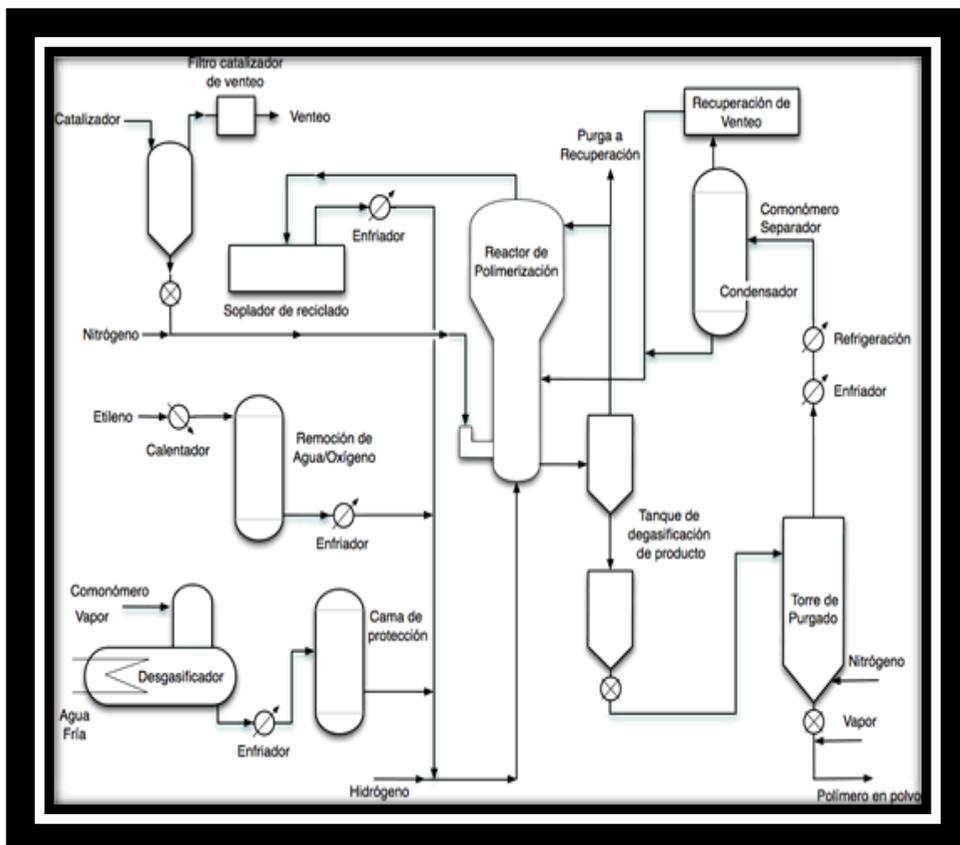
#### 4. Polimerización del etileno:

El proceso de polimerización del etileno se inicia con una purificación del etileno para obtener un producto de mayor calidad. Se limpian tanto las impurezas inorgánicas (compuestos de azufre, óxido carbónico, anhídrido carbónico) como las orgánicas (etano, hidrógeno).

Para esta parte se usan lavadores que actúan a modo de columnas, aprovechando el bajo punto de ebullición de ciertas impurezas para que salgan por arriba. Los componentes de alto punto de ebullición salen por la parte inferior de la columna.

Una vez limpio existen tres procesos posibles para polimerizar el etileno:

- Gas phase (en fase gaseosa): alimentando etileno gaseoso junto con oxígeno y un catalizador de titanio a un reactor de lecho fluidizado, se obtendrán el producto y el gas, que luego será separado del polímero. Este es un proceso de baja temperatura, alta presión y que puede utilizar varios catalizadores: Cromo, Zeigler-Natta, Metalocenos. (Ver la figura III.VIII)



FUENTE: [HTTP://WWW.TEXTOSCIENTIFICOS.COM/POLIMEROS/POLIETILENO-VERDE](http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno-verde)

FIGURA III.VIII PROCESO DE POLIMERIZACIÓN DEL ETILENO

- Slurry (en suspensión): se obtiene polietileno en este caso en un reactor en determinadas condiciones de presión y temperatura (85°C), mediante un proceso catalítico utilizando etileno con hidrógeno y buteno en suspensión de hexano. El proceso de polimerización es llevado a cabo en un diluyente líquido, en el cual el polímero es insoluble a las P y T de trabajo, y así queda en suspensión. El catalizador utilizado es el Zeigler-Natta y en general a partir de este proceso se obtienen envases.

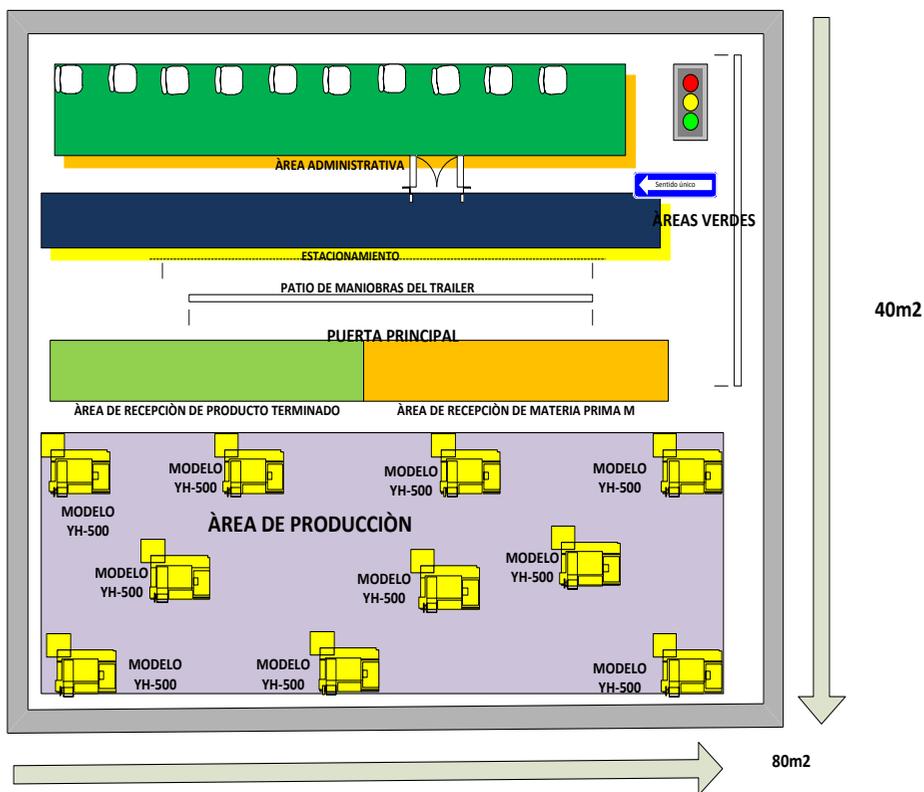
- Solution (en disolución): utilizado para buscar productos con propiedades específicas, se basa en que el producto se disuelve en un solvente combinado con un catalizador específico. Crea polímeros homogéneos de moléculas uniformes, que se utilizan para embalajes de comida, films industriales, etc. El catalizador más utilizado en esta ocasión también es el Zeigler-Natta.

**CAPÍTULO IV**

**DISEÑO DEL SISTEMA  
PRODUCTIVO**

**OBJETIVO**

El presente capítulo plantea la propuesta del diseño del nuevo sistema productivo del área de producción de la empresa Polietilenos Mexicanos, S. A. de C. V. dedicada a la elaboración de bolsas de plástico con maquinaria extrusora del tipo bolseadora utilizando para ello polietileno básicamente. Ya que actualmente la distribución de sus diez (10) máquinas es obsoleta y por ende esto no le permite aprovechar sus recursos y satisfacer las necesidades de sus clientes actuales y futuros. (Ver figura IV.I)



**FIGURA IV.I PLANO ARQUITECTÓNICO DE LA EMPRESA**

Es por ello que se plantea la propuesta explicando las diferencias entre el proceso que se usa actualmente y compararlo con el proyecto, aprovechando cada uno de los recursos humanos, materiales y económicos con la finalidad de ser competitivo dentro del mercado.

#### **IV.I CONCEPTOS TEÓRICOS**

Para comprender mejor el diseño de un sistema de producción es necesario conocer la opinión de varios autores, los cuales atienden la temática que muestra en este capítulo.

Bueno Campos, 1991, señala: “Un conjunto de procesos, procedimientos, métodos o técnicos que permiten la obtención de los bienes y servicios, gracias a la aplicación sistemática de unas decisiones que tiene como función a el valor de dichos productos para poder satisfacer sus necesidades

Aguirre Sábada, 1992, menciona: “El proceso productivo es el procedimiento de transformación de unos elementos determinados en un producto específico, transformación que se efectúa mediante una actividad humana determinada, utilizando determinados instrumentos de trabajo, como instalaciones, máquinas, herramientas, etc.

Michael Peters, 1981, define “Un sistema productivo, es la optimización de los recursos que intervienen en un proceso de producción y se ve reflejado en sus costos-beneficios; por lo cual los sistemas productivos se clasifican de la siguiente manera:

- **FÍSICOS:** Son aquellos sistemas que existen físicamente.
- **ABSTRACTOS:** Son aquellos que solo existen en forma conceptual o en la mente de alguien.
- **LOS NATURALES:** Son aquellos elaborados por la naturaleza.
- **LOS ELABORADOS:** Realizados por el hombre empíricamente.
- **LOS SISTEMAS TÉCNICOS:** Son los que integran y aplican la tecnología para alcanzar una meta.
- **LOS SISTEMAS CIVILES O SOCIALES:** Tienen como finalidad la satisfacción de un objetivo social.
- **ABIERTOS:** Son aquellos donde es muy difícil predecir su comportamiento. La retroalimentación existente no es controlable y en algunos casos es subjetiva (el organismo del cuerpo humano).
- **CERRADOS:** Son aquellos que tienen objetivos, insumos, productos y relaciones claramente determinados por lo que el control, retroalimentación y pronóstico pueden ser establecidos de manera precisa y objetiva

En base a lo previamente citado, el sistema productivo es un conjunto de objetos y relacionados de antemano, para procesar algo que denominaremos insumo y convertirlo en el producto definido por el objetivo del sistema y que puede o no tener un dispositivo de control que permita mantener su funcionamiento dentro de los límites preestablecidos.

#### **IV.I.I CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS EN BASE A SU PROCESO**

De acuerdo a su proceso de producción los sistemas se clasifican de la siguiente forma:

1. **SÍSTEMAS CONTINUOS:** Los sistemas productivos de flujo continuo son aquellos en los que las instalaciones se uniforman en cuanto a las rutas y los flujos en virtud de que los insumos son homogéneos. Cuando la

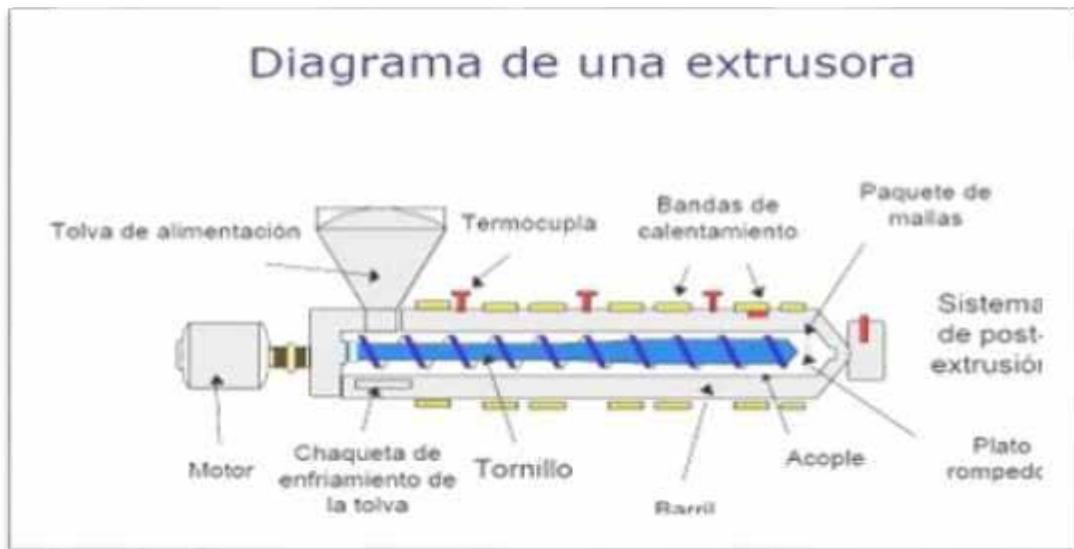
demanda se refiere a un volumen grande de un producto estandarizado, las líneas de producción están diseñadas para producir artículos en masa y la producción a gran escala de artículos estándar.

2. **SISTEMAS INTERMITENTES:** La producción intermitente será inevitable cuando la demanda de un producto no es lo bastante grande para utilizar el tiempo total de la fabricación continua. En este tipo de sistema la empresa generalmente fabrica una gran variedad de productos, para la mayoría de ellos, los volúmenes de venta y consecuentemente los lotes de fabricación son pequeños en relación a la producción total.
3. **SISTEMAS MODULARES:** La idea básica consiste en desarrollar una serie de componentes básicos de los productos (módulos) los cuales pueden ensamblarse de tal forma que puedan producirse un gran número de productos distintos.
4. **SISTEMAS POR PROYECTOS:** En este tipo de sistemas no existe flujo de producto, pero si existe una secuencia de operaciones, todas las tareas u operaciones individuales deben realizarse en una secuencia tal que contribuya a los objetivos finales del proyecto. Los proyectos se caracterizan por el alto costo y por la dificultad que representa la planeación y control administrativo.

#### **IV.II PROCESO DE EXTRUSIÓN CONVENCIONAL**

La palabra extrusión proviene del latín "extrudere" que significa forzar un material a través de un orificio. La extrusión consiste en hacer pasar bajo la acción de la presión un material termoplástico a través de un orificio con forma más o menos compleja (hilera), de manera tal, y continua, que el material adquiera una sección transversal igual a la del orificio. En la extrusión de termoplásticos el proceso no es tan simple, ya que durante el mismo, el polímero se funde dentro de un cilindro y posteriormente, enfriado en una calandria, Este proceso de extrusión

tiene por objetivos, un proceso que es normalmente continuo, y usarse para la producción de perfiles, tubos, películas plásticas, hojas plásticas, etc. (Ver figura IV.II)



FUENTE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO INDUSTRIAL

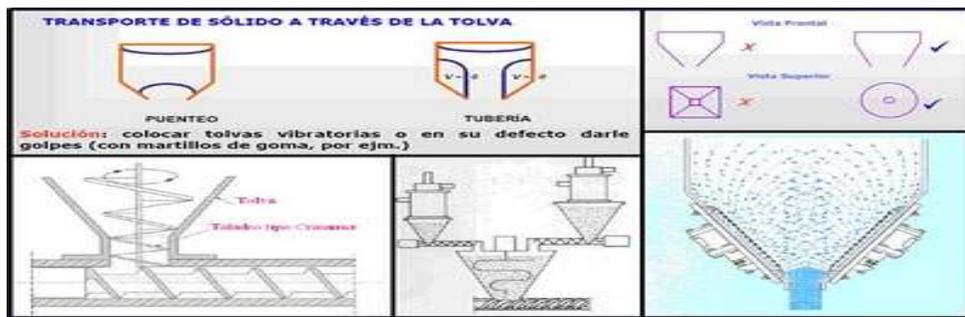
FIGURA: IV.II DIAGRAMA DE EXTRUSORA

### IV.II.I DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINARIA DE EXTRUSIÓN

#### IV.II.II TOLVA

Es el depósito de materia prima en donde se colocan los pellets de material plástico para la alimentación continua del extrusor. Debe tener dimensiones adecuadas para ser completamente funcional; los diseños mal planeados, principalmente en los ángulos de bajada de material, pueden provocar estancamientos de material y paros en la producción. En materiales que se compactan fácilmente, una tolva con sistema vibratorio puede resolver el problema, rompiendo los puentes de material formados y permitiendo la caída del material a la garganta de alimentación.

Si el material a procesar es problemático aún con la tolva el sistema vibratorio puede resolver el problema, rompiendo puentes de material formados y permitiendo la caída del material a la garganta de alimentación. Si el material a procesar es problemático aún con la tolva en vibración, la tolva tipo crammer es la única que puede formar el material a fluir, empleando un tornillo para lograr la alimentación. (Ver figura IV.III).



FUENTE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

FIGURA: IV.III PROCESO DE LA TOLVA

#### IV.II.III BARRIL O CAÑÓN

Es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión, conforma, junto con el tornillo de extrusión, la cámara de fusión y bombeo de la extrusora. En pocas palabras es la carcaza que envuelve al tornillo.

Debe tener una compatibilidad y resistencia al material que esté procesando, es decir, ser de un metal con la dureza necesaria para reducir al mínimo cualquier desgaste.

La dureza del cañón se consigue utilizando aceros de diferentes tipos y cuando es necesario se aplican métodos de endurecimiento superficial de las paredes internas del cañón, que son las que están expuestas a los efectos de la abrasión y la corrosión durante la operación del equipo. El cañón cuenta con

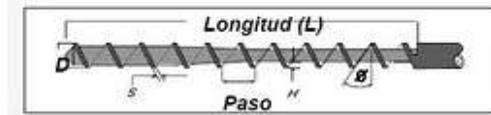
resistencias eléctricas que proporcionan una parte de la energía térmica que el material requiere para ser fundido.

El sistema de resistencias, en algunos casos va complementado con un sistema de enfriamiento que puede ser flujo de líquido o por ventiladores de aire. Todo el sistema de calentamiento es controlado desde un tablero, donde las temperaturas de proceso se establecen en función del tipo de material y del producto deseado.

**IV.II.IV HUSILLO**

Gracias a los intensos estudios del comportamiento del flujo de los polímeros, el husillo ha evolucionado ampliamente desde el auge de la industria plástica hasta el grado de convertirse en la parte que contiene la mayor tecnología dentro de una máquina de extrusión.

Por esto, es la pieza que en el alto grado determina el éxito de una operación de extrusión. Con base al diagrama, se describen a continuación las dimensiones fundamentales para un husillo y que, en los diferentes diseños, varían en función de las propiedades de flujo de polímero fundido que se espera de la extrusora. (Ver figura IV.IV).



ancho del filete		Entre 0.8D - 0.12D.
P	paso o ancho del canal	Distancia horizontal entre los centros de dos filetes consecutivos.
D	Diámetro	Distancia máxima entre los dos toques de los filetes del tornillo.
H	profundidad del canal	Distancia perpendicular desde el tope del filete hasta la superficie del canal.
φ	ángulo de hélice	Cuando el paso = D, el ángulo es de 17.7°.

FUNETE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

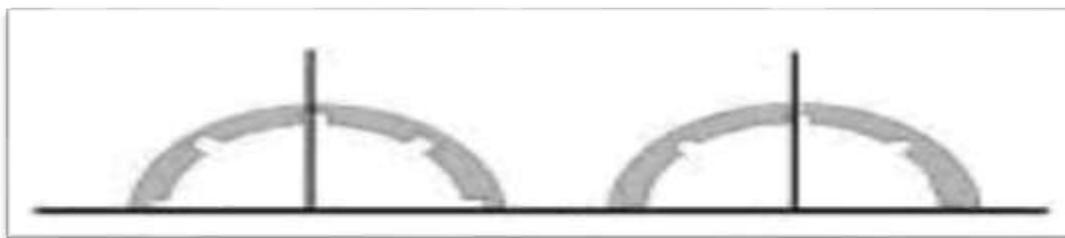
**FIGURA: IV.IV MEDIDAS DEL HUSILLO**

#### IV.II.V CILINDROS

Son cilindros de extrusión que poseen una superficie interna con canales de formas específicas. Zonas acanaladas ubicadas en la etapa de alimentación de los cilindros de extrusión, suelen ser utilizadas para favorecer el procesamiento de resinas de bajo coeficiente de fricción. Para ser transportado hacia adelante, el material no debe girar junto con el tornillo, o al menos debe girar a una menor velocidad que el tornillo.

La única fuerza que puede evitar que el material de vueltas junto con el tornillo y, por tanto hacer que el material avance a lo largo de la camisa, sea la fuerza de arrastre o fricción entre el material y la superficie interna de la camisa. A mayor fricción menor rotación del material junto con el tornillo y, por lo tanto, más movimiento hacia delante.

El caudal se hace tanto mayor cuanto mayor sea el coeficiente de rozamiento del sólido con la carcasa con respecto al del sólido con el eje del tornillo. Por ello las carcasas de las extrusoras en la sección de alimentación suelen “rasurarse” según las generatrices del cilindro. (Ver figura IV.V).



*Sección transversal de las zonas de alimentación acanaladas*

FUENTE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

**FIGURA: IV.V MEDIDAS DEL HUSILLO**

Existe un variado diseño de zonas de alimentación acanaladas; sin embargo, las de canales de sección cuadrada maximizan el volumen de material alimentado. Las zonas de alimentación acanaladas permiten controlar el coeficiente de fricción polímero-cilindro mediante la geometría reduciendo la sensibilidad con respecto a la temperatura y las propiedades termodinámicas de las resinas.

Por otro lado, las zonas de alimentación acanaladas permiten incrementar el volumen de la sección de alimentación, acelerando así la fusión; con lo que se logran importantes aumentos en el caudal de extrusión (ver tablas IV.I y IV.II). Con mayores precauciones que con los extrusores tradicionales, las secciones de alimentación acanaladas deben mantenerse refrigeradas y aisladas del cilindro de extrusión; para favorecer el desplazamiento axial del polímero.

Diámetro del Cilindro (mm)	Zona de alimentación Caudal/revolución (kg/h.min-1)	Lisa Caudal (kg/h)	Zona de Alimentación Caudal/revolución (kg/h)	Acanalada Caudal (kg/h)
<b>60</b>	0.6 a 0.7	140	0.9 a 1.0	220
<b>90</b>	1.7 a 1.9	300	2.6 a 2.8	450
<b>120</b>	3.2 a 4.2	470	5.0 a 5.2	650
<b>150</b>	7.0 a 8.0	760	8.0 a 8.5	840
<b>200</b>	15 a 17	1200	18 a 20	1500

FUENTE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

TABLA IV.I "CAUDALES DE EXTRUSIÓN DE PEBD PARA MÁQUINAS CON SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN LISA Y ACANALADA."

Diámetro del Cilindro (mm)	Zona de alimentación Caudal/revolución (kg/h.min-1)	Lisa Caudal (kg/h)	Zona de Alimentación Caudal/revolución (kg/h)	Acanalada Caudal (kg/h)
60	0.5	120	1.2 0	180
90	1.8	250	2.3 3	280
120	3.0	400	5.0 0	520
50	6.0	600	8.5 0	1500

FUENTE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

**TABLA IV.II “CAUDALES DE EXTRUSIÓN DE PP PARA MÁQUINAS CON SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN LISA Y ACANALADA.”**

En los cilindros con zonas de alimentación lisas (convencionales) las etapas de dispersión y mezclado del tornillo se encuentran localizadas en la zona de dosificación (última sección del tornillo); lo cual frecuentemente genera merma en la producción. En cilindros acanalados los mejores resultados se han obtenido ubicando las etapas de mezclado a dos tercios (2/3) de la longitud del tornillo. Esta ubicación promueve la dispersión de aglomerados y la finalización de la fusión.

#### IV.II.VI CONTROL DE LA TEMPERATURA EN LOS CILINDROS

Sistema de calentamiento del cilindro: El calentamiento del cilindro se produce, casi exclusivamente, mediante resistencias eléctricas. El sistema de calentamiento de la extrusora es responsable de suministrar entre un 20-30% del calor necesario para fundir la resina. Para suministrar el calor requerido, el calentamiento suele ser de 25 a 50 vatios/in<sup>2</sup>(38750 a 77500 W/m<sup>2</sup>).

#### IV.II.VII SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL CILINDRO

Aunque pueda lucir contradictorio, cada zona de calentamiento del tornillo de la extrusora está acompañada, en la mayor parte de los equipos comerciales, de un ventilador el cual permite el control de la temperatura eliminando calor de la extrusora mediante el flujo de aire sobre la superficie requerida. Los ventiladores son accionados por controladores de temperatura que comandan la operación de los calefactores eléctricos.

#### IV.II.VIII EL MOTOR

El motor eléctrico de la extrusora es el componente del equipo responsable de suministrar la energía necesaria para producir: la alimentación de la resina, parte de su fusión (70 a 80%), su transporte y el bombeo a través del cabezal y la boquilla. Los motores incorporados en las líneas de extrusión son eléctricos y operan con voltajes de 220 y 440 V.

Las extrusoras modernas emplean motores CA (corriente alterna), ya que permiten un amplio rango de velocidades de giro, bajo nivel de ruido y un preciso control de la velocidad. Se recomienda que la potencia de diseño sea de 1 HP por cada 10 a 15 lb/h de caudal.

#### IV.II.IX EL CABEZAL Y EL PLATO ROMPEDOR

El componente de la línea denominado cabezal, es el responsable de conformar o proporcionar la forma del extrusado. De forma detallada, los principales componentes de un cabezal para la extrusión son:

- ✓ **Plato rompedor y filtros:** Constituyen el punto de transición entre la extrusora y el cabezal. A estos componentes les corresponde una parte importante de la calidad del material extrusado. El plato rompedor es el primer elemento del cabezal destinado a romper con el patrón de flujo en espiral que el tornillo imparte; mientras que la función de los filtros es la de eliminar del

extrusado partículas y/o grumos provenientes de impurezas, carbonización, pigmentos y/o aditivos. (Ver figura IV.VI).

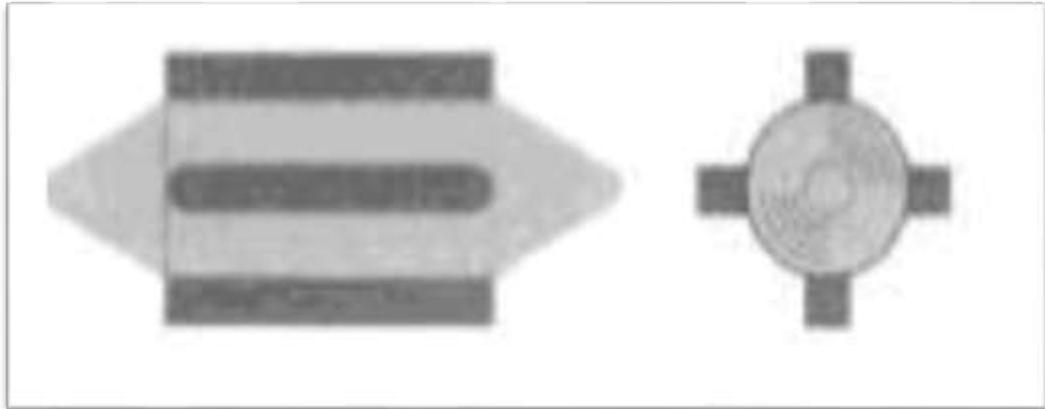


*FUNETE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO*

**FIGURA: IV.VI PLATO ROMPEDOR Y FILTRO**

En lo que respecta a su diseño, el plato rompedor no es más que una placa cilíndrica. Por otro lado, las mallas deben ser fabricadas con acero inoxidable, ya que las compuestas con cobre o bronce tienen un efecto catalítico sobre las reacciones termo-oxidativas.

Torpedo: Algunos cabezales de extrusión suelen presentar en el ducto de acople entre la extrusora y el cabezal, un elemento que contribuye con la función del plato rompedor (modificar el patrón de flujo en espiral a uno longitudinal). Por su geometría, a este dispositivo se le suele denominar torpedo. (Ver figura IV.VII).



*FUNETE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO*

**FIGURA: IV.VII TORPEDO**

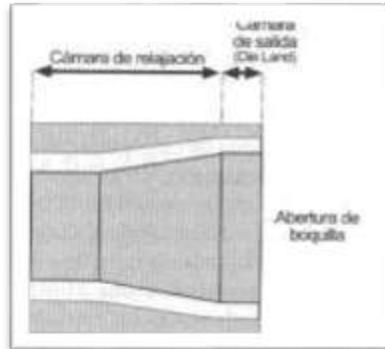
- ✓ **Boquilla:** La boquilla de extrusión es el componente del cabezal encargado de la conformación final del extrusado. Se debe velar por que el polímero fluya, con volumen y velocidad de flujo uniforme, alrededor de toda la circunferencia de la boquilla, de manera de lograr espesores uniformes. Los diseños actuales de boquillas presentan dos secciones claramente definidas.

La primera de estas secciones es conocida como: cámara de relajación; mientras que la segunda puede ser llamada cámara de salida. La cámara de relajación de la boquilla tiene como propósito producir la desaceleración del material e incrementar el tiempo de residencia en la boquilla de manera tal que el polímero relaje los esfuerzos impartidos por el paso a través de los paquetes de filtros y el plato rompedor.

La cámara de descarga produce el formado del perfil deseado con las dimensiones requeridas. Los parámetros básicos para la especificación de una boquilla son:

El diámetro y la abertura de la salida, Adaptadores: Son requeridos cuando la boquilla no es diseñada específicamente para un determinado extrusor. Debido a

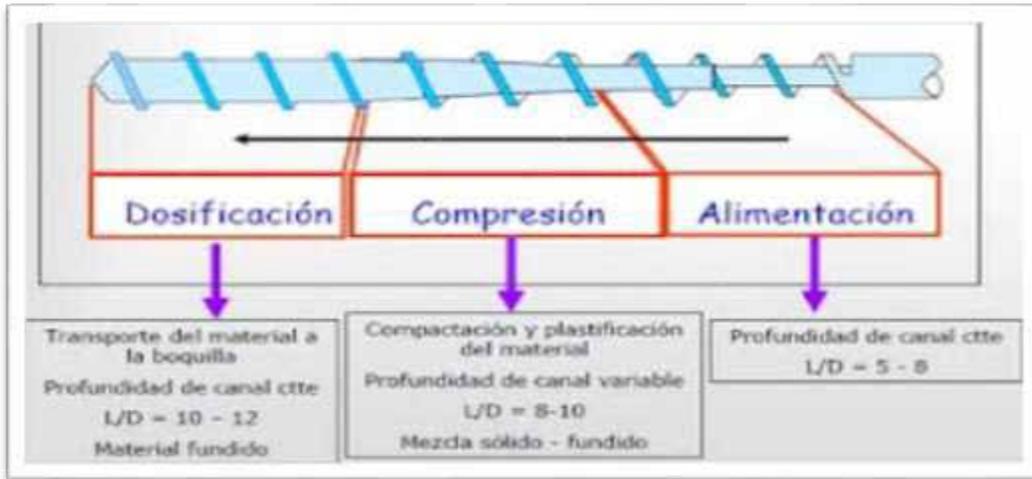
que los fabricantes de extrusoras y boquillas no siempre son los mismos, el uso de adaptadores suele ser común. (Ver figura IV.VIII).



*FUNETE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO*

**FIGURA: IV.VIII SECCIÓN DE UNA BOQUILLA CIRCULAR DE EXTRUSIÓN**

- ✓ **Alabes o Filetes o Paleta Pistón:** Los alabes o filetes, que recorren el husillo de un extremo al otro, son los verdaderos impulsores del material a través del extrusor. Las dimensiones y formas que éstos tengan, determinará el tipo de material que se pueda procesar y la calidad de mezclado de la masa al salir del equipo. En un tornillo de extrusión se pueden distinguir tres zonas características: zona de alimentación, zona de compresión y la zona de dosificación. (Ver figura IV.IX).



FUNETE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

FIGURA: IV.IX DISTRIBUCIÓN DE LA PALETA DE PRESIÓN

- ✓ **Zona de Alimentación:** En esta parte, los filetes (distancia entre el extremo del filete y la parte central o raíz del husillo) son muy pronunciados con el objeto de transportar una gran cantidad de material al interior del extrusor, aceptado el material sin fundir y aire que está atrapado entre el material sólido (Ver figura IV.X)



FUNETE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

FIGURA: IV.X ZONA DE ALIMENTACIÓN DE LA EXTRUSORA

- ✓ **Zona de compresión:** los filetes del tornillo decrecen gradualmente (compactación) y se expulsa el aire atrapado entre los pellets. Cumple la función de fundir y homogenizar el material. (Ver figura IV.XI)
  
- ✓ **Zona de dosificación:** Ejerce presión sobre el material para dosificarlo hacia el cabezal y garantiza que el material salga de la extrusora homogéneo, a la misma temperatura y presión.



FUNETE: INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

FIGURA: IV.XI ZONA DE COMPRESIÓN DE LA EXTRUSORA

### IV.III DIAGRAMA HOMBRE MÁQUINA

El diagrama Hombre Máquina es la representación gráfica de la secuencia de elementos que componen las operaciones en que intervienen hombres y máquinas. (Ver tabla IV.III). Cuyo objetivo es:

1. Conocer el tiempo invertido por el operario y el utilizado por la máquina.
2. Determinar la eficiencia de los hombres y de las máquinas para utilizarlos al máximo.
3. Mejorar una sola estación de trabajo a la vez.

A continuación se presenta el diagrama Hombre Máquina del equipo extrusor YH-600

<b>DIAGRAMA HOMBRE MÁQUINA</b>		
OPERACIÓN	EXTRUSIÓN	
MÁQUINA TIPO:		
DEPARTAMENTO	PRODUCCION	
<b>OPERARIO</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>MÁQUINA</b>
Revisar el estado del extrusor y limpieza	10.9 min.	Tiempo muerto 10.9 min.
Arranque de la extrusora y control de velocidad	13.9 min.	Arranque de máquina 3 min.
Comprobación de la mezcla de materiales y aditivos necesarios	21.9 min.	Tiempo muerto 8 min.
Acomodo de las tarimas	24.9 min.	Tiempo muerto 3 min.
Programación de la extrusora en el panel de control	32.9 min.	Programación de la extrusora 8 min.
Colocación de la granza en el panel de la extrusora	38.9 min.	Tiempo muerto 6 min.
colocación del rollo de película en el deseen bobinador	43.9 min.	Tiempo muerto 5 min.
Esperar que la máquina realice el proceso	103.9 min.	Proceso 60 min.
Se recoge el material fundido una vez que se enfría en forma de bobina	109.9 min.	Tiempo muerto 6 min.
Se pesan y se embalan para protegerlas de golpes	113.9 min.	Tiempo muerto 4 min.

**TABLA IV.III DIAGRAMA HOMBRE MÁQUINA**

También se realizan los cálculos para saber el tiempo que se lleva la elaboración y la cantidad de materia prima para la elaboración de bolsas de polietileno.

Ciclo total del operador = preparar + hacer + retirar + inspección

Ciclo total del operador = 53.9 min.

Ciclo total de la máquina = preparar + hacer + retirar.

Ciclo total de la máquina = 71 min.

Tiempo productivo de la máquina = hacer

Tiempo productivo de la máquina = 60 min.

Tiempo improductivo del operador = espera (ocio del operador)

Tiempo improductivo del operador = 60 min.

Tiempo improductivo de la máquina = ocio (ocio de la máquina)

Tiempo improductivo de la máquina = 53.9 min.

$$\begin{aligned} \text{Utilización del Operador (\%)} &= \frac{53.9 \text{ min. tiempo productivo del operador}}{113.9 \text{ min. Tiempo del ciclo}} \\ &= 0.473 = 47.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ocio del operador (\%)} &= \frac{60 \text{ min. tiempo improductivo del operador}}{113.9 \text{ min. Tiempo total del ciclo}} \\ &= 0.526 = 52.6\% \end{aligned}$$

Si, el tiempo de ocio del hombre  $>$  tiempo de ocio de la máquina. Entonces el hombre puede atender más de una máquina.

Si, el tiempo de ocio del hombre  $<$  tiempo de ocio de la máquina. Entonces la máquina requiere varios operadores.

Por lo tanto determinamos que un operador puede atender hasta 2 máquinas.

#### **IV.III.I REALIZACIÓN DEL PROCESO POR LA MÁQUINA**

- Se pone en un funcionamiento la máquina pasando la película por el sistema de sellado longitudinal, que es un dispositivo compuesto por un cono y un sellador longitudinal que tiene la función de transformar la película plana en una película tubular, para ello la película plana pasa a través de un cono el cual la enrolla y hace que sus extremos laterales se traslapen entre sí (1 cm), posteriormente un sellador funde dichos extremos a lo largo, confeccionando una película tubular cerrada (se da el ancho de la bolsa).
- La película tubular pasa entre dos rodillos horizontales que están uno pegado al otro los cuales la aplanan convirtiéndola en una película plana doble.
- La película plana doble pasa por una barra caliente (entre 350 °C y 400°C) llamada mordaza para sello de fondo y corte que está a todo lo ancho de la bolseadora la cual tiene un movimiento de sube y baja a la velocidad de producción programada (bolsas por ciclo),
- Cuando baja dicha barra caliente, toca la película plana doble en todo su ancho y funde las dos caras de dicha película entre sí formando el sello del fondo de la bolsa.

- Inmediatamente después de que se forma el sello de fondo cae una cuchilla a manera de guillotina la cual separa la bolsa formada del resto de la película plana doble.

#### IV.IV DISEÑO DEL SISTEMA

Actualmente la empresa cuenta con 10 máquinas las cuales trabajan con especificaciones diferentes para los diseños de bolsas. El estudio que se realizará solo se tomarán 3 máquinas las cuales elaboran bolsas de 20 x 30 cms, esto debido a que es la que más demandan los clientes principales.

En la actualidad se cuentan con 3 clientes que demandan semanalmente 1, 380,000 de bolsas, pero existe otro cliente adicional que requiere 570,000 de bolsas también cada 5 días. Por lo tanto se generaría una producción de 1, 950,000 semanal.

Es por ello que desea la Dirección General saber si con 3 máquinas borseadoras específicamente pueden satisfacer esa demanda en forma anual. Para ello se presenta el estudio de producción de este tipo de bolsa específicamente; ya que los 7 equipos tienen programación por lote o intermitente de productos.

Por lo que cada 1,000 piezas de 20 micras tienen un peso de 2.4kg (2,400gr), de ahí que el peso en gramos de cada bolsa sea de 2.4 gramos por bolsa (0.0024kg por bolsa), esto es.

$$\frac{2,400gr}{1,000 \text{ bolsas}} = 2.4 \frac{gr}{bolsa}$$

De acuerdo a las dimensiones de la bolsa y el peso tenemos que una bolsa de 20 x 30 cms pesa 0.144 Kg. /m<sup>2</sup>

$$0.20 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 2.4 \text{ Kg.} = 0.144 \text{ Kg. /m}^2$$

Dada la velocidad de producción de la máquina bolseadora YH-600 (Velocidad de fabricación de la bolsa 60 piezas/minuto\*4), se tiene el siguiente análisis para determinar la producción de bolsas en 1 hora por máquina:

La máquina bolseadora cuenta con cuatro carriles, por lo que produce 4 bolsas por segundo.

$$1 \text{ hora} = 3,600 \text{ segundos}$$

Por lo tanto, para saber cuántas bolsas produce 1 máquina bolseadora en 1 hora se tiene lo siguiente:

$$3,600 \text{ segundos} \times 4 \text{ bolsas} = 14,400 \text{ bolsas por máquina en una hora}$$

Ya que la máquina solo tiene programaciones por hora obtendremos 3,600 bolsas x carril.

$$\frac{14,400 \text{ bolsas por máquina en una hora}}{4 \text{ carriles}} = 3,600 \text{ bolsas x carril}$$

Por lo tanto obtendremos 518.4 Kg., por carril de bobina

$$3600 \text{ bolsas} \times \text{carril} \times 0.144 \text{ peso de una bolsa} = 518.4 \text{ Kg.}$$

Para determinar cuántas bolsas se producen por turno tenemos que el tiempo total hombre máquina es de 113.9min y el ciclo lo podrá realizar 3 veces

7 horas de jornada laboral x 60 min. = 420 min. De jornada laboral

$\frac{420 \text{ min de jornada laboral}}{113.9 \text{ min hombre máquina}} = 3.78 \text{ ciclos x jornada laboral}$

Una máquina produce 43,200 bolsas en una jornada laboral

3 ciclos de producción x 14,400 bolsas x máquina = 43,200 bolsas x máquina

Considerando que se utilizan 3 máquinas para dicho proceso tenemos una producción por turno de

43,200 bolsas x máquina x 3 máquinas = 129,600 bolsas x turno

El segundo turno cuenta con las mismas 7 horas de jornada laboral por lo tanto también se producen 129,600 bolsas x turno entre los 2 turnos tenemos 259,200 bolsas

129.600 bolsas x turno x 2 turnos = 259,200 bolsas por 2 turnos.

A la semana tenemos una producción de 1, 555,200 bolsas

259,200 bolsas por 2 turnos x 6 días = 1, 555,200 bolsas a la semana.

Por lo tanto se satisface la demanda de los clientes con un sobrante de 175,200 bolsas.

1, 555,200 bolsas a la semana- 1, 380,000 demanda semanal= 175,200 de sobrante

Para satisfacer la demanda del cuarto cliente se maneja un tercer turno el cual se labora de 22 pm a 6 am 5 días a la semana por lo tanto obtendremos.

$129,600 \text{ bolsas} \times \text{turno} \times 5 \text{ días laborados} = 648,000 \text{ bolsas del tercer turno}$

Por los tres turnos se producen semanalmente

$1,555,200 \text{ por los 2 turnos} + 648,000 \text{ del tercer turno} = 2,203,200 \text{ bolsas}$

Por lo tanto se cubriría la demanda del cuarto cliente con un sobrante de 253,200 bolsas

$2,203,200 \text{ bolsas} - 1,950,000 \text{ de demanda} = 253,200 \text{ bolsas}$

En la tabla IV.IV se muestra la producción actual de la empresa

	SEMANAL	MENSUAL	ANUAL
PRIMER TURNO	777,600	3,110,400	37,324,800
SEGUNDO TURNO	777,600	3,110,400	37,324,800
TOTAL	1,555,200	6,220,800	74,649,600

**TABLA IV.IV PRODUCCIÓN ACTUAL**

En la tabla IV.V se muestra la producción propuesta

	SEMANAL	MENSUAL	ANUAL
PRIMER TURNO	777,600	3,110,400	37,324,800
SEGUNDO TURNO	777,600	3,110,400	37,324,800
TERCER TURNO	648,000	2,592,000	31,104,000
TOTAL	2,203,200	8,812,800	105,753,600

**TABLA IV.V PRODUCCIÓN PROPUESTA**

#### IV.IV.I PRONÓSTICO

Pronosticar consiste en utilizar datos pasados para determinar acontecimientos futuros mediante algún tipo de modelo matemático. Puede ser una predicción del futuro subjetiva o intuitiva. O bien una combinación de ambas, es decir, un modelo matemático ajustado por el buen juicio de un administrador. Los pronósticos a menudo son utilizados para poder predecir la demanda del consumidor de productos o servicios, aunque se pueden predecir una amplia gama de sucesos futuros que pudieran de manera potencial influir en el éxito. Los tipos de pronóstico más recurrentes están descritos a continuación:

**Pronóstico a corto plazo.** Este tiene un lapso de hasta un año, pero es generalmente menor a tres meses. Se utiliza para planear las compras, programación de planta, niveles de fuerza laboral, asignaciones de trabajo y niveles de producción.

**Pronóstico a mediano plazo.** Un pronóstico de rango mediano, o intermedio, generalmente con un lapso de tres meses a tres años. Es valioso en la planeación de producción y presupuestos, planeación de ventas, presupuestos de efectivo, y el análisis de varios planes de operación.

**Pronóstico a largo plazo.** Generalmente con lapsos de tres años o más, los pronósticos a largo plazo se utilizan para planear nuevos Productos desembolsos de capital, localización e instalaciones o su expansión, y la investigación y el desarrollo

**Pronósticos económicos** marcan el ciclo del negocio al predecir las tasas de inflación, oferta de dinero, nuevas construcciones, y otros indicadores de planeación.

**Pronósticos tecnológicos** tienen que ver con las tasas de progreso tecnológico, que pueden dar por resultado el nacimiento de productos novedosos, que requieren nuevas plantas y equipo.

**Pronósticos de demanda** son proyecciones de la demanda para los productos o servicios de una compañía. Estos pronósticos, también llamados

Pronósticos de ventas, conducen la producción de una compañía, la capacidad, y los sistemas de programación, y sirven como insumos a la planeación financiera, de mercado y de personal.

**Pronósticos cuantitativos** manejan una variedad de modelos matemáticos que utilizan datos históricos y/o variables causales para pronosticar la demanda.

**Pronósticos cualitativos** o subjetivos incorporan factores importantes tales como la intuición, emociones, experiencias personales del que toma la decisión, y sistema de valores para alcanzar un pronóstico. Algunas compañías utilizan la otra; pero en la práctica una combinación o mezcla de los dos estilos es generalmente más efectivo.

En la siguiente tabla (Ver tabla IV.VI) se realiza el pronóstico a largo plazo de la empresa. La figura IV.XII se muestra la representación gráfica del pronóstico.

	2013	2018	2024	2029	2034
PRIMER TURNO	777,600	972,000	1,166,400	1341360	1475496
SEGUNDO TUENO	777,600	972,000	1,166,400	1341360	1475496
TERCER TURNO	648,000	810,000	972,000	1117800	1229580
TOTAL	2,203,200	2,754,000	3,304,800	3,800,520	4,180,572
CRECIMIENTO		550,800	550,800	495,720	380,052

TABLA IV.VI PRONÓSTICO POR TURNO EN EL PERIODO

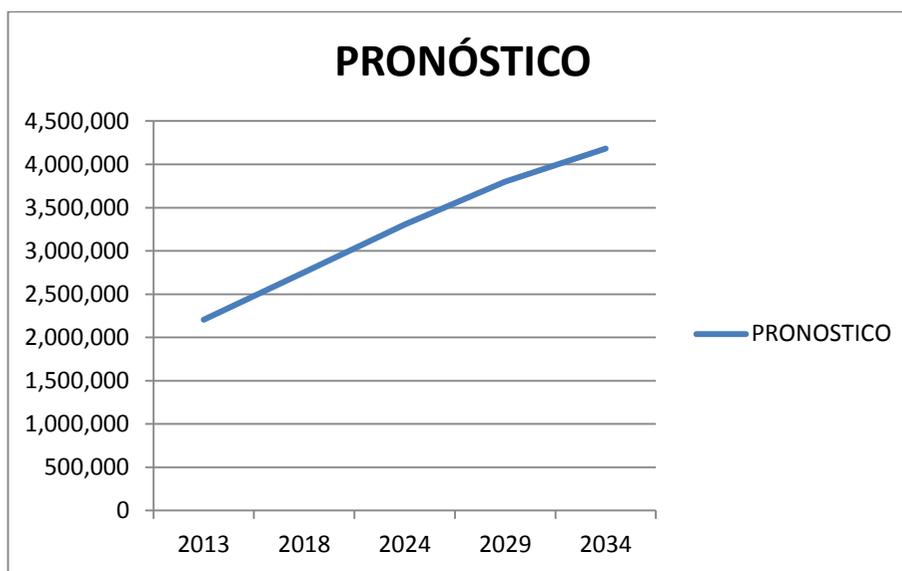


FIGURA IV.XII GRÁFICA DEL PRONÓSTICO DESDE 2013 HASTA 2034

En la siguiente tabla (Ver tabla IV.VII) se muestran las máquinas extras que se requerirán en los próximos años debido al aumento de producción.

Para el 2018 se requerirá una máquina adicional a las 10 existentes que solo labore el primer y el segundo turno.

Para el 2024 se requerirá ampliar a un tercer turno donde dicha máquina estará trabajando al 100%. Así como la compra de una segunda máquina utilizando solo el primer turno; con lo cual ya serán 12 extrusoras bolseadoras.

Para el 2029 se abrirá un segundo y tercer turno. Para ello se utilizará la máquina que se adquirió en 2018.

Para el 2034 se comprará una tercera máquina utilizando solo el primer turno. Produciendo un sobrante de 3,828 bolsas.

A continuación se presenta gráficamente y en forma tabular el programa para producir las bolsas de plástico de 20 por 30 cms, en el periodo 2013-2034 así como

los equipos adicionales para su producción en los tres turnos de producción propuestos.

	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3	SOBRANTE DE AÑOS PASADOS	TOTAL DE PRODUCCION	DIFERENCIA DE PRODUCCION DEL 2018 AL 2034
MÁQUINA 11	259,200	259,200		253,200	771,600	550,800
MÁQUINA 11	259,200	259,200	216,000	220,800	696,000	550,800
MÁQUINA 12	259,200	259,200	216,000	145,200	620,400	495,720
MÁQUINA 13	259,200			124,680	383,880	380,052
				3,828		

TABLA IV.VII MÁQUINARÍA A UTILIZAR

#### IV. V DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

Una buena distribución de planta es la que proporciona condiciones de trabajo aceptables y permite la operación más económica, a la vez mantiene las condiciones óptimas de seguridad y bienestar para los trabajadores.

Los objetivos y principios básicos de una distribución de planta son los siguientes:

- 1- Integración total:** Consiste en integrar en lo posible todos los factores que afectan a la distribución, para obtener una visión de todo el conjunto y la importancia relativa de cada factor.

- 2- **Mínima distancia de Recorrido:** Al tener una visión general de todo el conjunto, se debe tratar de reducir en lo posible el manejo de materiales, trazando el mejor flujo.
- 3- **Utilización del espacio cubico:** Aunque el espacio cubico es de tres dimensiones, poca veces se piensa en el espacio vertical.
- 4- **Seguridad y bienestar para el trabajador:** Esto debe ser uno de los objetivos principales en toda distribución.
- 5- **Flexibilidad:** Se debe obtener una distribución fácilmente reajutable a los cambios que exija el medio, para poder cambiar el tipo de proceso de la manera más económica, si fuera necesario. (Gabriel Baca Urbina, Evaluación de Proyectos).

#### IV. V.I DISTRIBUCIÓN DE LA NUEVA PLANTA

Para el 2012 se pretende establecer una línea de producción en la fabricación repetitiva como puesto de trabajo. Al utilizar las líneas de producción, se pueden registrar las estaciones de tratamiento en un entorno repetitivo o de proceso con muchos más detalles de los necesarios. De este modo se utiliza un reacomodo de la maquinaria. (Ver figura IV.XIII)

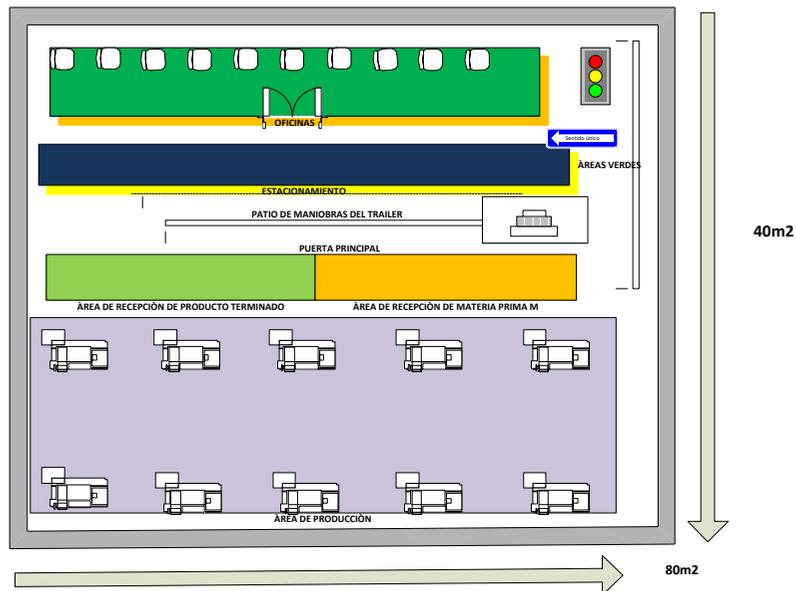


FIGURA IV. XIII PLANTA

Para el 2018 se requerirá una máquina adicional a las 10 existentes que solo labore el primer y el segundo turno. Para obtener una producción de 771,600 bolsas. (Ver figura IV.XIV)

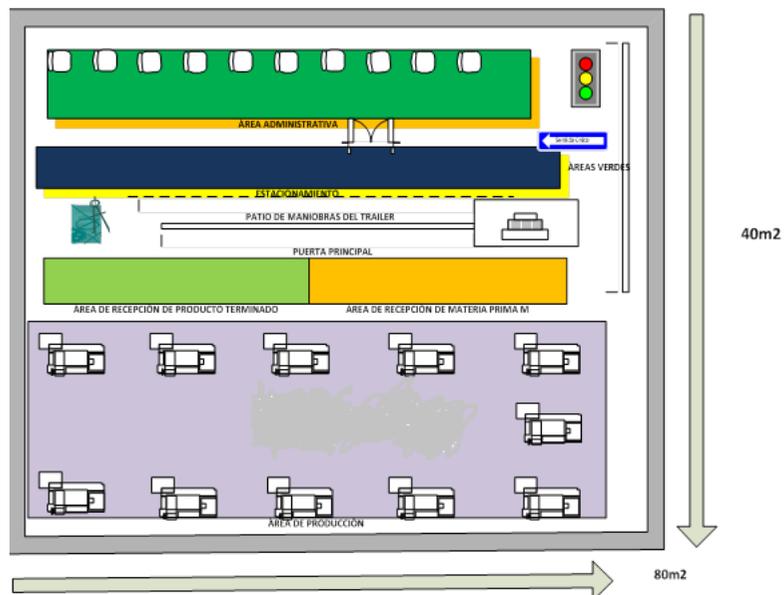


FIGURA IV. XIV PLANTA CON 11 MÁQUINAS

Para el 2024 se comprara una segunda máquina utilizando solo el primer turno. Con lo cual ya serán 12 extrusoras bolseadoras. (Ver figura IV.XV).

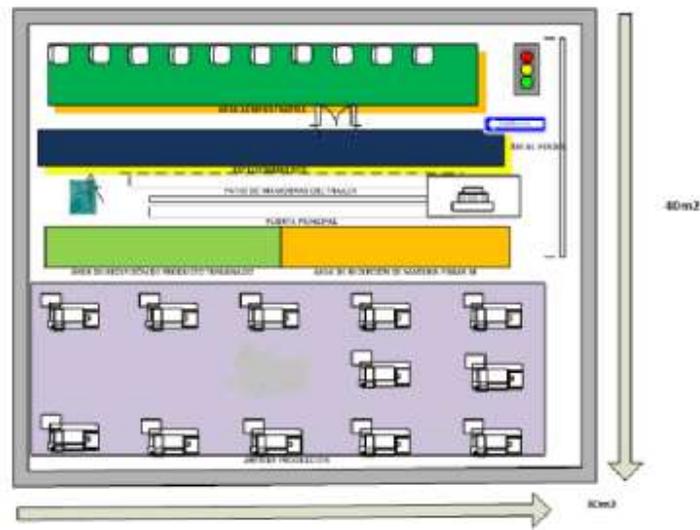


FIGURA IV.XV PLANTA CON 12 MÁQUINAS

Para el 2034 se comprara una tercera máquina utilizando solo el primer turno. Con lo cual ya serán 13 extrusoras bolseadoras. (Ver figura IV.XVI)

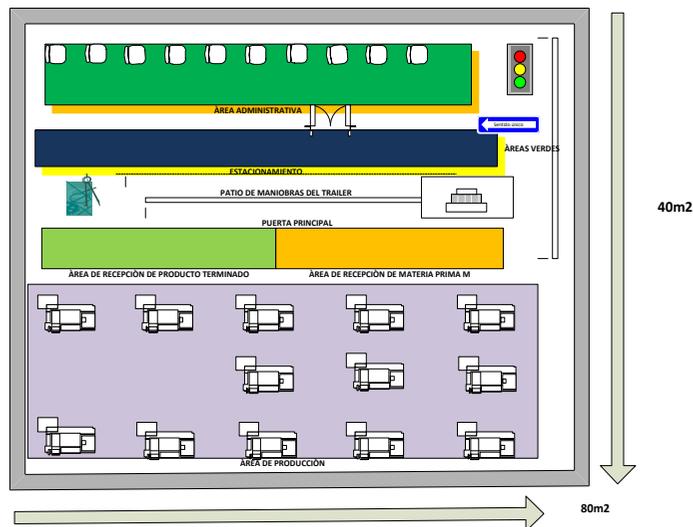


FIGURA IV.XVI PLANTA CON 13 MÁQUINAS

# CONCLUSIONES

Con la manufactura para la elaboración de bolsas de polietileno se puede obtener un gran rendimiento económico ya que se permite por medio de una distribución y maquinaria adecuada, satisfacer una demanda diaria a las principales empresas como tiendas de autoservicios, distribuidores, etc.

A base de una buena planeación se puede obtener una mejor eficiencia de las máquinas que elaboran este producto, es decir aprovechar casi en su totalidad su tiempo productivo y así poder satisfacer las necesidades de los demandantes o clientes.

Por lo tanto para este caso se tiene la cantidad de máquinas a utilizar así como los tiempos a laborar de los empleados y las cargas de trabajo de producción por cada equipo así como el pronóstico de ventas que se pretende obtener para tiempo futuro todo esto en base a una planeación previa.

La cual permite ver la factibilidad de establecer una o varias líneas de producción así como el establecimiento de un segundo y tercer turno para satisfacer la demanda esperada de los clientes y aprovechar al 100 % la capacidad productiva en cada turno

El diseño del sistema productivo se enfoca a una medida de bolsa de plástico ya que está sistematizado se puede producir cualquier cantidad de bolsas de polietileno de baja densidad incluyendo reservas para el stock, en el almacén de producto terminado.

# ANÉXO

## MAQUINARÍA

Una máquina es un conjunto de elementos móviles o fijos cuyo funcionamiento realiza un trabajo con un fin determinado.

En la siguiente tabla se muestran las características de la bolseadora

Máquina	Características
<p data-bbox="310 838 724 872"><b>Bolseadora Modelo YH-600</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="906 838 1430 927">• Ancho máximo de bolsa 160 mm-260mm</li> <li data-bbox="906 953 1430 1042">• Longitud máxima de bolsa 320 mm-650mm</li> <li data-bbox="906 1068 1430 1157">• Espesor de la bolsa 0.015 mm-0.035 mm</li> <li data-bbox="906 1183 1430 1217">• Operarios en la máquina 1-3</li> <li data-bbox="906 1242 1430 1332">• Velocidad de fabricación de la bolsa 60-100 piezas/minuto*4             <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="971 1357 1430 1391">• Presión de aire 5 kg/cm<sup>2</sup></li> <li data-bbox="971 1417 1430 1451">• Potencia total 7Kw/h</li> </ul> </li> <li data-bbox="906 1476 1430 1510">• Peso de la máquina 1,300 kg</li> <li data-bbox="906 1536 1430 1625">• Dimensiones externas (LxAxA) 5,000 mm x 2,000 mm x 1,800 mm</li> </ul>

CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA BOLSEADORA

En la siguiente tabla se muestran las características de montacargas que se utiliza para maniobrar el producto

Máquina	Características
<p data-bbox="365 576 618 608">Modelo 7FBEU18</p> 	<ul data-bbox="862 634 1356 1410" style="list-style-type: none"><li>• Capacidad de carga 4000 kg<ul style="list-style-type: none"><li>• Largo 2.5m</li><li>• Ancho 2.5m</li><li>• Voltaje 7.8/9 volts</li></ul></li><li>• Ángulo derecho básico de pila 77.2 pulgadas</li><li>• Pendiente máxima a plena carga 3 min, clasificación (%) 16</li><li>• Elevación máxima velocidad a plena carga 59/75 Ppm</li><li>• Viajes máxima velocidad de la carga completa del amortiguador neumático 7.8/9 mph</li></ul>

#### CARACTERÍSTICAS DEL MONTACARGAS

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones con las que cuentan las tarimas que se utilizan

<p style="text-align: center;"><b>Tarimas de Plástico</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Largo de 1.2m</li><li>• Ancho de 1.2 m</li><li>• Espesor de 2.5 m,</li></ul>
---	--

**CARACTERÍSTICAS DELAS TARIMAS**

En el siguiente recuadro se muestran las características de los tracto camiones

<p>Tracto camiones con un solo cajón</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Largo de 13 m</li><li>• Ancho de 2.5 m</li><li>• Altura de 4 m,</li><li>• Largo total del tractocamión de 18 m .</li></ul>
--	--

**CARATERÍSTICAS DEL TRACTOCAMIÓN**

# BIBLIOGRAFÍA

- Baca Urbina, Gabriel

**Evaluación de Proyectos**

Mc Graw Hill 5ta. Edición

- **Introducción al Estudio del Trabajo**

Oficina Internacional del Trabajo

Limusa Editores.

- Charmer, Jean-Michael

**Polymeric Materials and Processing**

Hanser Publishers

- Richardson & Lokensgard

**Industria del Plástico- Plástico Industrial**

Limusa Editores

- Schwarz, Otto

**Ciencia de los Plásticos**

Costa Nogal

- Ureta Barrón, Ernesto

**Estabilizadores Térmicos y otros Aditivos para PVC**