

18

2 y.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**PERFIL TECNICO-ECONOMICO PARA UNA PLANTA  
RECUPERADORA DE POLIETILENTEREFTALATO**

**T E S I S**

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

**ALFONSO JIMENEZ HERNANDEZ  
JUAN GUERRERO HERNANDEZ  
MARTIN RAMIREZ CABALLERO**

**U N A M  
F E S  
Z A R A G O Z A**



**ASESOR: I. O. FERNANDO HERRERA JUAREZ**

**MEXICO, D. F.**

**1997.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES \*ZARAGOZA\***

**JEFATURA DE LA CARRERA DE  
INGENIERIA QUIMICA**

**OF/082/030/96**

**C. Juan Guerrero Hernández  
Alfonso Jiménez Hernández y  
Martín Ramírez Caballero,  
P r e s e n t e.**

**En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, los comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:**

- Presidente:** *Ing. Fernando Herrera Juárez*  
**Vocal:** *Ing. Cornelio Hernández Pulido*  
**Secretario:** *Ing. Roberto Mendoza Serna*  
**Suplente:** *Ing. Roberto Ramírez Torres*  
**Suplente:** *Ing. Flora Antor Hernández*

**A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

**México, D.F., 21 de Octubre 1996**

**Ing. Magín Enrique Juárez Villar  
Jefe de la Carrera**

DEDICATORIA

**A MI MADRE**

**María del Refúgio Hernández Altamirano**

LA SEMILLA QUE SEMBRO CON AMOR PROLIFERO. AL PASO DEL TIEMPO LA REGO  
DIARIAMENTE CON TERNURA Y CARIÑO; ESA SEMILLA QUE BROTO HACE ALGUN  
TIEMPO, AHORA ES UN ARBOL QUE A DADO SUS PRIMEROS FRUTOS.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MI MADRE**

#### **MARIA DEL REFUGIO HERNANDEZ ALTAMIRANO**

Primeramente agradezco de todo corazón por haberme dado la oportunidad de vivir, por otro lado jamás le podre pagar lo que a hecho por mí. El amor, el cariño, la ternura y la protección que me has brindado me dieron las fuerzas y ganas de seguir viviendo para ti y para triunfar. La única manera de poderte responder es brindandote con todo mi amor este libro.

### **A MI ESPOSA Y EL SER QUE VIENE EN CAMINO**

#### **ADRIANA LEDEZMA CUEVAS**

Que en todo momento has estado conmigo y tenido la paciencia de esperarme muchos años; y tenerte a mi lado siempre, tanto en lo próspero como en lo adverso, dandome siempre tu comprensión y apoyo. Agradezco infinitamente la oportunidad que me has brindado para conocer el sentimiento sublime de ser padre, mostrandome en cada detalle el gran amor que me has profesado, fortaleciendo con ello mi espíritu y poder superar cualquier obstáculo que se interponga en mi camino.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MIS HERMANOS**

#### **BENJAMIN JIMENEZ.**

Que con palabras y hechos me has demostrado que no existen obstáculos en la vida que no se puedan superar, he ahí que dice: El que quiere puede, el que puede lo logra y el que lo logra es un triunfador.

#### **SABINO JIMENEZ.**

Que asumiste la responsabilidad de un padre y darme a mí la protección, cuidado y cariño que se le debe de dar a un hijo. Como hermano me encaminaste por el lado indicado, me enseñaste a distinguir lo que es lo bueno y lo malo, que lo sigues haciendo hasta la fecha. La única manera de agradecerle todo lo que has hecho por mí. Demostrandote que la meta que me fijé la he cumplido y terminado

#### **MATEO JIMENEZ.**

Que túvo la responsabilidad de cuidarme y enseñarme lo que se debe de hacer en la vida, para que así pueda lograr las metas que uno se propone. Agradezco el amor y la bondad que me has brindado como hermano

### **CUÑADAS**

**Delfina, Bertha, Marisela.**

### **TIOS**

**Felipe Hdez Chamú, Nicasio Hdez, Altamirano, Pedro Hdez, Altamirano, Jesús Díaz.**

### **PRIMOS**

**J. Guadalupe Hdez, Hdez, Anatolio Mendoza Hdez, Damián Mendoza Hdez.**

**DEDICATORIA**

**PARA MI MADRE:**

**CRISTINA HERNANDEZ MORALES**

**QUIEN CREÉ EN MIS METAS Y  
HASTA ME AYUDA A LUCHAR POR ELLAS.**

**PARA MI PADRE:**

**JUAN GUERRERO DE LA ROSA**

**EL MEJOR LEGADO DE UN PADRE A UN  
HIJO ES UN POCO DE SU TIEMPO CUANDO  
SE NECESITO.**

**PARA MIS HERMANOS:**

**ALEJANDRO, MA. DE JESÚS Y LAURA:**

**POR ENTENDERME Y AYUDARME A COMPARTIR  
CON ELLOS LA FACTURA QUE NOS PRESENTA LA  
VIDA.**

**A MIS ABUELOS(Q E P.D.)**

**JUANA MORALES Y JUAN HERNANDEZ**

**QUE FUERON COMO UNOS SEGUNDOS PADRES.**

**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS QUE CON SU SOLA PRESENCIA  
ME IMPULSABAN A SEGUIR.**

**NO SIEMPRE GANA DISTANCIA  
EL HOMBRE QUE MAS CAMINA,  
A VECES POR IGNORANCIA  
ANDAR SE VUELVE RUTINA.**

## ÍNDICE

	PAGINA
LISTA DE TABLAS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE GRÁFICAS	iv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	5
ANTECEDENTES GENERALES DE LOS PLÁSTICOS	
CAPÍTULO II	13
ESTUDIO GENERAL DE LOS PRINCIPALES PLÁSTICOS DE INGENIERÍA	
CAPÍTULO III	31
ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES POLIÉSTERES	
CAPÍTULO IV	38
ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PET Y TPA	
CAPÍTULO V	83
DISEÑO DE UN PROCESO PARA UNA PLANTA RECUPERADORA DE PET	
CAPÍTULO VI	93
INGENIERÍA BÁSICA PARA UNA PLANTA RECUPERADORA DE PET	
CAPÍTULO VII	123
ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
BIBLIOGRAFÍA	137
APÉNDICE A	141
APÉNDICE B	145

## LISTA DE TABLAS

TABLA	PAGINA
1.1 MARCAS COMERCIALES DE ALGUNOS PLÁSTICOS	8
1.2 CLASIFICACION DE PLÁSTICOS	9
2.1 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS PLÁSTICOS DE INGENIERÍA	30
3.1 PROPIEDADES DEL POLIBUTILENTEREFTALATO	33
3.2 PROPIEDADES DE LOS COPOLIÉSTERES	34
3.3 USOS Y APLICACIONES DEL PET	37
4.1 PROPIEDADES GENERALES DEL POLIETILENTEREFTALATO	45
4.2 MERCADO NACIONAL DE PET (TON/AÑO)	62
4.3 PRINCIPALES PRODUCTORES DE PET EN EL MERCADO	64
4.4. PRINCIPALES PROPIEDADES DEL TPA	66
4.5 MERCADO NACIONAL DE TPA	69
4.6 VALOR CALORIFICO DE VARIOS MATERIALES PLÁSTICOS	72
4.7 GASTOS Y GANANCIAS PARA PRODUCIR TPA PARTIENDO DE PET	79
7.1 PRESUPUESTO DEL COSTO DE PRODUCCIÓN	128
7.2 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN FIJA DEL PROYECTO	129
7.3 FINANCIAMIENTO DEL 50 %	130
7.4 ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS CON FINANCIAMIENTO DEL 50 %	131
7.5 ESTADO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS SIN FINANCIAMIENTO	132
7.6 BALANCE GENERAL	133
7.7 ANÁLISIS DE RAZONES FINANCIERAS	134

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
A SECTORES QUE UTILIZAN LA MATERIA PRIMA PLÁSTICA	1
4.1 RUTAS ALTERNATIVAS EN LA OBTENCIÓN DE PET.	52
4.2 PRODUCCION DE PET A PARTIR DEL DIMETILTEREFTALATO Y ETILENGLICOL.	55
4.3 PRODUCCION DE PET A PARTIR DE ÁCIDO TEREFTALICO (TPA) Y ETILENGLICOL.	57
4.4 PRODUCCION DE PET A PARTIR DE ÁCIDO TEREFTALICO (TPA) Y OXIDO DE ETILENO	58
4.5 CONSUMO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.	80
4.6 CONSUMO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.	80
4.7 CONSUMO DE POLIETILENTEREFTALATO.	81
4.8 ESQUEMA GENERAL DE LAS ETAPAS DE RECICLADO DE ENVASES DE PET.	82
5.1 OBTENCIÓN DE ÁCIDO TEREFTALICO A PARTIR DE P-XILENO POR OXIDACION	85
5.2 OBTENCIÓN DE DIMETIL TEREFTALATO A PARTIR DE P-XILENO Y ALCOHOL METILICO.	88

## LISTA DE GRAFICAS

GRAFICA	PAGINA
4.1 PROPIEDADES DE BARRERA, COMPARATIVA DE TRANSMISIÓN DE CO <sub>2</sub>	47
4.2 PROPIEDADES DE BARRERA, COMPARATIVA DE TRANSMISIÓN DE O <sub>2</sub>	47
4.3 PROPIEDADES DE BARRERA, COMPARATIVA DE TRANSMISIÓN DE H <sub>2</sub> O	48
4.4 CONSUMO NACIONAL DE PET ( 1993 Y 1994 )	50
4.5 MERCADO NACIONAL DE PET	63
4.6 MERCADO NACIONAL DE TPA	70

## RESUMEN

En este trabajo, se elaboró el estudio de un proceso industrial para buscar que se aproveche y disminuir la cantidad de desechos plásticos, como es el polietilenterefalato (PET). El estudio incluye desde un planteamiento del problema en el área de los desechos de PET a nivel doméstico e industrial, hasta el diseño del proceso mismo para una planta recuperadora de PET.

Se realizó un estudio general de lo que es un plástico determinando lo que significa literal y real, hasta llegar a la clasificación de éstos y tomar la decisión de elegir al polietilenterefalato como el material plástico más factible tecnológicamente para su despolimerización.

Se realizaron los estudios económicos del PET y el TPA, para conocer todos y cada uno de los mercados que mantienen contacto con la producción y venta de éstos, así como, el estudio de los desechos que se generan por estos productos y cómo se tratan en su uso final.

Se obtuvo la producción teórica estimada del estudio económico y partiendo de este principalmente se realizó el diseño de una planta recuperadora de PET, desde su localización, hasta la ingeniería básica con todo lo que ésta incluye.

Finalmente se realizó un estudio económico-financiero, para demostrar la rentabilidad y factibilidad para la construcción de la planta.

**FUNDAMENTO DE ELECCIÓN DEL TEMA<sup>1,2,12</sup>**

Las necesidades de empaquetar y envasar artículos, han existido desde el primer momento en que aparece el comercio en el mundo

El hombre moderno impone formas de vida, en las que el consumo de materias primas se incrementa peligrosamente, especialmente la materia prima plástica que se utiliza en distintos sectores (figura A), todo esto por nuestro afán de vivir más comodamente y hacernos la vida más fácil, sin darnos cuenta de que estamos acabando los recursos naturales de la tierra.

La industrialización, producción y venta de toda clase de productos, muchas veces de innecesarios, ha traído como consecuencia la basura y contaminación del medio ambiente.

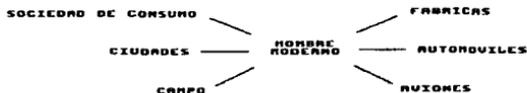


Figura A: sectores que utilizan la materia prima plástica para las necesidades del hombre moderno.

Los plásticos han tenido un amplio desarrollo en el siglo XX, debido a sus propiedades físicas, químicas, térmicas, ópticas, peso molecular y su facilidad de transformación, en México actualmente se destina más del 50% a la industria del envase y del empaque, distribuyendo su consumo especialmente en películas y botellas.

Dado el auge que a tenido el uso de los poliésteres específicamente el polietilenteraftalato grado botella y los productos antes mencionados obtenidos de este polímero, llegó un momento en que no hubo control en el uso de este plástico (PET), originando una gran cantidad de desechos sólidos (plásticos). Pensando en el problema que provoca el polímero al medio ambiente y a las empresas que ya no pueden almacenarlo (como botella), se desarrolló un trabajo técnico-económico destinado a disminuir los efectos provocados por el descontrol de la producción de PET.

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA<sup>(2,3)</sup>**

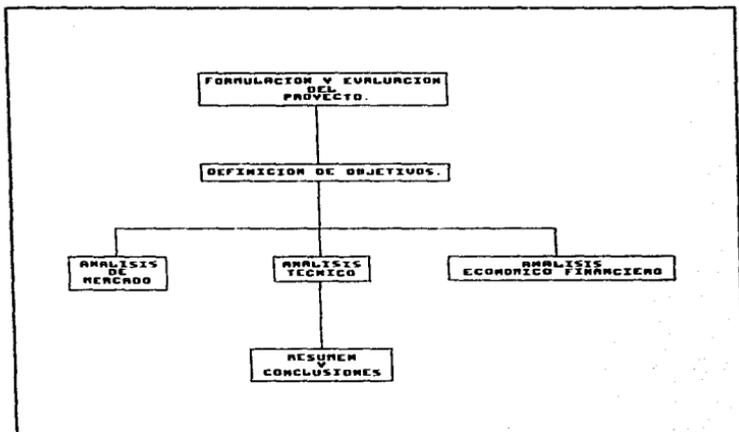
Existen en México dos empresas que producen PET, CELANESE MEXICANA y KIMEX DE MÉXICO. Solamente CELANESE MEXICANA cuenta con un método de reciclamiento propio y eliminación de sus desechos. Al parecer la otra no cuenta con los recursos para instalar plantas de este tipo, debido a que los procesos que se conocen para el procesamiento del PET requieren de una fuerte inversión en equipo e instalaciones.

De ésto surge la idea de desarrollar un perfil técnico económico para la recuperación o reciclamiento del polietileno tereftalato, que nos ayude y enseñe la necesidad de recolectar y reutilizar los desechos plásticos generados por los fabricantes y transformadores, así como por el consumidor.

**OBJETIVOS**

Desarrollar un estudio económico para una planta recuperadora de PET.

Desarrollar la ingeniería básica para un proceso industrial de recuperación de PET.

**METODOLOGIA<sup>(1)</sup>**

### **PROPUESTA DE CONTENIDO**

El presente trabajo, está estructurado de la siguiente manera.

De una introducción donde se fundamenta la elección del tema y se plantea el problema que dio origen a esta tesis, así como el objetivo general del proyecto.

El capítulo I menciona los antecedentes generales de los plásticos, así como sus generalidades, clasificación, propiedades principales, usos y aplicaciones.

El capítulo II trata de un breve estudio general de los principales plásticos de ingeniería, pretendiendo dar a conocer a los lectores, sus generalidades, propiedades más importantes, usos y aplicaciones dentro del mercado nacional.

El capítulo III se refiere al estudio de los principales poliesteres, con el propósito de proporcionar una breve información acerca de éstos. Dicha información incluye, generalidades, propiedades, usos y aplicaciones dentro de los sectores productivos.

En el capítulo IV se describe el estudio de mercado del PET y TPA.

El capítulo V describe algunos procesos para obtener TPA, así como sus propiedades, usos y aplicaciones más importantes.

El capítulo VI incluye un paquete de ingeniería básica para una planta recuperadora de PET. En éste capítulo se elaboran varios documentos típicos como son, bases de diseño, DEP, DTI, localización de la planta y del equipo, etc.

En el capítulo VII se desarrolla una evaluación económica y financiera, donde se demuestra la factibilidad y rentabilidad del proyecto.

## **CAPITULO I**

### **ANTECEDENTES GENERALES DE LOS PLÁSTICOS**

## 1.1 GENERALIDADES<sup>2,3,4</sup>

Plástico se define como cualquier material que puede ser moldeado, y que mediante una compresión más o menos prolongada puede cambiar de forma y conservarla permanentemente, a diferencia de los cuerpos elásticos. Desafortunadamente, con esta definición quedan incluidos el yeso y la arcilla, por lo que los materiales plásticos que son útiles para el envase y el embalaje serán aquellos que además de poseer las características anteriores, deberán de provenir de compuestos orgánicos y de procesos de polimerización.

En términos técnicos, los plásticos son fabricados por la polimerización, que es la conversión de monomero a polímero, las características y las propiedades de los plásticos son determinadas por el tamaño y la estructura del polímero, las materias plásticas tienen presentaciones diversas, como gránulos, polvo, líquidos, soluciones, etc. Un polímero es un compuesto orgánico, natural, sintético o semisintético, de estructura grande y una alta masa molecular, que está constituido por una pequeña unidad repetida llamada monómero.

Los plásticos son polímeros que presentan propiedades adecuadas para su uso en sus distintos sectores de la industria, debido a su amplio rango de operación, bajo condiciones severas. Dichas propiedades son: alta resistencia a la tenacidad a la torsión, alto impacto, altos puntos de fusión, su maleabilidad y su excelente terminada, entre otras.

Una definición práctica de lo que es un plástico debe de incluir no solamente el criterio "propiedad-aplicación", sino además el criterio "mercado-costeo", para poderlo clasificar dentro de un tipo de plástico o resina. Algunas de las resinas que satisfacen ambos criterios son: nylon, acetato, compuestos de políéster termoplástico, óxido de polifenileno y policarbonatos.

Una definición basada en el criterio "propiedad-aplicación", solamente podría incluir un grado especial, componentes termoplásticos especiales a todos los que presentan alta resistencia a elevadas temperaturas de operación y se puede considerar a las resinas termofijas como las primeras resinas de ingeniería.

La utilización de los polímeros o comúnmente llamados plásticos se inicia con el uso de los primeros polímeros naturales, como la gutapercha, el ámbar y la goma loca, al emplearlos los egipcios para impregnar textiles y proporcionarles mayor resistencia. Posteriormente, surgen los polímeros

semisintéticos, como la caseína utilizada para la fabricación de botes, el hule vulcanizado para neumáticos, la parquesina, ebonita y el celuloide.

Sin embargo, fue hasta 1907 cuando surgen los polímeros sintéticos, cuando el doctor D.O. BAECALAM descubre un compuesto fenol-formaldehído al cual se le da el nombre de "bakelita" y que se comercializó en 1909.

Este material presenta gran resistencia mecánica, aislamiento eléctrico y resistencia a elevadas temperaturas, por lo que se utiliza en receptores telefónicos, conectores eléctricos y asas para utensilios. Más tarde se desarrollaron una gran variedad de materiales, y este crecimiento se vio acelerado entre las décadas de los cuarenta y cincuenta.

Actualmente la mayoría de los plásticos parten del petróleo, pero no es la única fuente para su fabricación ya que el carbon con cal da lugar al carburo de calcio, que procesándose se utiliza para obtener el acetileno y a partir de él el etileno y vinilo, monómeros utilizados para la elaboración de polietileno y cloruro de polivinilo (PVC). También existe como fuente natural la de los desechos orgánicos y la caña de azúcar para obtener el alcohol etílico y de ahí el etileno.

En algunos casos los plásticos son conocidos más por una marca comercial de determinada compañía, que por su familia química, provocando que no exista un lenguaje común. Es normal hablar con claves al referirse a los plásticos, por lo que es necesario conocer el significado de las mismas, en la tabla 1.1 se muestran algunos de los plásticos más utilizados para envase y empaque con sus respectivas claves.

Un plástico comercial esta compuesto de una resina base o una mezcla polimérica con algunos ingredientes. Al moldear o extruir se requiere que contenga algunos aditivos tales como: Estabilizadores para el calor, plastificadores y rellenos. Muchos plásticos contienen algunos colorantes, frecuentemente estos son fabricados como parte de una composición de materiales, películas plásticas que pueden ser hechas por laminación o extrusión, la composición de las mezclas pueden consistir de mezclas plásticas o composiciones de plásticos con papeles o metales. Una de las características de los plásticos es que generalmente no pueden utilizarse en mezclas, cada tipo tiene un rango de propiedades mecánicas cuando se fabrican.

TABLA 1. MARCAS COMERCIALES DE ALERSONS PLÁSTICOS	
TIPO DE PLÁSTICO	CLAVE
CUBIERTO DE POLIVINILÓ	PVDC
CUBIERTO DE POLIVINILÓ	PVC
POLIAMIDAS (NYLONS)	PA6
POLICARBONATO	PC
POLICETENO	PS
POLISTIRENO EXPANSIBLE	EPS
POLITETRAFLUORURO	PTFE
POLITETRAFLUORURO DE ALTA DENSIDAD	HDPE
POLITETRAFLUORURO DE BAJA DENSIDAD	LDPE
POLIPROPILENO	PP

FUENTE: 16

Cuando se mezcla con otro plástico la nueva mezcla tiene las propiedades de éstos pero después son más débiles. Estos cubren todas las características para ser empleados envasando y empacando diferentes productos y con mayores ventajas que los materiales tradicionales, presentan una cantidad de absorción de humedad mucho menor que otros materiales, la humedad es menor del 0.05% por lo que sus dimensiones no se alteran, además de no liberar olores y sabores que pueden afectar el producto.

El desarrollo de ingeniería se inició con el trabajo CAROTHERS sobre nylon en EL DUPONT de SEMOURS and Co, en la década de los treinta. Estos trabajos entraron en una etapa de investigación y desarrollo dinámico en las décadas de los sesenta y setenta, en este periodo emergieron al mercado varios materiales poliméricos que ofrecen una alta versatilidad en cuanto a sus propiedades térmicas y mecánicas, todos ellos podían sustituir materiales tradicionales como madera, vidrio, cerámica, acero etc.; en varias de sus aplicaciones, gracias a que mantienen su estabilidad dimensional y la mayoría de sus propiedades a temperaturas mayores de 100 °C y menores de 0 °C, la disponibilidad de estos materiales hizo que se aplicaran en mercados especiales como la electrónica, aeronáutica, automotriz y para cualquier producto utilizado para envasar y empacar.

Los envases plásticos por lo general tienen alta resistencia a los impactos, existiendo los del tipo irrompible y en algunos casos si se fracturan, no tienen astillas que puedan producir cortaduras, no necesitando grandes espesores en las paredes de los envases, en algunas compañías que fabrican

poliductos son necesarios los espesores, pueden ser transparentes y opacos, con brillo o sin él, con una alta resistencia química a los productos, y con buena barrera a la transmisión de gases y al vapor del agua.

El desarrollo y la investigación en los materiales plásticos va en aumento, ya que estos superan en cualidades a los materiales tradicionales, se espera que la demanda de los plásticos aumente a un ritmo promedio anual de 4.5%.

## 1.2 CLASIFICACIÓN

De acuerdo a las características y propiedades que presentan los plásticos se clasifican de la siguiente forma:

TABLA 1.1 CLASIFICACION DE PLASTICOS	
CONSUMO	PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS
(USOS Y VALORES ECONOMICOS)	COMPORTAMIENTO AL CALOR
VERGATILES	- TERMOPLASTICOS
TECNICAS	- TERMOFLOS
ESPECIALIDADES	NO TOXICOS
	PRESENCIA DE ABSORBENTES
	TACTICIDAD

PLASTICOS

De acuerdo con la estructura química, se tienen cuatro clasificaciones, en función del comportamiento y del acomodo de la estructura del material, la más importante es la del comportamiento al calor que divide los polímeros en dos grandes grupos: TERMOPLASTICOS Y TERMOFLOS.

Los TERMOPLASTICOS son aquellos materiales que se ablandecen o funden por la acción del calor para formar un artículo, pero si se les vuelve a aplicar calor tienen la posibilidad de fundirse nuevamente y moldear un producto igual o diferente.

Los TERMOFLOS son aquellos que una vez que han sido transformados en una pieza por calor se degradan o carbonizan eliminando toda posibilidad de ser procesadas.

Los materiales plásticos clasificados por su consumo presentan características determinadas que son:

Los COMODITIES se consumen en volúmenes altos, fácil integración en su proceso; se puede usar el producto de diversos proveedores, mínimos requerimientos de resistencia técnica, procesamiento y equipo relativamente simple, márgenes bajos de ganancia y precios de acuerdo al costo y a la competencia, incluye a: polietileno, p.e. polipropileno, poliestireno, etc.

Los VERSÁTILES se consumen en volúmenes medios, poca tecnología en producción y transformación, creatividad y diseño en base de su desarrollo, no existe suficiente difusión de sus aplicaciones, satisfacen mercados definidos y su precio es de acuerdo a su funcionalidad. Incluye poliuretano, fenólicas, resinas poliéster, polimetilmetacrilato, epóxicas, uréicas etc.

Los TÉCNICOS se consumen en bajos volúmenes, márgenes altos de ganancias, procesamiento y equipo especializado, satisfacen el mercado automotriz y eléctrico-electrónico principalmente, se comercializa con la existencia técnica y sustituyente de partes mecánicas. Incluye a poliésteres, poliamidas, policarbonatos, acetales, etc.

Las ESPECIALIDADES se consumen en volúmenes mínimos, casi desconocidas en México, presentan combinaciones excelentes, es obligada la asistencia técnica ya que se transforman cerca de los 300 °C o por arriba de ella, con márgenes elevados de ganancia, equipo muy especial para transformación y satisfacen mercados especiales como el automotriz y el aeroespacial incluye a polímeros de cristal líquido (LCP), polisulfuro de fenileno (PP), polimida (PI), poliéster imida (PEI), poliaril imida (PAI), etc.

### 1.3 PROPIEDADES<sup>1,4</sup>

Para la determinación de las propiedades físicas, térmicas, eléctricas y mecánicas en los plásticos de ingeniería, se emplean métodos de prueba AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS (ASTM); los límites de flammabilidad se basan en estándares UNDERWRITERS LABORATORIES INC. (UL).

**PROPIEDADES FÍSICAS:** La morfología de los plásticos de ingeniería tiene un efecto determinante en sus propiedades físicas; en general, los polímeros cristalinos no transmiten la luz como los acetales, la mayoría de los "nylons" y polietercetonas, etc.

**PROPIEDADES TÉRMICAS:** Todos los plásticos de ingeniería presentan excelentes propiedades térmicas, lo que permite las aplicaciones en altas o muy bajas temperaturas, por ejemplo los policarbonatos pueden utilizarse continuamente a 115 y 25°C más que el acetal y 40°C más que los "nylons"; presentan una temperatura de deflexión generalmente alta y además en mayores grados reforzados estas propiedades se mejoran.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:** Los plásticos de ingeniería presentan propiedades mecánicas que los hacen ideales para la manufactura de partes pequeñas y muy complejas; donde se requieren paredes delgadas y resistentes .

**RESISTENCIA QUÍMICA:** Los agentes que afectan la resistencia química son: químicos orgánicos, ácidos y bases acuosas, sales, soluciones amortiguadoras, luz de varias longitudes de onda, etc.

Una de las aplicaciones más revolucionarias de estos productos es en la medicina; la fabricación de instrumental, partes de algunos equipos médicos y además se aprovechan las propiedades de compatibilidad para fabricar venas sintéticas, huesos, órganos internos, piel sintética, etc.; lo que presenta un panorama prometedor para el futuro de la salud social.

En cuanto a la tecnología de proceso, se cree que el desarrollo de membranas de separación por medio de ultrafiltración, ósmosis inversa y diálisis, reduce enormemente los consumos energéticos de los procesos.

El procesamiento de los materiales plásticos siempre ha estado en constante evolución desde las primeras e yectoras manuales hasta las máquinas totalmente automatizadas para procesos de coextrusión que producen miles de piezas muy complejas por hora.

Hoy en día, toda máquina procesadora posee sistemas de control muy precisos empleando programas de cómputo especializados con inteligencia artificial o sistemas expertos para cambiar la línea de productos o de procesamiento, todo sin la intervención del operador.

Actualmente se realizan diversas actividades enfocadas a elevar la producción de materias primas para el sector de plásticos, esto a nivel mundial y muy especial en Europa Occidental, medio y lejano Oriente. Esta constante preocupación para aumentar el mercado de plásticos ha dado como resultado la promoción de nuevos proyectos tanto en el sector de producción de materias primas, como en el de procesos. Países recientemente industrializados, también están incrementando su capacidad de producción instalada.

La producción nacional de resinas sintéticas para plásticos se remonta escasamente a 42 años, es decir, es una industria joven que ha evolucionado en forma acelerada y normalmente a índices superiores al mostrado con el producto interno bruto nacional y al manufacturero, sector al cual pertenece como transformadora de plásticos.

El crecimiento de la demanda en constante expansión, ha originado en muchos casos la necesidad de ampliar la planta productiva en todos sus aspectos, desde la petroquímica básica hasta la infraestructura de la empresa transformadora. El interés y demanda por los plásticos técnicos, especialidades y aleaciones crece año con año, como resultado de los avances y tendencias tecnológicas al nivel mundial, las exigencias internas de calidad originadas por la importación de productos, muchas veces competitivos y la necesidad de exportar manufactura con un alto valor agregado.

Para conocer más acerca de las características y propiedades, de algunos de los plásticos antes mencionados, es necesario realizar un estudio más a fondo de ellos y de esta forma mostrar las ventajas que presenta la reutilización del P.V.C con respecto a los demás plásticos de ingeniería. Esto se lleva a cabo en capítulos posteriores.

#### 1.4 USOS Y APLICACIONES<sup>14</sup>

Los usos y aplicaciones de los plásticos actualmente son múltiples (generalmente se utilizan para envasar cualquier producto), como por ejemplo: Botellas, en carcasas de bobinas, cámaras, medidores de agua, para tarros (aceites alimenticios condimentados, jugos, vinos, bebidas carbonatadas, shampoos, lociones, válvulas de vacío, piezas donde se aprovecha su transparencia, medidores de corriente, interruptores de protección, soporte de tubos fluorescentes, piezas de microscopio, protectores de diapositivas, lentes y portales, carcasas de cámaras fotográficas, secadoras de cabello, tenazas, tubos eléctricos, planchas, filtros de café, carcasas de electrodomésticos, equipo médico, fibras ópticas, calaveras, cascos, vidrios de seguridad, garrafrones, biberones, moldes para chocolate, componentes de maquinaria industrial, fabricación de tuberías, bolsas, poliductos, partes eléctricas, y electrónicas, en máquinas de oficina y telecomunicaciones, en componentes de equipo y mobiliario, productos médicos, industria textil, válvulas para aerosoles, clavijas, reflectores de faros, teléfonos, partes internas de refrigeradores, en aparatos electro-electrónicos como calculadoras, sumadoras, computadoras, partes de motocicleta, juguetes, partes de automóviles, etc.

**CAPITULO II**

**ESTUDIO GENERAL DE LOS PRINCIPALES PLÁSTICOS DE  
INGENIERÍA**

## INTRODUCCION<sup>2,4)</sup>

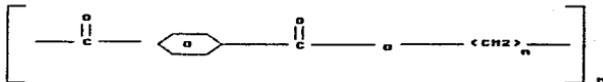
Los plásticos de ingeniería clasificados como técnicos son de gran importancia, no solo por sus propiedades y aplicaciones, si no, porque presentan un mercado nuevo al cual incursionar. Las diferentes resinas de ingeniería nacen entre las décadas de los sesentas y setentas en el mercado más apropiado para su explotación.

En este capítulo se describen plásticos de ingeniería como son poliésteres, policarbonatos, poliacetales, óxido de polifenilo, poliamidas, acrilonitrilo, butadieno-estireno, cloruro de polivinilo, mezclas y aleaciones, mencionando sus propiedades, diversos usos y aplicaciones a nivel doméstico e industrial.

## 2.1 POLIESTERES<sup>3,4)</sup>

### 2.1.1 GENERALIDADES

Los poliésteres termoplásticos son una familia de materiales de poliésteres saturados, esta familia incluye a los poliésteres de ingeniería que son dos resinas de grupo genérico conocidos como resinas poliéster de tereftalato derivadas del dimetil tereftalato (DMT) o el ácido tereftálico (TPA) y que tiene la siguiente estructura general.



cuando:

n = 2 el poliéster se denomina polietilentereftalato (PET).

n = 4 el poliéster se denomina polibutilentereftalato (PBT).

m = número de monómeros repetidos.

La familia de los poliéster saturados surgió en 1941 cuando S. R. Winfield y S. T. Dickson patentaron la elaboración del PET para ser utilizado como fibra, en 1955 hizo su aparición en el mercado mundial. Posteriormente, a mediados de los años sesenta se introdujo el PET como material para la fabricación de películas para empaque, fotografía, audio, video y rayos X. Finalmente, en los años setentas se introduce en el mercado un material para elaborar botellas y piezas de ingeniería, comercializándose en forma paralela el PET.

En el caso de fibras poliéster, únicamente se obtiene PET y se caracteriza por una elevada resistencia a la tensión y abrasión, además de alta resistencia a químicos y microorganismos. Además del PET y PBT, esta familia está compuesta por otros polímeros como: Las mezclas de éstos, copoliésteres (PET/PTG) y (PET/IG), que se obtienen de acuerdo a ciertas materias primas y al grado de polimerización de la reacción.

Desde 1942, cuando la Columbia Chemical Div., Pittsburgh Plate Glass Co. fabricó resinas alifáticas bajo la designación CR (Columbia Resins), se ha dispuesto de poliésteres con grupos etilénicos no saturados. Estos poliésteres sufren una verdadera polimerización en la cual se produce la combinación de los monómeros de enlace carbono-carbono, la insaturación puede introducirse en los poliésteres por la adición de aceites secantes o ácidos grasos o derivados de éstos, por ejemplo la adición del ácido maleico o de un alcohol no saturado como el alcohol etílico.

Los plásticos de este tipo se están estudiando para usarlos en la fabricación de medios de transporte de poco peso, paneles. Los poliésteres no saturados son también apropiados para el vaciado y se encuentran en el comercio en forma de productos transparentes.

Varias combinaciones de reactivos y condiciones de proceso son potencialmente disponibles para sintetizar poliésteres, estos pueden producirse por una esterificación directa de un diácido con un diol o con una condensación de un ácido carboxílico y un hidróxido, esto requiere de varios pasos de polimerización, donde la humedad debe ser removida continuamente para lograr altas conversiones y altos pesos moleculares.

En la práctica industrial algunos poliésteres lineales son sintetizados por reacción directa de diácidos y dioles, porque a estas temperaturas se requiere eliminar completamente el agua. Los poliésteres han sido sintetizados por la reacción de ácido de dicloruro y dioles, estas reacciones generalmente son lentas, con dioles y alifáticos, pero con fenoles dihidricos son suficientemente rápidas para producir altos polímeros.

El PET y el PBT parten del TPA y del DMT que reaccionan con un glicol, ya sea el etilenglicol para obtener PET o butilenglicol para obtener PBT. Estos poliésteres son los más importantes comercialmente, aunque el PET se ha estado utilizando en mayor cantidad en los últimos tiempos.

Estos poliésteres en sus diversos grados están dirigidos para un determinado uso final, teniendo:

**POLIÉSTER**

- a) PET
- b) COPOLIÉSTERES
- c) PET/PBT
- d) PBT

### **2.1.2 PROPIEDADES**

El polietilentereftalato es un polímero que se clasifica dentro de la familia de los plásticos técnicos o plásticos de ingeniería. El PET se produce en dos grados que son, resina grado envase y grado película, la primera tiene su uso más común dentro de la fabricación de botellas, los diferentes grados de esta resina se diferencian por su viscosidad intrínseca, determinada por la distribución de masa molecular.

El PET grado película presenta una elevada resistencia a la tensión de impacto, pero sobre todo soporta temperaturas de 85° C sin reblandecerse y posee buenas propiedades de barrera al oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono y humedad, y se utilizan para empaquetar alimentos que en ocasiones son cocinados dentro del mismo empaque. Para el caso de fotografías se aprovechan sus propiedades mecánicas y su buena resistencia química.

El PET utilizado en botellas, al ser semicristalino y transformarlo bajo condiciones especiales, proporciona piezas altamente transparentes y de gran brillo, semejantes al cristal, además de poseer bajo peso, gran resistencia al impacto y tensión. Otra ventaja es su propiedad de barrera al oxígeno y al bióxido de carbono, que lo hace ideal para envasar alimentos, cosméticos y bebidas carbonatadas. Originalmente los tiempos de cristalización del PET eran largos, para que su procesamiento a través del moldeo por inyección fuera económico a nivel comercial, DUPONT desarrolló una tecnología para lograr una cristalización más rápida, lo que permitió a esta compañía introducirlo en U.S.A. bajo el nombre comercial de MYNOL. Todas las resinas de PET grado ingeniería son formuladas por sus productores a partir de PET puro o bien de PET grado envase.

Por lo que se refiere al PBT, esta resina exhibe buena resistencia a la tensión, tenacidad, baja absorción de agua, buena resistencia química, buenas propiedades eléctricas y de fricción; sin embargo, para aplicaciones que requieran resistencia a temperaturas elevadas, se necesita un reforzamiento con fibra. Cerca del 85% del PBT contiene entre 7 y 30 % de reforzamiento con fibra de vidrio y/o mineral, lo que ocasiona una mejora en sus propiedades mecánicas.

El reforzamiento logra además, una disminución en el precio de resinas por unidad de volumen, lo que permite hacerla competitiva con otras resinas de ingeniería como los acetales, nylons y policarbonatos.

La mezcla PBT-PET tiene un mejor costo, un mejor brillo y una temperatura de formación más alta con respecto a la resina de PBT la cual es debido a la presencia de PET, en este caso se presenta una complementación de las propiedades de ambas resinas. Los productos emergentes para los que se espera una amplia penetración en el mercado, son las aleaciones de PBT y PET como policarbonatos y/o elastómeros.

### 2.1.3 USOS Y APLICACIONES

El PET se utiliza en botellas y tarros para aceites, jugos, vinos, bebidas carbonatadas, shampoo, lociones, cosméticos, fibras para llantas, telas, cordeles, electrodomésticos y computadoras.

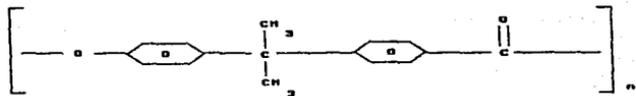
El PBT se utiliza en carcasas de bobinas, cámaras, medidores de agua, rotores, bobinas de ignición, armaduras de bombas, partes de sistemas de frenos, limpia parabrisas, cables de fusibles, cerraduras, válvulas de vacío, tapas de distribuidor de automóvil.

Las aplicaciones adicionales son de bajo volumen, el PBT y el PET son utilizados cuando se desea resistencia a la corrosión, alto grado de ductibilidad y buena capacidad de refido.

Las aplicaciones son: cuerpos de plumas, partes de bicicletas y calculadoras de bolsillo. Los usos industriales incluyen muebles y accesorios como hebillas, clips, cierres, botones, engranes y transportadores de cartas de circuitos impresos. Se puede utilizar en cepillos de dientes y brochas.

## 2.2 POLICARBONATOS<sup>3,4)</sup>

### 2.2.1 GENERALIDADES



El policarbonato también conocido por sus siglas PC, es considerado dentro de la familia de los termoplásticos como un material de ingeniería debido a sus propiedades. Este polímero se descubrió en 1898 por Einhorn, pero fue hasta 1957 cuando se desarrolló su producción industrial y comercialización.

Estos polímeros fueron descubiertos e introducidos por Alemania por el Dr. H. Schnell y sus colaboradores de Farberfabriken Bayer, dándole el nombre comercial de "MAKROLON" al polvo moldeable por inyección, y el de "MACROLOG" a las películas moldeadas. Al mismo tiempo e independientemente, la GENERAL ELECTRIC anunciaba la formulación de polímeros parecidos, a los que dio el nombre comercial de "LENAX". También la MOBAY CHEMICAL COMPANY elaboró sus planes para producir y vender este nuevo plástico con el nombre de "MERLON".

El policarbonato se forma a partir de la unión de fosgeno y bisfenol, los que al polimerizarse producen un material transparente de gran rigidez y con muy buena estabilidad dimensional, elevada resistencia al impacto, un amplio rango de temperaturas de operación, buenas propiedades bioeléctricas y baja absorción de agua.

### **2.2.2 PROPIEDADES**

La temperatura de reblandecimiento de los policarbonatos es elevada y muy singular a su resistencia al impacto. Otras propiedades que podrían justificar su empleo como plásticos ideales son: su aspecto atractivo, su excelente estabilidad dimensional, su gran resistencia a la atracción y su buena propiedad eléctrica.

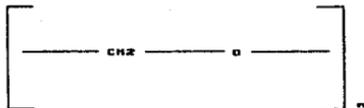
Químicamente lo atacan ácidos y bases fuertes, en menor grado el amoníaco y aminas, aunque es estable a los hidrocarburos alifáticos y alcoholes. Las ventajas en su resistencia química pueden ser aumentadas con recubrimientos a lacas que proporcionan tal propiedad.

### **2.2.3 USOS Y APLICACIONES**

El policarbonato se utiliza en piezas donde se aprovecha su transparencia, resistencia al impacto y aislamiento eléctrico como son: medidores de corriente, interruptores de protección, soporte de tubos fluorescentes, en contactos, piezas de microscopio, protectores de diapositivas, lentes y portalentes, carcasa de cámara fotográfica, secadoras de cabello, tenazas para cabello, tubos eléctricos, planchas, filtros de café, carcasas de electrodomésticos, equipo médico, fibras ópticas, calaveras de automóvil, cascos, vidrios de seguridad, garrafones, biberones, moldes para chocolate, caretas de cascos para astronautas, componentes de aviones supersónicos, se emplean en la manufactura de ventanas resistentes a la ruptura para edificios, autobuses y trenes, laminas resistentes a balas en carros blindados, bancos y edificios públicos. Las aplicaciones automotrices incluyen faros, defensas, quemacocos, tableros, etc.

## 2.3 POLIACETALES<sup>14)</sup>

### 2.3.1 GENERALIDADES



Los polímeros de formaldehído de alto peso molecular se conoce desde la década de los años treinta, pero eran inestables y su aplicación comercial limitada.

A partir de los años cincuenta, después de varios años de investigación EL DUPONT de NEMOURS & COMPANY descubrió que los polímeros sólidos de formaldehído a los que denominaron "Resinas Acetal", se podían producir a partir del formaldehído de alta pureza, haciéndose estable al reemplazar sus grupos terminales hidroxilo por grupos éster. El polímero resultante presentó una excelente resistencia al impacto, a la compresión y al uso o desgaste, lo que le permitió favorablemente en muchas de las funciones normalmente reservadas para los metales.

Los acetales son plásticos de ingeniería que han encontrado una gran variedad de aplicaciones debido a su dureza, rigidez, tenacidad, resistencia al calor, pero sobre todo por su baja absorción de humedad y su habilidad para soportar cambios bruscos de temperatura sin deformarse ni degradarse. A los acetales también se les denomina "POLIACETALES" o "RESINAS ACETALICAS" aunque su nombre correcto es el de "POLIÓXIDO DE METILENO", de ahí que se les denominó con las siglas POM.

Estos materiales existen en dos tipos, de acuerdo a la forma en que han sido obtenidos y de donde parte una diferente estructura molecular, estos son: homopolímeros y copolímeros.

De esta forma, a finales de 1959 DUPONT lanzó la primera resina acetal comercial. Casi al mismo tiempo CELANESE CORPORATION desarrolló un producto similar usando trihexano como materia prima e incorporando moléculas de óxido de etileno a la cadena principal del polímero, dando como

resultado un copolímero de características semejantes a las del homopolímero. Hasta 1961 CELANESE y DUPONT eran los únicos productores de ésta resina.

A principios de 1983 DUPONT introdujo un poliacetale de alto impacto superduro (de la serie comercial DELTIN), al mezclarlo con un elastómero. Al combinar estos materiales se obtiene una estructura de polímero en forma de red interpenetrada, que comparada con otro grado del DELTIN ofrece una mayor resistencia y dureza, manteniendo su fácil procesabilidad con lo que está desplazando a metales y otros termoplásticos de ingeniería. A mediados de 1985 CELANESE introdujo una línea de acetales modificados de alto impacto, usados principalmente en aplicaciones de extrusión y moldeo por soplado, estos acetales son aleaciones de nombre comercial "DURALON 1000". Otros desarrollos recientes incluyen grados de recubrimiento con propiedades de flujo mejoradas y con características antiestáticas para aplicaciones en la industria de videocassetes.

### **2.3.2 PROPIEDADES**

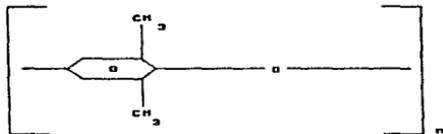
Las principales propiedades de las resinas acetales son: excelente resistencia mecánica y rigidez, resistencia a la fatiga, estabilidad dimensional, resistencia al impacto, flexibilidad, bajo coeficiente de fricción, resistencia a la humedad y solventes, aislamiento eléctrico, buena apariencia, fabricación natural y con un rango normal de temperatura de operación de 51 a 160°C.

### **2.3.3 USOS Y APLICACIONES**

Las aplicaciones de estas resinas incluyen construcción de válvulas, uniones, engranes, y partes eléctricas, normalmente fabricadas como metales y resinas, nylons y acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS). Las resinas acetal tienen sus principal uso en el mercado automotriz, bienes de consumo final, componentes de maquinaria industrial, fabricación de tuberías, partes eléctricas, electrónicas e instrumentos.

## 2.4 ÓXIDO DE POLIFENILENO<sup>34)</sup>

### 2.4.1 GENERALIDADES



El óxido de polifenileno, fue introducido comercialmente en 1954 por GENERAL ELECTRIC, teniendo entre sus propiedades principales una alta tenacidad y buena resistencia al calor, para procesarlo mediante equipo convencional de moldeo era difícil. Sin embargo, las mezclas de óxido de polifenileno-poliestireno de alto impacto si se procesaron con facilidad, por lo que GENERAL ELECTRIC las comercializó ampliamente varios años después con el nombre de SORYL, y en forma genérica reciben el nombre de resinas a base de óxido de polifenileno u óxido de polifenileno modificado (MPPD).

Las propiedades del MPPD son diferentes a las de la resina sin modificar, la tenacidad y la resistencia al calor se redujeron, pero la procesabilidad se mejoró.

### 2.4.2 PROPIEDADES

El poliestireno de alto impacto es el material más usado en la producción de MPPD, sin embargo se han desarrollado otros grados, agregando diferentes polímeros o bien, mezclándolos para formar aleaciones con los mismos. La aleación que más aceptación ha tenido es la que forma el MPPD con el éter de polifenileno modificado (MPPPE); esta resina es un copolímero del 2,6-dimetil fenol con el 2,3,6-trimetil fenol. El grupo metil adicional en el 2,3,6-trimetil fenol actúa endureciendo la cadena del polímero, lo que provoca un aumento en la tenacidad y en el módulo de flexión. Con el PPO el PPE es difícil de procesar en forma virgen, por lo que se mezcla con poliestireno para facilitar dicho procesamiento.

Las aleaciones de PPS-PPB constituyen más del 70% del volumen de las aleaciones que se fabrican en base a resinas de ingeniería y son una de las formas principales en las que se distribuyen las resinas (APP).

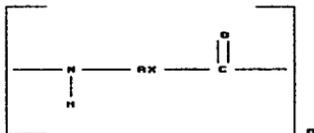
Las resinas de óxido de polifenileno modificadas compiten ampliamente con grados de alta resistencia a la temperatura del AIS, así como con otros polímeros de estireno, incluyendo los copolímeros estireno anhídrido maleico y otras mezclas como las de policarbonato-AIS.

### 2.4.3 USOS Y APLICACIONES

El óxido de polifenileno tiene su principal aplicación en la industria automotriz, entre ellas la fabricación de bastidores de automóviles, parrillas, cubiertas de llantas y explosadores; en la industria eléctrica-electrónica, en aparatos domésticos, máquinas de oficinas y telecomunicaciones.

## 2.5 POLIAMIDAS<sup>346</sup>

### 2.5.1 GENERALIDADES



Son los polímeros generalmente, conocidos como "NYLONS"; resultantes de la condensación de una diamina y un ácido dicarboxílico o sus monómeros equivalentes. La identificación de los diferentes nylons, seguido de uno o dos números; cuando el nombre sólo contiene un número, indica el número de átomos de carbono que tiene el monómero del que proviene. Cuando se utilizan dos números indica el número de átomos de carbono de los reactivos que provienen.

Existe una gran variedad de poliamidas y las más importantes desde el punto de vista comercial son: nylon 6, nylon 6,6 nylon 11, nylon 12, nylon 6,9, nylon 6,12.

De estos productos el nylon 6 y el nylon 6,6 son los más importantes ya que representan el 85-95% del mercado total de poliamidas.

### **2.5.2 PROPIEDADES**

La diferencia en el número de átomos de carbono en la amida, provoca una diferencia importante en las propiedades mecánicas y físicas del nylon resultante.

Los nylons 6 tienen muchas cualidades que los hacen atractivos para una gran variedad de aplicaciones mecánicas y eléctricas, son fuertes, tenaces, tienen buena resistencia eléctrica y propiedades dieléctricas, como resistencia al calor, a la corrosión y tienen un bajo coeficiente de fricción.

Generalmente se procesan en estado fundido para evitar la absorción de agua (altamente higroscópicas). La presencia de humedad afecta sus propiedades, por lo cual generalmente se trata con diversos métodos de secado. Por otro lado presenta degradación al exponerse a altas temperaturas, aunque depende del grado de exposición. La exposición a la luz ultravioleta también produce degradación en las poliamidas, sin embargo, se le puede retardar con el uso de estabilizadores.

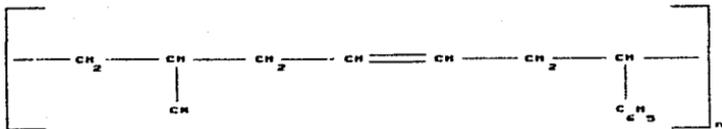
### **2.5.3 USOS Y APLICACIONES**

El uso de las poliamidas es en base al método de transformación y se emplean principalmente con la industria automotriz eléctrico-electrónica, en componentes de equipo y mobiliario, productos médicos y en especial en la industria textil.

En bienes de uso final, se encuentra en artículos de cuidado personal, cuerpos de encendedores y válvulas para aerosoles.

## 2.6 ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO<sup>(3,4)</sup>

### 2.6.1 GENERALIDADES



El acrilonitrilo butadieno estireno comúnmente conocido como ABS, por su consumo se podría considerar como un material de uso en alto volumen (comodite), sin embargo, debido a sus propiedades de resistencia química, mecánica y térmica, se incluye dentro de los plásticos de ingeniería.

Después de que en 1932 se inicia la comercialización del estireno, surgen varias necesidades y con ello diferentes materiales derivados de él mismo, tal es el caso del ABS que después de años de investigación inició su producción industrial y comercialización en 1948.

### 2.6.2 PROPIEDADES

Este material se obtiene al inyectar el copolímero estireno-acrilonitrilo en un polibutadieno en forma de látex. La polimerización se realiza de esta forma porque una termpolimerización simultanea no proporcionaría la resistencia al impacto y tenacidad del material que se logra por el proceso antes mencionado.

Al combinar tres monómeros cada uno de ellos aporta diferentes propiedades, modificándose las propiedades de los mismos.

El acrilonitrilo proporciona estabilidad térmica, resistencia química y al envejecimiento y dureza superficial. El butadieno proporciona resistencia al impacto, retención de propiedades a bajas temperaturas y tenacidad. El estireno contribuye con brillo, rigidez y facilidad de procesamiento.

El ABS se puede erosionar químicamente, no es tóxico, presenta buena resistencia a la abrasión a sustancias químicas como, ácidos y bases fuertes, aunque es soluble en solventes polares, ésteres, cetonas e hidrocarburos clorados. Además, de todo lo anterior se logran grados de elevados índices de fluidez, por lo que se pueden moldear piezas de gran tamaño.

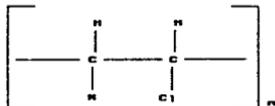
Hasta hace poco este material se obtenía opaco y colorido en variedad de tonos, pero recientemente se desarrolló el grado transparente, para lograr una estructura amorfa.

### 2.6.3 USOS Y APLICACIONES

Dentro de la empresa automotriz se utiliza en defensas, reflectores de faros y calaveras; en lo que corresponde a aparatos domésticos, se emplea en carcasas de equipos electrodomésticos, muebles, teléfonos, puertas internas de refrigeradores, así también en aparatos eléctrico-electrónicos como calculadoras, sumadoras, computadoras, etc. Además, se utilizan en mangos de herramientas, partes de motocicletas y juguetes.

## 2.7 CLORURO DE POLIVINILO<sup>(14)</sup>

### 2.7.1 GENERALIDADES



El PVC o el cloruro de polivinilo es el producto de la polimerización del monómero del cloruro de vinilo. La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de los termoplásticos, ya que cubre todo el rango de dureza y es modificable casi al gusto total del mercado. Es una materia prima muy importante en la industria; a nivel nacional y durante 1989 representó el 17 % del mercado de todos los plásticos.

En 1912, el ruso L. Otromenslensky patentó la polimerización del PVC. El interés comercial de este polímero fue en aumento y se reveló en un número de patentes independientes y suscritas en 1928 por varias compañías como la CARBIDE Y CARBON QUIMICO, DUPONT E Y NEMOURS y la I. G. FARBIEN.

En México, el PVC se comenzó a comercializar desde 1947. En 1952, se instaló la primera planta de este producto, en 1953 amplía el rango de la resina, de 1967 a 1972, se instalan tres compañías más, una de las cuales se dedica a la elaboración de la resina

### 2.7.2 PROPIEDADES

El PVC como resina, en su mayoría es amorfa, difieren en su peso molecular promedio, en su forma, porosidad y tamaño de la partícula en la presencia de las impurezas presentes, estudios de rayos X indican que la resina de PVC normalmente preparada por los procesos comerciales de suspensión y masa, es una sustancia amorfa, aunque están presentes algunas cantidades pequeñas de forma cristalina. Estudios posteriores mediante las técnicas NMR demuestran que la estructura del PVC es 55% sindiotáctica y el resto de la estructura es atáctica. Los pesos moleculares de los polímeros comerciales están en un rango de 100000 a 200000 con valores de 45000 a 64000. Los más bajos se consideran de 40000 y los más altos de 480000.

En general, podemos decir que a medida que el peso molecular del PVC aumenta se mejoran las propiedades físico-mecánicas, tensión, elongación, compresión, impacto, aumenta la resistencia química a solventes, álcalis y ácidos, la estabilidad térmica, el punto de fusión, la resistencia al envejecimiento, la viscosidad de fundido y las temperaturas del proceso, pero la procesabilidad y la solubilidad disminuyen, y se incrementa la viscosidad del fundido.

### 2.7.3 USOS Y APLICACIONES

El uso y las aplicaciones del envase PVC, cubre una gama amplia que va desde la industria alimenticia para aceites comestibles, vinagros, jugos, mayonesas, farmacéutica, cosméticos o bien la de limpiadores o detergentes, como película de la industria del empaque, para "blister pack", para medicinas y galletas, películas flexibles para envolturas, bolsas de cosméticos y empaque de alimentos, hasta utensilios del hogar.

## 2.8 MEZCLAS Y ALEACIONES<sup>1,2)</sup>

### 2.8.1 GENERALIDADES

Las propiedades resultantes de estos materiales los hacen deseables como plásticos de ingeniería, cubriendo aplicaciones que no tienen los plásticos de ingeniería vírgen.

Las razones por las que se produce este tipo de plásticos son:

- a) El deseo de modificar las propiedades de un termoplástico para una aplicación específica
- b) El mezclado de los polímeros en diversas proporciones origina un amplio espectro de combinación de propiedades.
- c) El factor costo, que para el usuario es de mucha importancia
- d) Una mezcla puede probarse, optimizarse y comercializarse mucho más rápidamente y con mayor probabilidad de éxito en comparación con un nuevo polímero o copolímero, por lo que los costos y riesgos de investigación y desarrollo son grandemente reducidos.

Existen mezclas y aleaciones donde participan varios plásticos de ingeniería o bien aquellos en donde un plástico de ingeniería se mezcla con otro termoplástico, dando como resultado materiales con buenas relaciones de costo-desempeño. En estos materiales, la resistencia al impacto y a la temperatura de flexión varía en forma significativa con la formulación. La procesabilidad y el costo son otras variables importantes. Las propiedades de resistencia a la tensión, dureza, tenacidad y rigidez observan generalmente una variación menor, aunque deben mantenerse en un determinado nivel. Las mezclas pueden ser modificadas mediante el uso de cargas con fibras reforzadas que mejoran resistencia y dureza.

Las mezclas que por su volumen de ventas abarcan la mayor parte del mercado son mezclas de resinas ABS, mezclas de policarbonatos y otras de importancia.

### 2.8.2 PROPIEDADES

La estructura del polímero, el peso molecular y su distribución son los factores básicos que determinan sus propiedades; en las mezclas se puede lograr un balance adecuado entre las propiedades deseadas para una aplicación particular. Las propiedades que son frecuentemente

modificadas incluyen: resistencia al impacto, a la tensión y al calor, procesabilidad, resistencia química, dureza, rigidez y retardancia a la flama.

Los componentes de las mezclas pueden ser completamente miscibles con otros, inmiscibles o parcialmente miscibles, en los dos últimos casos se forman dos fases en la mezcla líquida, muy a menudo cada fase es una mezcla de dos o más polímeros.

### **2.8.3 USOS Y APLICACIONES**

Las mezclas han penetrado mercados de homopolímeros y copolímeros ampliamente. Casi todo los componentes de este mercado tienen algunas aplicaciones que deben ser mejoradas en cuanto a propiedades, lo cual se logra de manera exitosa con las mezclas. Uno de los mercados invadidos por las mezclas es el de los automóviles en donde las aplicaciones incluyen cuerpos de paneles exteriores, defensas, tableros de instrumentos y paneles interiores especiales para camionetas. La habilidad para soportar pintura y resistir temperaturas de hornado son propiedades importantes en estas aplicaciones, aunque hay algunas otras de importancia como son propiedades estables a bajas temperaturas, resistencia a solventes como gasolinas o líquido para frenos, facilidad para hacer electroplateados, resistencia a altas temperaturas y a la flama.

Un aspecto importante de los plásticos además de sus propiedades, es el comportamiento de éstos en el mercado. Con un análisis de mercado se puede tener una visión global de la importancia que representa cada uno de estos plásticos en la industria, tomando como referencia la demanda mundial y nacional.

TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS PLÁSTICOS DE INGENIERÍA

PLÁSTICOS	USOS	VENTAJAS	LIMITACIONES
Acilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)	Tuberías, aparatos domésticos, teléfonos, equipaje	Bajo costo, buenas propiedades mecánicas y estabilidad dimensional, fácil de procesar	Es atacado por muchos disolventes, la luz del sol lo hace frágil
Acrílicos	Señales iluminadas, satinado de ventanas, faros traseros para automóviles	Transparente, gran resistencia a la luz y a la intemperie	Resistencia limitada a los disolventes, costo moderado
Nylon 6	Cuerdas para neumáticos, telas, partes moldeadas	Resistente a la deformación plástica, la fatiga y la abrasión, resistente a muchos disolventes, tenaz	Alta absorción de humedad, baja resistencia al impacto en ambientes secos
Polibutileno	Tuberías, aislamiento eléctrico, recubrimientos	Ligero, alta resistencia al impacto, buena resistencia química	Difícil de procesar y alto costo
Policarbonato (PC)	Aparatos domésticos, satinados de seguridad, empaque, cascos, parabrisas de motocicletas	Transparente, excepcionalmente tenaz, dimensionalmente estable, resistente al calor, buenas propiedades dieléctricas	Baja resistencia a los solventes, forma cuarteaduras bajo esfuerzos, costos moderados
Poliésteres	Compuestos laminados y moldeados, botes, componentes automotrices, adhesivos, botellas, ropa	Rígidez, facilidad de fabricación, buenas propiedades dieléctricas, bajo costo, algunos grados especiales tienen retardo a la flama y resistencia	Mala resistencia a los solventes y al añeamiento UV (ambas características dependen de la formulación)
Policetileno de alta y baja densidad (L-HDPE)	Botellas moldeadas por soplado, aislamiento de carros, juguetes	Buena resistencia química, buenas propiedades dieléctricas	Frágil, resistencia a la tracción, resistente a la adhesión e impresión

FUENTE: 2.1.56.7.8

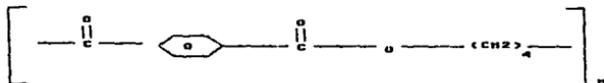
**CAPITULO III**

**ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES POLIÉSTERES**

### 3.1 POLIBUTILENTEREFTALATO<sup>3,4,7)</sup>

#### 3.1.1 GENERALIDADES

El polibutilentereftalato o PBT es un plástico de la familia de los poliésteres termoplásticos, es un poliéster saturado, está dentro de los plásticos de ingeniería. Es una resina del grupo genérico conocido como resinas poliésteres de tereftalato, derivados del dimetil tereftalato o y el ácido tereftálico que tiene la siguiente estructura general.



En los años setenta se introduce en el mercado un material para elaborar botellas y piezas de ingeniería, comercializándose en forma paralela con el PET

El PBT parte del TPA y /o del DMT que reaccionan con un glicol, conocido como butilenglicol. Por lo que se refiere al PBT exhibe una buena resistencia a la tensión, tenacidad, baja absorción de agua, buena resistencia química, buenas propiedades eléctricas y de fricción; sin embargo, para aplicaciones que requieren resistencia a temperaturas elevadas, se necesita un reforzamiento con fibra de vidrio. Cerca del 80-85% del PBT contiene entre 7 y 30 % de reforzamiento con fibra de vidrio y/o mineral, lo que ocasiona una mejora en sus propiedades mecánicas.

El reforzamiento logra además, una disminución en el precio de resinas por unidad de volumen, lo que permite hacerla competitiva con otras resinas de ingeniería como los acetales, nylons, y policarbonatos.

### 3.1.2 PROPIEDADES

Algunas de las propiedades de esta resina se indican en la tabla siguiente:

TABLA 3.1 PROPIEDADES DEL POLIBUTILENTEREFTALATO PORCENTAJE DE FIBRA DE VIDRIO					
PROPIEDADES GENERALES	0	15	30	40	ASF51
DENSIDAD ESPECIFICA	1.31	1.41	1.51	1.60	D75
% DE ABSORCIÓN DE AGUA	0.80	0.07	0.06	0.06	D57
23°C, 24 HORAS					
AL EQUILIBRIO	0.34	0.30	0.26	0.36	---
RESISTENCIA EN TENSIÓN	0.51	0.2	1.19	1.33	D63
KGS. CM <sup>2</sup>					
% DE DEFORMACIÓN EN TENSIÓN	100	5	4	3	D63
KGS. CM <sup>2</sup>					
MODULO EN FLEXIÓN	0.84	1.4	1.96	2.11	D79
KGS. CM <sup>2</sup>					

FUENTE: 4

### 3.1.3 USOS Y APLICACIONES

El PBT se utiliza en carcasas de bobinas, medidores de agua, rotores, bobinas de ignición, armaduras de bombas, partes del sistema de frenos, limpia parabrisas, cajas de fusibles, cerraduras, válvulas de vacío, tapas de distribuidor de automoviles, calculadoras de bolsillo, accesorios como hebillas, clips, cierres, botones, engranes, cepillos de dientes, broches, etc.

## 3.2 COPOLIESTERES<sup>1,2,7</sup>

### 3.2.1 GENERALIDADES

Los copoliésteres son polímeros amorfos claros, es un polietilentereftalato-glicol modificado, la modificación es hecha por adición de un segundo glicol, ciclohexanodimetol (CHDS), durante las etapas de polimerización, el segundo glicol es adicionado en proporción al polímero amorfo producido. El PETOT no cristaliza y no ofrece un amplio procesamiento de poliésteres convencionales cristalizables, éste polímero no requiere de plastificadores o estabilizadores. El PETOF tiene una excelente modificación de claridad, brillantes y tensión, lo cual hace que utilice en una variedad de

técnicas de proceso y un sin fin de aplicaciones. Las técnicas de procesamiento incluyen extrusión para moldeo, inyección de tubos, películas y láminas.

### 3.2.2 PROPIEDADES

Algunas de las propiedades de los copolíesteres son las siguientes

TABLA 3.2 PROPIEDADES DE LOS COPOLÍESTERES	
PROPIEDADES GENERALES	
Densidad	1.27 g/cm <sup>3</sup>
Transmitancia	90%
Modulo de elasticidad	2.5 lb/in <sup>2</sup>
Indice de refracción	1.56
Tensión de ruptura	7300 lb/in <sup>2</sup>
Coefficiente de fricción	mayor de 1
Transmisión de vapor de agua	69g/24 hrs/m <sup>2</sup>
Transmisión de gas CO <sub>2</sub>	30 cm <sup>3</sup> /min sobre 24 hrs/m <sup>2</sup> atm
Transmisión de gas O <sub>2</sub>	7 cm <sup>3</sup> /min sobre 24 hrs/m <sup>2</sup> atm
transmisión de gas N <sub>2</sub>	5 cm <sup>3</sup> /min sobre 24 hrs/m <sup>2</sup> atm
Tensión de impacto a 73 °F, 32 °F, 0 °F	425,400,350
Temperatura de deflexión a 264 lb/in <sup>2</sup> , 66 lb/in <sup>2</sup>	145 °F, 158 °F
Conductividad térmica	7.8E-4 cal/(cm seg °C)
Calor específico 10,50,70,100,120	0.26,0.28,0.30,0.37,1.38 cal/gr °C

FUENTE: 17

### 3.2.3 USOS Y APLICACIONES

Se elaboran películas, láminas y envases con mayor resistencia. Las películas se destinan al empaque de alimentos, se utiliza para producir por extrusión una amplia gama de formas como tubos, películas, placas que se utilizan para una gran variedad de aplicaciones en la industria del empaque, otros usos en forma de película, incluyen artículos de papelería, películas protectoras y contenedores termoformados.

### **3.3 MEZCLA (PBT/PET)<sup>(4,7,8)</sup>**

#### **3.3.1 GENERALIDADES**

Las mezclas de PBT/PET tienen un menor costo, un mayor brillo y una temperatura de deformación más alta con respecto a la resina de PBT, esto es debido a la presencia del PET. La mezcla también presenta una mayor moldeabilidad con respecto a la resina simple PBT, es debido a la presencia de PET, en este caso se presenta un complemento de las propiedades de ambas resinas. Los productos emergentes para los que se espera una amplia penetración en el mercado son: las aleaciones de PBT y PET con policarbonatos y/o elastómeros.

#### **3.3.2 PROPIEDADES**

Con respecto a la mezcla de PBT/PET, las propiedades cambian, la resistencia es mayor en comparación a la resistencia del polímero sencillo PBT o PET.

Las propiedades físicas, mecánicas, eléctricas y térmicas se mejoran en forma considerable, dándole a la mezcla mejores características para su uso final.

#### **3.3.3 USOS Y APLICACIONES**

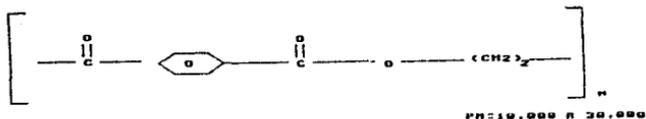
Los usos de la mezcla, se representan en piezas de ingeniería como: carcazas de bobinas, cámaras de medidores de agua, rotores, bobinas, armaduras de bombas, partes del sistema de frenos, tapas de distribuidor de automóvil, válvulas de vacío, se construyen muebles y accesorios como: hebillas, cierres, engraves y transportadores de cartas de circuitos impresos.

### **3.4 POLIETILENTEREFTALATO (PET)<sup>(4,7)</sup>**

#### **3.4.1 GENERALIDADES**

La resina PET es un poliéster saturado, perteneciente a una familia de termoplásticos conocido como resina de poliéster tereftalato y que ha sido desarrollada para la producción de piezas moldeadas.

El poliéster se produce por policondensación del ácido tereftálico con etilenglicol. La estructura química del polietilentereftalato es la siguiente:



Durante los años sesenta, se utilizó en la elaboración de películas flexibles para empaque de diversos productos, cintas, cassettes y películas biorientadas para aplicaciones de fotografía y rayos X. En los años setenta, debido a su característica de baja permeabilidad a gases, cristalinidad y biorientación se adecuó eminentemente para propósitos de envasamiento. La principal aplicación de este poliester son las botellas de capacidad grande para contener bebidas carbonatadas, cervezas, licores y demás productos envasados que aprovechan los beneficios que el proporciona.

Desde su introducción en México (1977), el mercado del PET ha ido creciendo constantemente, y demostrado el mayor crecimiento en volumen de la historia de los plásticos, aunque puede utilizarse como plástico de ingeniería. El PET grado botella es un polímero que a nivel mundial se ha establecido como una alternativa de los empaques tradicionales.

Algunos de los sectores que tienen un mayor campo para el uso de esta resina son: el refresquero, cervicero, agua mineral, aceites comestibles, licores, farmacéuticos, cosméticos y establecimientos químicos.

El PET, por sus excelentes propiedades, brinda a las empresas la oportunidad de innovar, sustituir importaciones de insumo e incluso la posibilidad de promover la exportación de sus productos, manteniendo la calidad en la producción y cumpliendo con los requisitos que exigen los mercados internacionales.

### 3.4.2 PROPIEDADES

Este políester se suministra en forma de gránulos, son cristalinos y por lo tanto blancos, tiene la capacidad de utilizarse para producir, por inyección preformas con la pureza de un cristal.

La resina PET es un material de alta pureza la cual posee una estructura molecular compuesta por átomos de carbono, hidrogeno y oxigeno. A temperatura ambiente tiene buena resistencia a muchos ácidos orgánicos e inorgánicos diluidos, así como hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes hidrocarburos perclorados y soluciones de sales inorgánicas, no tienen resistencia a álcalis y algunos solventes orgánicos (hidrocarburos halogenados y cetonas).

La permeabilidad a gases, (oxigeno y vapor de agua) del PET, es muy baja comparada con otros termoplásticos. El políester es un material excelente para envase con facilidad de sellado. Los envases de resina PET ofrecen una excelente transparencia comparable a la del cristal, de tal manera que sus características de forma y color permiten apreciar perfectamente el contenido del envase. Este polímero es un magnífico conductor de la luz y los rayos ultravioleta no le afectan en lo más mínimo.

El alto grado de orientación molecular en una botella hecha de resina PET le imparte gran resistencia mecánica, proporcionándole algunos beneficios. Debido a su alta resistencia mecánica es posible producir envase de muy bajo peso, tan ligeros que pueden pesar hasta una décima parte que un envase similar de vidrio. Este tipo de envase no se rompe, no rebota y conserva su forma original.

### 3.4.3 USOS Y APLICACIONES

A continuación se dan a conocer algunos usos y aplicaciones más importantes del PET en los diferentes sectores de la industria.

BEBIDAS	Cervezas, Bebidas carbonatadas, Agua mineral
ARTICULOS DE TOCADOR	Shampoos, lociones, cosméticos, dentífricos
ARTICULOS FARMACÉUTICOS	Antisépticos, laxantes, otros medicamentos
TARROS	Alimentos para bebe, salsas, mermeladas y jaleas, nueces, crema de cacahuete
ARTICULOS MEDICOS	Antisépticos, laxantes, otros medicamentos

FUENTE: 14

## **CAPITULO IV**

### **ASPECTOS ECONÓMICOS DEL POLIETILENTEREFTALATO (PET) Y ÁCIDO TEREFTALICO (TPA)**

## **4.1 POLIETILENTEREFTALATO (PET)**

### **4.1.1 GENERALIDADES**

El reciclamiento de botellas de polietilentereftalato (PET), inició tan rápidamente como se introdujo, (1977) por lo que en algunos estados de los Estados Unidos se crearon leyes donde se indicaba la necesidad de separar este polímero mediante contenedores. Para 1989, la proporción de reciclamiento se incrementó en un 23%, lo que hizo que más del 90% de las botellas utilizadas en la sociedad se recolectaran para su posterior uso.

La tecnología de reciclamiento del PET ha ido avanzando. Algunos procesos de reciclamiento dependen de sistemas de separación del Polímero, hoy en día la nueva tecnología de reciclamiento ha minimizado estos problemas. Uno de los contaminantes más serios en el reciclamiento del PET es el uso de adhesivos que se utilizan para pegar las etiquetas, por que éstos reaccionan con algunos químicos y dificulta la separación, pero éste problema se ha tratado de disminuir introduciendo nuevos procesos de reciclaje. Además se han introducido detectores de metales muy sofisticados para ayudar a la separación.

El PET grado botella es un polímero que a nivel mundial se ha establecido como una alternativa de los empaques tradicionales. Algunos de los sectores que tienen un mayor campo para el uso de esta resina son el refresquero, cervicero, agua mineral, aceites comestibles, licores, farmacéuticos, cosméticos y establecimientos químicos. El PET por sus excelentes propiedades, brinda a las empresas la oportunidad de innovar, sustituir importaciones de insumo, incluso la posibilidad de promover la exportación de sus productos, manteniendo la calidad en la producción y cumpliendo con los requisitos que exigen los mercados internacionales.

El políéster se produce mediante una policondensación del ácido tereftálico y etilenglicol como se menciona a continuación:

#### **OBTENCIÓN DE LA RESINA PET COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE BOTELLAS**

La pureza exigida a esta resina requiere que el proceso de policondensación se realice en dos etapas.

- 1) POLIMERIZACIÓN EN ESTADO FUNDIDO
- 2) POLIMERIZACIÓN EN ESTADO SÓLIDO

## 1) POLIMERIZACION EN ESTADO FUNDIDO

En esta etapa, que se conoce como la del "polímero amorfo", el ácido tereftálico y el etilenglicol se hacen reaccionar por medio de una esterificación directa, para obtener el monómero éster tereftálico, BHET (Bis-2-hidroxi-etil-tereftalato) y agua como subproducto que se va eliminando.

El BHET se somete a la policondensación, fase que se efectúa en condiciones de alto vacío con calor y catalizador, haciendo que la cadena del polímero se alargue y liberando una molécula de glicol. Cada vez que la cadena se alarga por unidad repetida, el peso molecular y la viscosidad aumenta proporcionando una mayor resistencia mecánica.

La fase de policondensación termina cuando el grado de polimerización es alto, conteniendo 130 unidades repetidas ( $n=130$ ) de la molécula en el polímero, el glicol se debe ir eliminando para juntar más cadenas moleculares. El producto que se obtiene, en forma de polvo, tiene un peso molecular aproximado de 10,000 a 30,000 durante esta etapa de polimerización se llega a viscosidades intrínsecas del orden de 0.5. La calidad del polímero sintético (PET) depende en gran parte de la calidad de sus monómeros de tereftalato, la pureza del ácido tereftálico (sólido) es de gran importancia, el etilenglicol no presenta problema alguno en este sentido.

posteriormente el PET, se hace pasar por un extrusor y a través de un dado con múltiples orificios, se obtienen espaguetos, que se enfrían en agua y una vez semi-sólidos se cortan en un pelletizador para obtener los gránulos o pellets con tamaño que varían de 2.5 por 2.0 mm hasta 4.0 por 2.0 mm.

Estos gránulos solidificados de PET, presentan ciertos factores que limitan su aceptación industrial:

- a) Son amorfos, llegan a tener un 6% de cristalinidad
- b) Presentan alto contenido de acetaldehído
- c) Son de bajo peso molecular

Para perfeccionar esta resina inicial, mejorando las tres desventajas antes mencionadas, es que se realice la segunda etapa del proceso de polimerización, llamada:

## 2) POLIMERIZACION EN ESTADO SOLIDO

Se divide generalmente en dos procesos:

A) El PET amórfico pasa en un cristalizador, donde se seca con nitrógeno caliente, alcanzando una cristalinidad del 42% aproximadamente.

B) En una segunda fase de cristalización conocida como "polimerización en estado sólido", el gránulo se calienta, en atmósfera inerte permitiéndole alcanzar una cristalinidad hasta de un 52%. Se obtienen valores de viscosidad intrínseca del orden de 0.72 a 0.82, a temperaturas por debajo del de la fusión del material (260°C), estos procesos, como se mencionó, mejoran, tanto la cristalinidad como el alto contenido de acetaldehído y bajo peso molecular, características del material, que repercuten en una mayor facilidad y eficiencia en el secado y rapidez para el moldeado de la preforma. Finalmente se enfría el polímero y queda listo para ser envasado. La estructura química del polietilenoftalato es la siguiente.



#### 4.1.2 PROPIEDADES

##### 1) COMO RESINA

###### a) FORMA DE SUMINISTRO

En América Latina, la primera compañía que logró producir resina PET grado botella fue KIMEX en 1983, con el nombre comercial de KIMPET.

Este polímero se suministra en forma de gránulos cilíndricos. Estos gránulos son cristalinos y por lo tanto blancos, tienen la capacidad de utilizarse para producir por inyección las preformas con la pureza de un cristal. El envasado de esta resina depende de la cantidad que vaya a integrarse.

En lo que se refiere a productos de consumo, el color es un aspecto importante en el material de envase. Los envases que se producen tienen la característica de ser transparente, pero pueden ser pigmentados en diferentes colores, ámbar, verde, azul y en colores opacos, cubriendo perfectamente las necesidades de protección del producto. Los colores se adicionan a los granulos de PET incoloros por medio de unidades dosificadoras arriba del extrusor.

#### b) PUREZA.

La resina PET es un material de alta pureza, la cual posee una estructura molecular compuesta por átomos de carbono, hidrogeno y oxigeno. Además, en la fabricación de los envases no requiere el uso de aditivos, por lo que es totalmente inerte. Satisface los requisitos establecidos de todos los materiales plásticos aprobados por la FDA (Foods & Drugs Administration secc -177/1630 de U.S.A.) y por el ministerio de salud de Alemania Federal (BfA) en Berlín, entre otros, para envases en contacto con alimentos.

De todos los materiales plásticos aprobados por la FDA para envasar alimentos, la resina PET posee el más alto rango de barrera, ya que reduce tanto la perdida de bióxido de carbono de bebidas envasadas como la penetración de oxigeno en los productos alimenticios, como consecuencia se logra alargar la vida de anaquel de los productos.

Se han realizado diversas pruebas con la resina PET, comprobándose que sus usos no representan ningún riesgo tóxico. Por ser un material puro e inerte no altera las propiedades organolépticas de los productos y por lo tanto se puede utilizar como envase de productos muy sensibles.

#### c) RESISTENCIA QUIMICA.

A temperaturas ambiente, el poliéster tiene buena resistencia a muchos ácidos orgánicos e inorgánicos diluidos, así como a hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes hidrocarburos perclorados y soluciones de sales inorgánicas. El PET, no tiene resistencia a álcalis, algunos solventes orgánicos (hidrocarburos alogenados parcialmente, acetonas), estos causan nubosidad como resultado de una cristalización en la superficie. En cada caso, los químicos en cuestión, se deben probar cuidadosamente en el políester por sus efectos, bajo condiciones de servicio simuladas antes de que este material se utilice.

#### d) PERMEABILIDAD

La permeabilidad del PET, para un producto específico, se debe determinar en una prueba de almacenamiento. En conjunto con estos, los análisis y las pruebas de aroma se deben llevar a cabo en intervalos de tiempo específico para controlar cualquier cambio en el producto.

En las gráficas 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran las comparativas del PET y otros termoplásticos, respecto a su transmisión a bioxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) biorientados y sin biorientación.

### 2) COMO BOTELLA

#### a) TRANSPARENCIA

Los envases de resina PET ofrecen una excelente transparencia comparable a la del cristal de tal manera que sus características de forma y color permite apreciar perfectamente el contenido del envase. Un envase de resina PET se reconoce fácilmente por su alto grado de brillo superficial, pues da una apariencia de pulido perfecto. El PET es un magnífico conductor de la luz y los rayos ultravioleta no le afecta en lo más mínimo.

Comercialmente la resina PET se puede encontrar pre-coloreadas o en forma de master-batch, en una amplia gama de colores, la cual cubre perfectamente las necesidades de protección de la luz y la penetración del producto.

#### b) ALTA RESISTENCIA (SOPORTA ELEVADAS CARGAS SIN DEFORMARSE).

El alto grado de orientación molecular en una botella hecha de resina PET, le imparten gran resistencia mecánica, proporcionándole los siguientes beneficios.

- a) Seguridad en el manejo de envases de gran volumen.
- b) Alta resistencia a la ruptura.
- c) Protección de productos de alto valor.
- d) Soporta altas cargas sobre la tapa de un envase, sin deformarse.
- e) Reducción de material de empaque secundario.

**c) GRAN LIGEREZA.**

Debido a su alta resistencia mecánica es posible producir envases de muy bajo peso, tan ligero que puede pesar hasta una décima parte que un envase similar de vidrio, traduciéndose en los siguientes beneficios:

- 1.- Facilidad de manejo y transporte.
- 2.- Requerimientos mínimos de materia prima.
- 3.- Ahorros significativos de transporte.

**d) RESISTENCIA AL IMPACTO QUE SE TRADUCE EN SEGURIDAD (NO SE ROMPE NI REBOTA).**

Los envases de resina PET no se rompen en la línea de llenado, de transportación, almacenamiento o lugares de consumo. Un envase de resina PET al caer al piso no se rompe, no rebota y conserva su forma original.

**e) MEDIO AMBIENTE (AL QUEMARSE SE TRANSFORMA EN DIOXIDO DE CARBONO Y AGUA).**

- 1.- Los envases por ser silenciosos y seguros mejoran considerablemente las condiciones de trabajo en las plantas embotelladoras.
- 2.- Los envases se pueden recolectar y reciclar para utilizarlos en la fabricación de otros productos. También se pueden utilizar como materia prima de combustión debido a que únicamente durante la misma, genera bióxido de carbono y agua.

**3) COMO PELICULA Y LAMINAS**

Las películas y láminas se obtienen, a partir de un proceso de biorientación, con el cual logran propiedades muy singulares, tales como:

- a.- Alta resistencia a la tensión.
- b.- Elevada temperatura.
- c.- Brillo superficial.
- d.- Propiedades de barrera en gases, principalmente a oxígeno y bióxido.
- e.- Posee baja retención de humedad.
- f.- No es tóxico.
- g.- Es fuerte a la formación de hongos y bacterias.

Que lo hacen ideal en aplicaciones del sector envase y empaque, inclusive para laminaciones con aluminio, papel y otros plásticos prolongando la vida de anaquel de artículos perecederos.

Otra de las propiedades importantes es su resistencia a temperaturas de hasta 130°C en uso continuo, que aunado a sus propiedades de barrera, se pueden fabricar laminaciones con aluminio y propileno, las cuales sirven para envasar alimentos preparados que se pueden someter a baño maría sin necesidad de abrir el empaque, comúnmente llamados envases retornables.

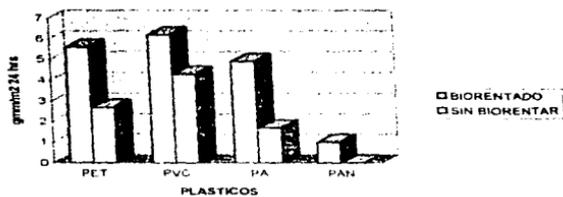
Los espesores de película varían según el fabricante y van desde 10 a 60 micras. También existen láminas de uno hasta tres milímetros, generalmente utilizadas para fabricar empaques termoformados, como charolas que pueden inclusive usarse en hornos de microondas.

TABLA 4. PROPIEDADES GENERALES DE POLIETILÉN TEREFALATO				
PROPIEDADES	0	30	45	ASTM
<b>Generales</b>				
Densidad específica	1.37	1.56	1.60	D792
% de absorción de agua 23 °C 24 hrs	0.08	0.05	0.04	D579
Al equilibrio	0.60	0.45	0.45	-----
% de merina al moldearse	2.0	0.2	-----	-----
Dureza rocvul	M100	M100	M100	D785
Abrasión Taber mg/100 ciclos	3.00	6.00	7.00	-----
Coefficiente de fricción con sí- mismo	-----	0.280	0.170	-----
Coefficiente de fricción con metales	-----	0.170	0.20	-----
<b>RESISTENCIA Y DUREZA A 23 °C</b>				
Resistencia en tensión kg/cm <sup>2</sup>	0.54	1.61	1.95	D638
% de deflexión a tensión	300	3.00	2.000	D538
Modulo de flexión kg/cm <sup>2</sup>	1.16	2.30	2.96	D700
Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup>	1.3	1.25	1.82	D605
<b>TERMICAS/FLAMABILIDAD</b>				
Temperatura de flexión °C a 4.7 kg/cm <sup>2</sup>	215	250	250	D642

$\rho$ 18 kg/cm <sup>3</sup>	85	225	226	---
Coefficiente de expansión térmica	7.8E-5	2.9E-5	2.3E-9	D690
Conductividad térmica w/k	---	0.29	0.31	C177
<b>INDICE DE TEMPERATURA UL °C (* EXCELENTE)</b>				
Eléctrico y Mecánico con Impacto	---	140	140	U10R3M2
Mecánico sin impacto	---	140	140	---
Índice de oxígeno %a	21	20	20	D2863
Resistencia química	*	*	*	---
<b>ELECTRICAS</b>				
Resistencia al arco	---	72	126	D495
Resistencia	3.5	0.1	1.01	D257
Volumétrica, cm, resistencia dieléctrica corto tiempo	23.8 E6	29.6 E6	28.8 E6	D149
Constante dieléctrica a 100 Hz	---	3.6	4.0	---
A 10 E 6 Hz	3.4	3.5	3.9	---
<b>DUREZA Y RESISTENCIA A 23 °C</b>				
Resistencia al corte kg/cm <sup>2</sup>	0.56	0.80	0.87	D732
Modulo de flexión kg/cm <sup>2</sup>	28.86	91.40	140.6	D790
<b>TENACIDAD</b>				
Impacto Iod J/m ranurado a 23 °C	43	101	125	D256
ranurado a 40 °C	32	96	123	---
sin ranurar a 23 °C	*	370	370	---
a 40 °C	*	370	370	---
<b>* SIN RUPTURA</b>				

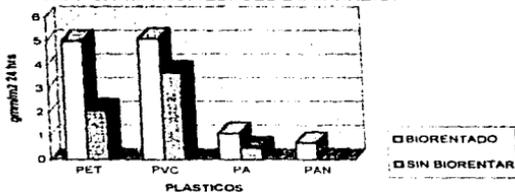
FUENTE:4

GRAFICA 4.1 PROPIEDADES DE BARRERA

COMPARATIVA DE TRANSMISION DE CO<sub>2</sub>

FUENTE: 13

GRAFICA 4.2 PROPIEDADES DE BARRERA

COMPARATIVA DE TRANSMISION DE O<sub>2</sub>

FUENTE: 13

GRAFICA 4.3 PROPIEDADES DE BARRERA



FUENTE 1.3

COMPARATIVA DE TRANSMISION DE H<sub>2</sub>O

### 4.1.3 USOS Y APLICACIONES

La producción de envases de PET soplado, de todo tipo, están concebidos especialmente por su economía y resistencia, sobre todo en botellas, de las cuales existe en el mercado una demanda de grandes cantidades, por ello ésta orientada a la producción a gran escala.

A continuación se dan a conocer las aplicaciones más importantes del PET en los diferentes sectores de la industria.

**BOTELLA:** Aceites comestibles, jugos de fruta, mostazas, vinagres, etc.

**BEBIDAS:** Cervezas, bebidas carbonatadas, agua mineral, agua purificada, etc.

**ARTICULOS DE TOCADOR:** shampoos, lociones, cosméticos, etc.

**ARTICULOS MEDICOS:** Antisépticos, laxantes, medicamentos, etc.

Para productos que requieren un llenado en caliente, jugos, salsas, se utilizan envases moldeados con varias capas, PC más PET, PET más AN, PET más PVC.

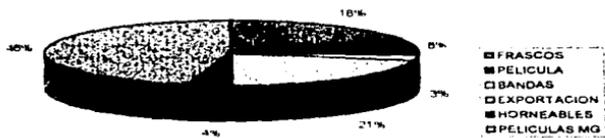
#### 2.- PET grado película.

Cuando la película se destina al empaque de alimentos se usa como base para laminado termosellables o metalizados.

Nuevos desarrollos han logrado una película de PET metalizada con aluminio por un lado y recubierta por ambos lados con SARAN (PVDC) sellable térmicamente. Esta película se usa para empaques de productos muy sensibles a la humedad y que requieren una larga vida de anaquel, como son: los dulces, galletas, fármacos, reactivos químicos secos y polvos para preparar bebidas.

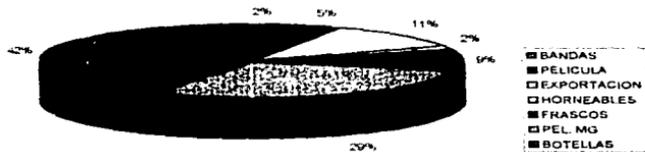
Otro desarrollo interesante es el de la película que está químicamente preparada para asegurar la adhesión de tintas y recubrimientos que normalmente no se adhieren bien a este material pudiéndose imprimir, recubrir, laminar, metalizar y colorear.

GRAFICA 4.4 CONSUMO NACIONAL DE PET EN AÑO DE  
1993



FUENTE: I.A.

GRAFICA 4.4 CONSUMO NACIONAL DE PET EN EL AÑO DE  
1994



FUENTE: I.A.

#### 4.2 ANALISIS GENERAL DE LAS RUTAS PARA PRODUCIR PET<sup>(4,10,20)</sup>

Tal como se muestra en la figura 4.1, las alternativas de procesamiento existentes difieren solamente en la primera etapa, en la que se produce el intermediario bis (2-hidroxi-etil-tereftalato) (BHET). A partir de esta etapa las operaciones necesarias para obtener el polímero final son: prepolimerización, polimerización, separación del solvente y/o subproducto, terminado del polímero y formulación. En el primer caso la primera etapa es la reacción de transesterificación:



Para desplazar el equilibrio a la derecha, la reacción se lleva a cabo bajo condiciones que volatilicen el metanol y que pueda eliminarse fácilmente de los reactores de transesterificación. Se emplea usualmente presión atmosférica y una temperatura que va de 170°C al inicio de la reacción, a cerca de 230°C al final de la misma.

La reacción de prepolimerización se conduce normalmente a presiones menores a la atmósfera, hasta alcanzar 1 mm Hg, con temperaturas que van de 230 a 285°C.



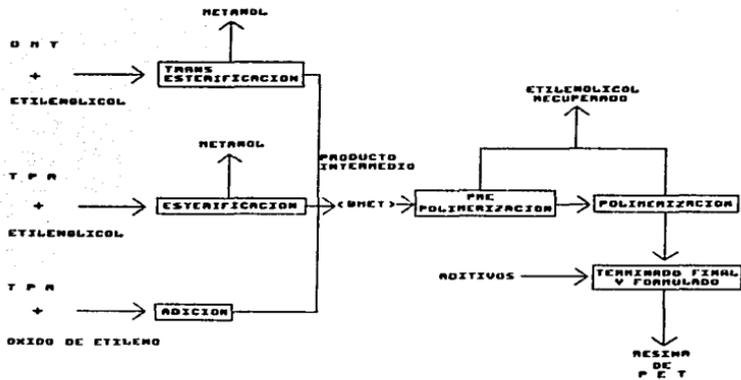
El etilenglicol formado se elimina como vapor a medida que avanza la reacción. El peso molecular obtenido es aproximadamente 6000.

La polimerización final usualmente se hace a menos de 1 mm Hg y a 285 mm Hg. El polímero obtenido tiene un peso molecular de 18000 (para aplicaciones textiles o películas).

Cuando se utiliza la segunda ruta, la reacción inicial es la esterificación:



FIG. 4.1 RUTAS ALTERNATIVAS EN LA OBTENCION DE PET



FUENTE: 7.9.25

Nuevamente la reacción se efectúa bajo condiciones que permiten desplazar el equilibrio a la derecha y eliminar el agua producida; la presión es usualmente mayor a una atmósfera con temperatura de 200-260°C.

Finalmente el proceso que utiliza la ruta de ácido tereftálico (TPA) y óxido de etileno, involucra la reacción:

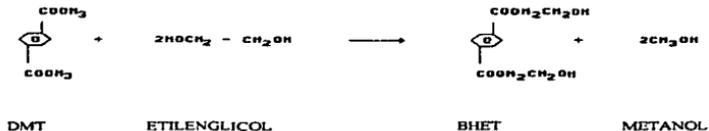


y ocurre a una reacción cercana a la atmosférica y una temperatura de 250°C. La polimerización y demás etapas subsiguientes son similares a las de las rutas anteriores. Esta última ruta ha tenido, hasta ahora una aplicación a escala comercial.

#### 4.2.1 PET A PARTIR DE DMT Y ETILENGLICOL

En la figura 4.2 se muestra el DTP para la obtención de PET a partir de DMT y etilenglicol.

El dimetiltereftalato (DMT) se introduce por medio de un alimentador de tornillo, a los fundidores (con vapor) de DMT, de aquí se bombea al domo del reactor de intercambio de éster. El etilenglicol del almacenamiento se calienta y se divide en dos partes, una para la torre de recuperación de metanol y la otra se alimenta al tanque de mezclado con catalizador. El efluente de este mezclador, pasa al reactor de intercambio de éster donde tiene lugar la reacción.



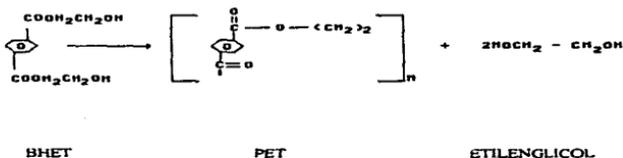
La relación de alimentación de etilenglicol DMT es de 2:1, el tiempo de residencia del líquido es de cerca de 2.5 horas y la conversión del DMT es mayor del 99%. Este reactor es en realidad una columna de platos de ópera una presión atmosférica y a una temperatura de 170°C en el domo, y de 234°C en los fondos, utilizando acetato de zinc como catalizador.

El metanol producido en la reacción se recupera en el domo de la columna de metanol. Por el fondo de la misma se obtiene una corriente que contiene principalmente etilenglicol y DMF. Lo cual, después de vaporizarse, se retorna al reactor de intercambio de éster.

La corriente que sale del fondo del reactor de intercambio de éster se envía a la sección de prepolymerización. Los reactores de prepolymerización operan a una presión que llega a ser de 10 mm Hg y una temperatura de 234°C en la parte superior y de 273°C en los fondos y utiliza trióxido de antimonio como catalizador; en estos reactores se obtiene etilenglicol por parte superior, el cual se manda a codificar para ser reciclado, y un prepolymero de un peso molecular promedio aproximadamente de 6000.

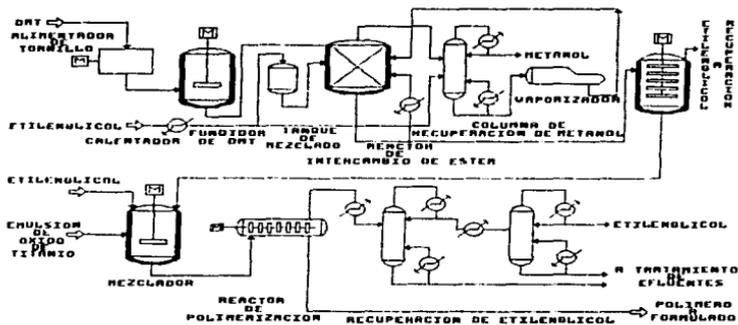
El prepolymero obtenido se mezcla con una corriente de óxido de titanio en emulsión y se alimenta a los reactores de polimerización a 373 °C.

La temperatura al final del tren de polimerización es de 293 °C, mientras que la presión es menor a 1mmHg. El tiempo de reacción es de 6 horas o menor y el peso molecular del polímero obtenido es de 18000 o más. La reacción de polimerización es la siguiente:



El polímero se envía a un manejo de efluentes y formulado final. El etilenglicol obtenido tanto en la prepolymerización como en la polimerización se purifica mediante destilación. En una primera columna los fondos son desechados, mientras que el efluente del domo se calienta hasta 130°C y se envía a una segunda columna en la que obtiene el etilenglicol de concentración necesaria para recircularse.

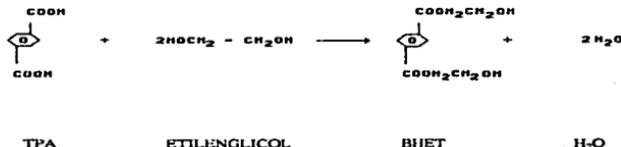
FIG. 4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PET A PARTIR DE DMT Y ETILENLICOL



#### 4.2.2 PET A PARTIR DE TPA Y ETILENGLICOL

En la figura 4.3 se muestra un esquema simplificado de las condiciones de producción del BIET de proceso para obtener polietilenterftalato a partir de ácido tereftálico y etilenglicol.

El proceso inicial al introducir el TPA mediante alimentadores tipo tornillo al reactor en los que produce el BIET, junto con el etilenglicol el cual se precalienta hasta una temperatura de 232°C antes de su entrada a dicho reactor (res), en (los reactor (es) la presión requerida es de 4.5 kg/cm<sup>2</sup> y se efectúa la siguiente reacción.



Conforme avanza la reacción el agua formada se separa en forma de vapor junto con algo de etilenglicol, se separa y recircula al reactor. El producto formado se envía a la reacción de prepolymerización para continuar su procesamiento en forma similar a como ocurre en el proceso de DMTA, descrito anteriormente.

#### 4.2.3 PET A PARTIR DE TPA Y OXIDO DE ETILENO

La figura 4.4 muestra la fracción del diagrama de flujo del proceso correspondiente a la sección de reacción entre el óxido de etileno y ácido tereftálico. El TPA grado fibra se introduce a través de los alimentadores de tornillo a un tanque mezclador al que se le agrega además, benceno de reposición y una mezcla de etileno-benceno de recirculación, junto con el catalizador (dietafolamina); la mezcla de emulsión formada se alimenta al reactor de TPA-OE. Una parte adicional de óxido de etileno se agrega directamente del almacenamiento.

FIG. 4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PET A PARTIR DE TPA Y ETILENGLICOL

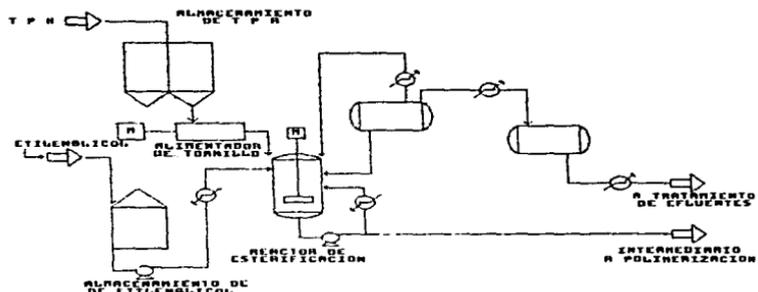
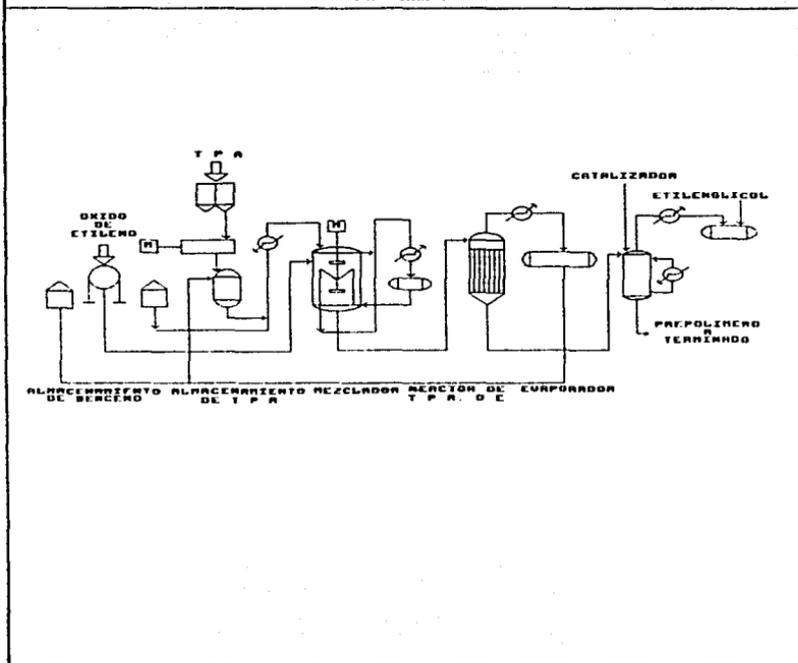


FIG.4.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PET A PARTIR DE TPA Y OXIDO DE ETILENO



El reactor utilizado es un tanque agitado previsto de una chaqueta y unas bobinas internas de enfriamiento para remover el calor de reacción. Las condiciones de reacción son a presión y temperatura de 16 Kg/cm<sup>2</sup> y 115°C con un tiempo de residencia cerca de 100 min. La reacción principal es:



En la chaqueta del reactor se evapora benceno (enfriando la reacción), cerca del 60% del TPA se transforma en BHET. El efluente del reactor se pasa a través de un evaporador para eliminar la mayor parte de ME y benceno remanente para enviarse posteriormente a un segundo reactor en donde se produce la reacción. Este segundo reactor trabaja a una temperatura de 259°C y una presión de 1 Kg/cm<sup>3</sup>, tiene un tiempo de residencia aproximadamente de 2 horas. El prepolímero producido hasta este momento, con un peso molecular promedio de 2000 pasa a la sección de polimerización y el proceso continúa en forma similar a la del proceso de DMT. Como se mencionó, este proceso no se ha evaluado en escala comercial por lo que no se tienen los datos de consumo.

#### 4.3 ANALISIS DE MERCADO DEL PET<sup>(3,11)</sup>

Se trata de un polímero con muy poco tiempo de existencia, la equilibrada relación entre todas sus propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas, dureza y tenacidad así como su resistencia a los productos químicos y su facilidad de transformación a favorecido el crecimiento del PET.

Los principales sectores de consumo de las resinas a nivel mundial se encuentran distribuidos principalmente en botellas, piezas y artículos obtenidos por diferentes tipos de conformado del PET.

### **4.3.1 CAPACIDAD INSTALADA**

La empresa productora del PET con mayor capacidad instalada a nivel mundial es EASTMAN CHEMICAL PRODUCTS. El 70% de la capacidad mundial corresponde a GOOD YEAR, HOECHST CELANESE e ICI.

El país cuenta con representación de varias empresas productoras a nivel mundial y que abastecen el mercado nacional principalmente en PET grado ingeniería. Entre las más importantes se encuentran GENERAL ELECTRIC, PLASTICS DE MEXICO S.A., IBASE MEXICANA S.A. DE C.V. y DUPONT S.A. DE C.V.

La capacidad instalada nacional está dedicada en su totalidad a la producción de PET grado envase y película, a través de dos empresas con una capacidad instalada de 95000 ton./año. En 1990 la utilización de la capacidad instalada fue del 65%, la cual demuestra que a pesar de que la producción actual no es demandada en forma interna, ambas empresas continúan con una adecuada política de exportación.

Es importante destacar que la capacidad instalada para producción de PET en 1994 aumentó considerablemente a 95000 ton./año, aumentando consecuentemente la producción, la utilización de la capacidad instalada aumentó más del 100%.

### **4.3.2 PRODUCCION**

La producción ha crecido considerablemente, en el año de 1986 fué de 11550 ton./año y aumentó a 101729 ton./año en 1995 creciendo un 11% en promedio. En 1994 y 1995 se produjeron 89226 y 101729 ton./año respectivamente aumentando el 822% y 880% en dichos años, lo que indica el gran aumento que está teniendo el PET en su uso.

### **4.3.3 IMPORTACIONES**

Las importaciones de PET grado botella son poco significativas, para 1995 sólo representó el 0.616% de la producción, debido a que ésta cubre ampliamente la demanda tanto en volumen, calidad y precio.

#### **4.3.4 EXPORTACIONES**

En el año de 1995, las exportaciones fueron de 57.37% de la producción nacional, siendo actualmente el rubro más importante de las empresas productoras.

#### **4.3.5 CONSUMO APARENTE**

El mercado nacional de PET grado envase ha tenido un crecimiento muy importante, aún cuando se encuentra en su etapa de introducción, por lo que el consumo aparente pasó de 4720 ton./año en 1986 a 37895 ton./año en 1995, creciendo a una tasa anual promedio de 20.8% durante dicho periodo; sin embargo, cabe señalar que se estima una existencia en almacén del orden de 2000 toneladas durante 1990.

En México se inicia el uso de envases en algunos sectores, como el refresquero, conservas, vinos y licores. Este consumo representa el 41.4% de producción global en el año de 1994. Para el mercado nacional está en su etapa de introducción, sin embargo tiene elevadas perspectivas de crecimiento debido a sus propiedades en el uso de envase.

#### **4.3.6 PRODUCTORES**

Los productores de este polímero en México son:

CELANESE MEXICANA S.A. DE C.V.  
KIMEX S.A. DE C.V.

En 1994 CELANESE inauguró una nueva planta productora de PET grado botella con capacidad instalada de 57000 ton./año localizada en Querétaro.

#### **4.3.7 CONSUMIDORES**

Los principales consumidores son:

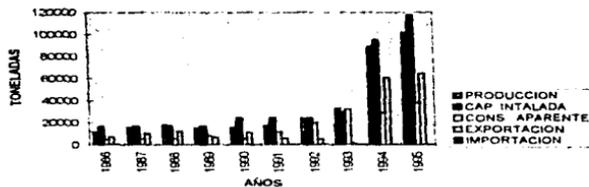
CELANESE MEXICANA S.A. DE C.V.  
FIBRAS SINTÉTICAS S.A.  
KIMEX S.A. DE C.V.

TABLA 4.2 MERCADO NACIONAL DE PET (TON/AÑO)

ANOS	PRODUCCION	CAPACIDAD INSTALADA	CONSUMO APARENTE	EXPORTACION	IMPORTACION
1986	11550	17100	4720	7000	170
1987	15672	17100	5101	10573	2
1988	18092	17100	5678	12449	34
1989	14853	17100	8240	6649	81
1990	16092	24500	5136	11036	80
1991	17645	24500	11836	5997	188
1992	24552	24500	19776	5051	275
1993	33289	29700	32077	1491	279
1994	89226	95000	29156	60708	232
1995	101729	117753	37895	64461	627

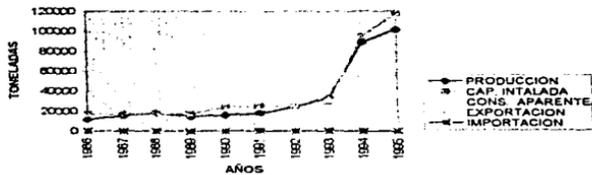
FUENTE:(11)

GRAFICA 4.5 MERCADO NACIONAL DE PET



FUENTE: 11

GRAFICA 4.5 MERCADO NACIONAL DE PET



FUENTE: 11

También es utilizado por un gran número de micros y medianas empresa. A nivel mundial existen muchas empresas que fabrican PET grado envase y película, entre las más importantes están las siguientes:

TABLA 4.3 PRINCIPALES PRODUCTORES DE PET EN EL MUNDO

COMPANIA	PET ENVASE	PET PELICULA
DUPONT	SELAR	MYLAR
EASTMAN	KODAK	EKTAR, KODAPAK
GOOD YEAR	CLEARTUF	CLEARTUF, VIDEN, TRAYTUF, VITUF
AKZO	ARNITL	
HOECHST	TERCEL	HOSTAPUAN
CELFA		FOLEX
GEVAERT		GEVAR
DAIICHI CHEMICAL		DIATOIL

FUENTE: 4

#### 4.4 ACIDO TEREFALICO

##### 4.4.1 GENERALIDADES

En 1952 E. I. DUPONT DE NEMOURS & Co. empezó a producir el ácido tereftálico, éste se encuentra disponible en un grado técnico, producido por oxidación de p-xileno, sin embargo el dimetil tereftalato está disponible con una alta pureza.

En general, los métodos de preparación que se encuentran en la literatura utilizan p-xileno u componentes de peso molecular bajo, el 1,4 dialquilbenceno se utiliza como la materia prima principal. En reacciones de síntesis severas los productos intermedios de reacción se derivan de alquil benceno, que se utilizan como material inicial.

Todos los métodos reportados están en fase líquida o métodos "mejorados"; ninguno se encuentra en fase vapor, los métodos de oxidación catalítica son similares a éstos y son usados en la producción de anhídrido ftálico. La reactividad del p-xileno y sus homólogos en el lado de oxidación de la cadena es aparentemente más baja que las correspondientes estructuras orto, a esas condiciones.

Al ácido tereftálico también se le conoce como 1,4 ácido benceno dicarboxílico:



Inicialmente fue producido por la oxidación del p-xileno, utilizando ácido nítrico diluido pero más tarde, el volumen de ácido requerido se redujo y se utilizó aire. Ambas rutas han sido reemplazadas por una oxidación catalítica en fase líquida del p-xileno, el proceso existe en una sola fase.

Además muchas variantes del proceso existen, todas utilizan una sal de cobalto en ácido acético (solvente), como catalizador haciéndolo reaccionar con bromuro de sodio, acetaldehído, paraldehído o metilcelosona han sido utilizados como agentes reaccionantes alternos, los cuales son convertidos en ácido acético

Rutas alternativas desarrolladas en Japón (basadas en tecnología de punta ), han utilizado anhídrido ftálico derivado del naftaleno, como el material inicial en presencia del dióxido de carbono y un catalizador, consistente de óxido de cadmio y/u óxido de zinc, las sales de potasio de anhídrido ftálico es transformado a dimetil tereftalato. El ácido tereftálico (TPA) es recuperado del éster, por tratamiento con ácido sulfúrico

Numerosos productores han realizado esfuerzos considerables para aumentar el grado de pureza del TPA, estas rutas fueron hechas por la estandarización demandada por la fabricación de fibras. Por la dificultad de purificar al TPA, los procesos de esterificación han sido desarrollados, en un intento por obtener fibras grado DMT.

Para minimizar la producción de productos secundarios, la esterificación es llevada a altas temperaturas y presiones, el éster se encuentra separado por dos etapas de destilación a vacío. A pesar del uso de técnicas especializadas, la mayor parte de TPA, es utilizado como TPA grado polímero.

La mayor parte del DMT es producida por DYNAMIC NOBEL TECHNOLOGY, basadas en p-xileno, utilizando pasos de oxidación y esterificación. Una nueva ruta basada en tolueno para producir TPA vía p-tolualdehído ha sido investigada por MITSUBISHI pero aún no ha sido comercializada.

Además, el DMT y TPA pueden ser utilizadas para la producción del poliéster, el TPA ofrece ventajas de costos sobre el éster debido a:

- a.- Alta separación del poliéster
- b.- Bajos requerimientos de etilenglicol
- c.- No se recupera del producto secundario el alcohol metílico.

El p-xileno es la materia prima dominante, utilizada para producir TPA y DMT, alrededor del 90% se utiliza para producir a éster. Una pequeña cantidad de DMT es aun producido de naftaleno, pero esta ruta ha tenido un gran incremento económico.

Los procesos ahora obsoletos han envuelto la oxidación del naftaleno a anhídrido ftálico, esta conversión a dipotasio o-ftalato y su subsecuente isomerismo a tereftalato de dipotasio en presencia del dióxido de carbono, como también al arreglo y el ácido benzoico.

El rango de capacidad de una planta de TPA oscila entre 50-630000 ton/año. La capacidad futura espera un incremento del 7% por año hasta finales de los años noventas.

#### 4.4.2 PROPIEDADES.

Algunas de las propiedades más importantes de este compuesto se enlistan en la tabla 4.4.

Estas propiedades se encuentran divididas de acuerdo al estado físico del compuesto, ya que existen algunas de éstas, que solo se mencionan en uno de los estados.

ESTADO LIQUIDO		
PUNTO DE CONGELACION	°C	427
PUNTO TRIPLE	°C	427
PUNTO DE EBULLICION	°C	280
CALOR DE FUSION	KJ/MOL	31.6
CALOR DE VAPORIZACION	KJ/MOL	57.3
CTE. CRIOSCOPICA	% MOL/°C	2.3

CALOR DE COMBUSTION	KJ/MOL	4684.8
ESTADO SOLIDO		
CALOR DE SUBLIMACION	KJ/MOL	142
PUNTO DE SUBLIMACION	°C	404
PUNTO DE FUSION	°C	300
CALOR ESPECIFICO	J/Kg °K	1202
DENSIDAD A 25°C	G/ML	1510
CALOR DE COMBUSTION	KJ/MOL	3223
CALOR DE FORMACION A 25°C	KJ/MOL	-816
EQUIVALENTE DE NEUTRALIZACION		84.3
PUREZA	%	95
CONTENIDO DE NITROGENO	%	0.1
FUENTE: *		

#### 4.4.3 USOS Y APLICACIONES

El mayor uso del TPA y DMT es en la producción de fibra poliéster, con alrededor del 70-75% de la producción mundial. Como el mercado de la fibra es maduro, se espera que decline su uso a un 60% dentro de los años siguientes. Aproximadamente el 10% es utilizado en la manufactura de botellas y 5% para películas, las cuales se utilizan en fotografía, computación, audiovisual, el resto se consume como plásticos de ingeniería, tales como resinas poliéster, en artículos eléctricos, PIT y resinas de poliacrilato. La demanda futura se espera en un crecimiento arriba del 2% anual pero esto depende de los prospectos, se utiliza como un componente de aceites en resinas alquídicas modificadas, se ha probado en forma interesante en la preparación de colorantes y farmacéuticos.

#### 4.5 ANALISIS DE MERCADO DEL TPA <sup>111</sup>

##### 4.5.1 CAPACIDAD INSTALADA

Existen en la actualidad dos empresas, PETROCEL S.A. y TEREFALATOS MEXICANOS S.A DE C.V. que con una capacidad instalada de 370000 ton/año se dedican a la producción única de ácido tereftálico.

La Asociación Nacional de la Industria Química (ANSIQ), reporta una capacidad instalada de 29000 ton. durante el periodo de 1987 a 1990, los siguientes tres años la capacidad instalada se vio

ampliada, la primera ocasión con un aumento del 20% en el año 1991, y en los dos años posteriores esta capacidad instalada se mostró favorablemente en un 7% adicional.

#### **4.5.2 PRODUCCION**

La producción de TPA aumento de 248800 ton. en 1987 a 511305 ton. en 1995, creciendo anualmente este periodo a la razón de 13.82%. El uso de éste producto va en aumento a medida que se incrementa el uso del PET.

#### **4.5.3 IMPORTACIONES**

En este rubro, las importaciones tuvieron un comportamiento bastante inestable ya que desde 1987 en donde estas fueron nulas, se han tenido variaciones, que van desde 4 ton. hasta 3993 ton. demostrando poca estabilidad, en comparación con la producción nacional estas son mínimas.

#### **4.5.4 EXPORTACIONES**

Las exportaciones se han comportado durante los años estudiados en forma estable, ya que en el año de 1989, se tuvo una cantidad exportable de 140067 ton., (siendo la menor cantidad que se exportó), en 1991 se exportaron 139790 ton. Esto nos indica que de la producción total el 50% se exporta en forma continua

#### **4.5.5 CONSUMO APARENTE**

Debido al auge que han tenido los plásticos, el consumo de TPA, (principal ingrediente del PET), aumentó la cantidad consumida por año. Este aumento fue del 32.35 % en promedio anual en el periodo 1987-1994.

#### **4.5.6 PRODUCTORES**

En la actualidad las únicas plantas que producen TPA, son:

PETROCEL S.A. DE C.V.  
TEREFALATOS MEXICANOS S.A. DE C.V.

## 4.5.7 CONSUMIDORES

Existen diversas compañías que utilizan el TPA como ingrediente para producir plásticos, pero las principales son:

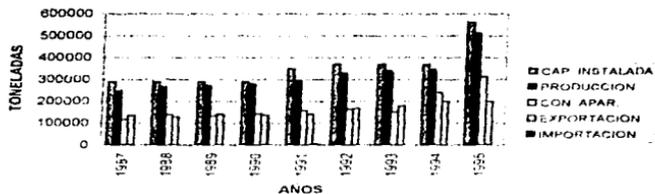
CELANESE MEXICANA S.A.  
 FIBRAS SINTETICAS S.A.  
 KIMEX S.A.

Tabla 4.3 MERCADO NACIONAL DEL TPA (000/ANO)

AÑO	CAPACIDAD INSTALADA	PRODUCCIÓN	CONSUMO APARENTE	EXPORTACION	IMPORTACION
1987	290000	248400	114656	134144	0
1988	290000	267263	138631	128711	70
1989	290000	272546	132522	140067	143
1990	290000	279958	143836	136126	4
1991	350000	293448	147651	139790	3993
1992	370000	329370	162821	166553	4
1993	370000	339838	151744	180136	42
1994	380000	348556	169500	201342	60
1995	561873	511305	210187	199604	101

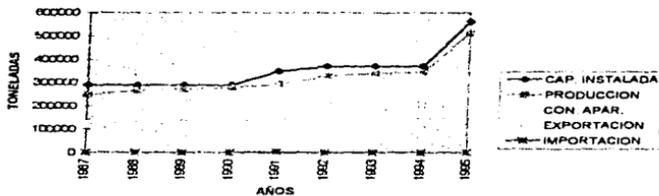
FUENTE: II

GRAFICA 4.6 MERCADO NACIONAL DE TPA



FUENTE: 11

GRAFICA 4.6 MERCADO NACIONAL DEL TPA



FUENTE: 11

#### 4.6 PRODUCCIÓN DE BASURA EN MÉXICO <sup>2310171</sup>

Uno de los problemas principales y más graves que está teniendo la industria del plástico actualmente, es el reciclado de los desechos, ya que los grupos ecologistas, el gobierno y la ciudadanía en general están buscando soluciones al problema. En caso de que este problema no se resuelva lo más rápido posible, nuestra industria y nuestra sociedad se verán seriamente afectadas.

A consecuencia de esto, los fabricantes de plásticos y resinas han anunciado la creación de importantes programas de reciclaje, dando excelente oportunidad a que se desarrollen programas de transformación.

Por otro lado durante los últimos años, se ha hecho más evidente que las materias primas no son inagotables. Este hecho incide cada vez más sobre la necesidad de economizarlas, será más necesaria la recolección y reutilización de los desechos plásticos generados por las industrias fabricantes y transformadoras así como el consumidor final.

"Es urgente hacer conciencia que el cuidado del medio ambiente debe ser parte de nuestra cultura".

##### 4.6.1 SISTEMAS PARA TRATAMIENTO DE BASURA

En México se producen residuos y desechos que conjuntamente a estos beneficios (producción de maquinaria y bienes de inversión y de consumo etc.) produce el desequilibrio ecológico y la escasez de recursos renovables y no renovables.

La basura no es únicamente un problema por la contaminación que produce o por ser fuente de enfermedades diversas. También es una carga para toda la sociedad por el costo económico que representa.

En 1982 por ejemplo se produjeron aproximadamente 48000 ton./día de basura en México, en 1990 fueron 62000 ton./día y se estima que para el año 2000 serán 100,000 ton./día. Se puede observar que alrededor del 70% de la basura que se genera en la República Mexicana se encuentra localizada en el área metropolitana, ocupando un volumen equivalente a tres veces la magnitud del estadio azteca, cuando ésta se acumula durante un mes, es decir, 7 millones de metros cúbicos mensuales.

Los plásticos representan el 6% en la basura y equivocadamente se piensa que es el material más peligroso para el medio ambiente, sin darnos cuenta de todos los beneficios que ha provocado en todos los sectores industriales y a la humanidad en general.

Si bien es cierto los desechos plásticos provienen de envases como bolsas, botellas, películas, vasos desechables y jeringas, mismos que causan problemas en el manejo de la basura por ocupar grandes volúmenes debido a su baja densidad, también es muy cierto que si estos se separan, representan una valiosa fuente de materias primas que a su vez representan una gran oportunidad para el desarrollo de nuevas industrias para su reciclamiento, puesto que los plásticos son materiales reciclables y este tipo de negocios es altamente rentable.

#### 4.6.2 INCINERACION

La incineración es un método utilizado en los países desarrollados, donde el plástico se quema con otros desechos orgánicos generados. Sin embargo, la incineración no es el método más recomendable en principio, pues se destruye por completo la molécula del polímero. Una de las ventajas del uso del plástico como combustible es el poder calorífico de varios plásticos y otros materiales, algunos valores se muestran en la tabla 4.6.

Las cenizas producidas al incinerar estos materiales se usan en los rellenos sanitarios, o bien, se utilizan como materia prima para producir diversos materiales de construcción.

TABLA 4.6 VALOR CALORIFICO DE VARIOS MATERIALES PLASTICO	
MATERIAL	VALOR CALORIFICO KJ/g
POLIBETILENO	46
POLIBROMURENO	44
POLIBETILENO LIMPIO	42
POLIBETILENO ALTO IMPACTO	44
ABS	87
CLORURO DE POLIVINILO	21
NATURAL	29
POLIBETIL TEREFTALATO	33
POLICARBONATO	29
PAPIL	36
NEUMATICOS	38
PLASTICO	

#### 4.6.3 PIROLISIS

La pirólisis es un proceso endotérmico que se lleva a cabo calentando a altas temperaturas y en ausencia o con poco oxígeno, materiales orgánicos, los cuales experimentan rompimiento en su estructura química, que da como resultado gases, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>; aceites y líquidos orgánicos, como acetona y metanol, así como carbón y diversos sólidos que acompañan a la materia prima que alimentan a los reactores pirolíticos.

Existen varios tipos de sistemas pirolíticos tales como el de fusión y gasificación, donde las temperaturas de descomposición están en el rango de 450 a 850 °C donde el proceso generalmente es llenado por el gas producido y donde los aceites se separan por calentamiento, éstos representan una ganancia de energía. Las plantas que se encuentran diseñadas por una alimentación de mezclas de plásticos se efectúa la separación y recuperación de algunos de los componentes ya citados.

Existen pruebas de pirólisis de poliestireno, en el cual se observa que es posible recuperar aproximadamente el 40% de estireno y el 20% de su dímero. Con esto se demuestra que algunas de las ventajas de este tipo de proceso de recuperación es que la molécula polimérica no se destruye completamente, ya que los productos que se obtienen pueden ser líquidos o gases.

#### 4.7 TECNOLOGIAS DE REPROCESAMIENTO <sup>13,14,15,16</sup>

Existen diversas tecnologías para el reciclado de plásticos, las cuales se definen de acuerdo al estado general de los desperdicios que deberán transformarse:

Cuando se obtienen los desperdicios lo más limpio posible es aplicable con una gran rentabilidad del proceso de regranulados despolimerización para termoplásticos. Para que este sistema tenga buenos resultados se requiere seguir algunas reglas básicas para el manejo de desperdicios:

- a) Los desperdicios deben tener un lugar muy especial dentro del ciclo de producción.
- b) Mantener limpios los desperdicios, libres de contaminación de materiales diferentes como : metales, papel, vidrio y otros plásticos o sustancias extrañas .

c) Clasificar los desperdicios por tipo de plásticos y tamaño, debido a que cada uno presenta características diferentes, como punto de fusión, índice de fluidez, densidad y estructura química, lo que significa que cuando se mezclan presentan incompatibilidad y dificultad de reciclado.

Cuando se llevan a cabo correctamente las reglas anteriores, entonces se obtienen desperdicios adecuados para regranularse y reincorporarse al ciclo de producción inicial o también para la fabricación que los generó o bien para la obtención de otros productos que no requieran de alta calidad.

Los desperdicios obtenidos de la recolección diferenciada también requieren ir libres de contaminación. Necesitan un proceso de lavado posterior a la molienda para obtener un regranulado de buenas características.

El proceso de regranulado consiste básicamente en los siguientes pasos:

- 1.- MOLIENDA
- 2.- LAVADO SEPARACION
- 3.- COMPACTACION
- 4.- PELLEJIZADO
- 5.- MODIFICACION CON ADITIVOS

#### 1) MOLIENDA

Las piezas de gran tamaño, tortas de material fundido, cuerpos huecos y madejas de hilo, exigen según el material y la forma, la utilización de instalaciones de corte de molienda especiales. Las fábricas de maquinaria de éste sector, ofrecen instalaciones adecuadas para cada caso.

Existen diversos factores que se deben de tomar en cuenta para la elección del molino.

- a) Tipo de molino
- b) Estado del material
- c) Dimensiones del material a triturar
- d) Humedad
- e) Granulometría requerida
- f) Densidad
- g) Producción

## 2) LIMPIEZA

A partir de los desperdicios del material plástico, que se producen de una forma continua y clasificada, se puede obtener por medio de un procedimiento de limpieza, una materia prima secundaria, que desde el punto de vista de las propiedades de la pieza acabada es comparable con la materia prima virgen. Sin embargo se requiere que la limpieza se realice en dos fases. En la primera fase se separa la suciedad poco adherida, esto es después de la molienda del material. La suciedad fuertemente adherida, no se elimina en el proceso de lavado, es por eso que se tiene que efectuar de manera manual antes de la trituración. El material molido, lavado y seco se filtra en estado fundido en la segunda fase de la limpieza. La cual se lleva a cabo en el extrusor granulador por medio de sistemas de mallas o tamices intercambiables colocadas dentro del cilindro del extrusor.

## 3) COMPACTACION

Se aplica a los desperdicios de películas, fibras y materiales espumados, los cuales por su baja densidad aparente requieren equipos especiales que funcionan a elevadas velocidades, dando como consecuencia un aumento en la temperatura de molienda ocasionando a su vez la aglomeración de material.

## 4) PELLETIZACION

La pelletización consiste básicamente en un proceso de extrusión con un dado espacial a base de un dado perforado con orificios de aproximadamente 2mm de diámetro y por ellos sale fundido y homogenizado el plástico, para posteriormente ser cortado.

## 5) MODIFICACION CON ADITIVOS

El empleo de aditivos para restablecer o en muchos casos mejorar el comportamiento de los plásticos recuperados, es de vital importancia para el éxito de las operaciones de reciclado.

Los aditivos que pueden utilizarse para reformular plásticos reciclados son los siguientes:

- a) Cargas
- b) Antioxidantes
- c) Estabilizadores de luz t v
- d) Modificadores de impacto
- e) Agentes desmoldantes

Con tales reformulaciones los residuos plásticos están en posición de competir en algunas aplicaciones de alta tecnología industrial, por ejemplo, las botellas de PET para bebidas carbonatadas podrán terminar en las defensas y otras partes de automóviles.

Otras formas de recuperar desechos plásticos, aparte del ya descrito, es el tratamiento químico. En muchos casos favorables, los monómeros y otros materiales iniciales pueden ser recuperados con un alto grado de pureza.

El proceso de reciclamiento es particularmente atractivo, consiste principalmente en originar una despolimerización de la molécula original.

DUPONT Y BARBER COLMAN han desarrollado procesos de despolimerización, mediante programas iniciados por grupos ecologistas. Estos programas incluyen un gran número de métodos, considerando los aspectos socioeconómicos y los aspectos tecnológicos que se tienen para reciclar este tipo de desechos y además los que en un futuro pueden desarrollarse.

El volumen de plásticos de desechos que se generan, no ha escapado de los ojos de los productores, se han dado cuenta que el uso de los plásticos en los hogares aumentan en forma considerable, por ejemplo en U.S.A. se producen alrededor de 3-40 billones de libras por año de desechos, más de media tonelada por persona cada año, de los cuales la mayor parte no se reciclan. En la figura 4.5, 4.6 y 4.7 se muestra la cantidad de plástico que se recicla de PET y LDPE, por ser estos los plásticos más utilizados comercialmente y desechados como desperdicios.

La expansión y el uso del PET en sus diferentes formas, ha sido uno de los éxitos en el área de los envases en la última década. Ahora su contribución más importante ha sido en el sector de los refrescos con gas y si el. Los diseñadores rápidamente adoptaron otras bebidas efervescentes para utilizar el PET, ahora el mercado para los envases desechables de cervezas y sidras ha crecido considerablemente, por lo cual el mercado de desechos es muy amplio, para conseguir la materia prima principal de trabajo.

La factibilidad económica de los plásticos reciclados está en función de los precios de la resina virgen y de los mercados de las resinas virgen. Por ejemplo, el reciclado del PET ha permanecido rentable bajo consideraciones tanto económicas como ambientales, es decir, se contempla que el precio de la resina virgen es más elevado que el PET procesado. Por esto la aceptación del PET reciclado para utilizarse en el empaquetado de alimentos, por otra parte la ADMINISTRACION DE DROGAS Y ALIMENTOS (FDA), ha favorecido el uso de los métodos de reciclado químico, mediante el cual se logra la

remoción de contaminantes químicos a niveles no tóxicos y a su vez la producción de polímeros nuevos equivalentes a los polímeros vírgenes regulados.

Este tipo de reciclado consiste en la recuperación de productos reutilizables, por modificación química de residuos plásticos. Esta tecnología permite la reutilización de los envases de PET, empleando la despolimerización la cual consiste en el rompimiento de moléculas grandes de alto peso molecular de los desechos plásticos, a cadenas más cortas y de menor peso molecular, para su posterior reutilización.

Los polímeros que presentan una menor dificultad para ser reciclados por despolimerización son los de tipo CONDENSACION específicamente poliésteres (P.E.T., POLIAMIDAS Y POLIURETANO).

Una ventaja de la despolimerización sobre los procesos de reprocesado y transformación, es concerniente a la limpieza ya que los monómeros repolimerizados son idénticos en pureza a cualquier resina virgen. En el caso del P.E.T., la eficacia técnica y económica de los procesos de reciclado químico que incluyen las formas de alcoholólisis principalmente, glicólisis y metanolólisis a quedado demostrado al llevarse actualmente a nivel comercial.

HOUSHI CLEANER comercialmente emplea el método de metanolólisis para la despolimerización del PET reciclado, una vez repolimerizado lo utiliza, para empaque en contacto con alimentos. En este mercado el PET recuperado, después de mezclarse con el metanol se somete a calentamiento bajo presión por un cierto tiempo, obteniéndose el compuesto dimetil tereftalato, con rendimiento aproximado del 90% de acuerdo a lo patentado por GRUNHEIM.

Alternativamente el PET residual puede tratarse por medio de la tecnología de glicólisis, método que consiste en la ruptura parcial del PET en monómero para su reutilización, proceso que practica a nivel comercial OGDYEAR AKKROS OIL.

La reducción de PET de alto peso molecular a fragmentos de cadena corta es posible con la adición de glicoles, como el propilenglicol, bajo calentamiento y en presencia de un catalizador tipo amino y alcoxi. Generalmente la reacción de glicólisis se lleva a cabo en un periodo de 8 horas a 200°C. Algunas de las consideraciones más importantes en el reciclado de PET son; en la etapa de recolección del PET residual, se recomienda la selección de botellas completas, permitiendo con ello la separación por colores y la obtención de productos reciclados de mayor pureza. Minimizar la variedad de los componentes, el papel, metal, aldehidos, y los diferentes tipos de resinas, con el objeto de facilitar el proceso de reciclado.

Evitar el empleo de pigmentos y colorantes por impresión directa como es el caso de serigrafía y litografía.

Uno de los problemas más grandes es la remoción de PVC y el PET debido a que ambos materiales tienen densidades muy parecidas, de tal manera que aun con 20 ppm de PVC se puede dañar el reciclado del PET. Además a la temperatura de procesamiento del PET (250°C) el PVC tiende a degradarse, por lo que se recomienda la separación de estos dos materiales, en la figura 4.8 se representa un esquema general de la etapa de reciclado del PET. Debido a que el reciclado de PET a sido próspero, se está contemplando la sustitución de otras resinas por PET en un gran número de productos de empaque, especialmente en el caso de la botella transparente. Dicho lo anterior, se puede concluir que es deseable lograr la máxima recuperación de PET, ya que implica una fuente segura y autorenovable del mismo, dado que el tratamiento de este tipo de plásticos se presenta más accesible que para otros.

#### 4.8 PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO<sup>13</sup>

En esta sección del capítulo se demuestra que el estudio de esta investigación es rentable. Esto se comprobó mediante un estudio de prefactibilidad, la cual muestra que el proyecto se puede realizar, en la tabla 4.7 se muestra un balance de entradas y salidas de acuerdo a una producción teórica establecida.

De acuerdo a esta tabla las ganancias totales en el año de 1994 fueron de \$1.270 esto desglosado se muestra de la siguiente manera

$$\text{COSTO TOTAL DE MFP} + \text{COSTO DE ENERGÍA} = \text{GANANCIAS TOTALES} \text{-----(A)}$$

$$2.130 + 0.48 = 2.610; \text{ LAS GANANCIAS TOTALES} = 3.880 - 2.610 = \$ 1.270 \text{-----(B)}$$

Ecológicamente, se observa que el uso de este polímero aumenta con gran rapidez como lo muestra el análisis de mercado y observando la rentabilidad del proceso, queda demostrado que éste pudiera tener resultados favorables a nivel industrial. Con el cual se tendría un punto, de partida para hacer que los empresarios principalmente las micro y mediana empresas se interesen en implantar una planta piloto a nivel industrial.

TABLA 47 GASTOS Y GANANCIAS PARA PRODUCIR IPA, PARTIENDO DEL PET.

VENTAS	1 KG	CONVERSION	\$ TOTAL
PRODUCTOS			
AC. TEREFTALICO	3.840	0.3224	3.356
ETILENGLICOL	1.640	0.3224	0.5245
INGRESOS TOTALES			\$3.880
AC SULFURICO	1.0	0.510	0.510
HIDROXIDO DE AMONIO	3.0	0.4110	1.320
POLIETILINTEREPTALATO	1.0	0.30	0.30
GASTOS TOTALES			\$2.130

FIN DE LA

ESTA TEXIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## FIGURAS 4.5 - 4.6 CONSUMO DE POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD

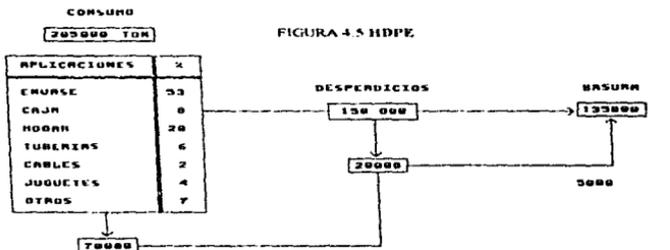


FIGURA 4.5 HDPE

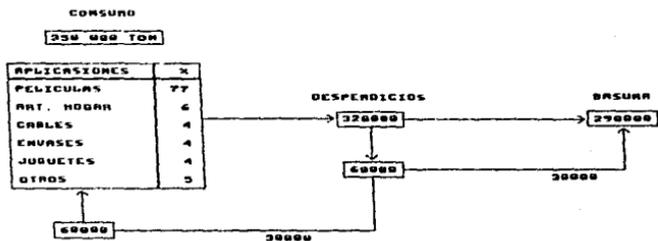
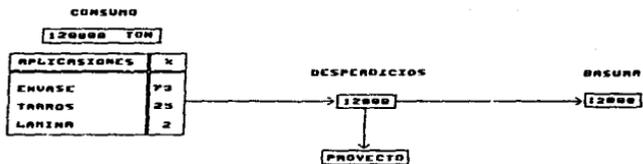
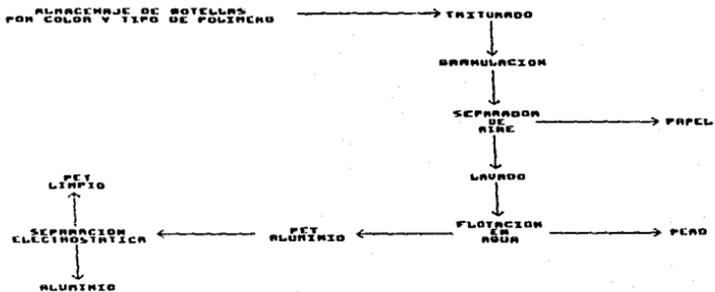


FIGURA 4.6 LDPE

FIGURAS 4.7 CONSUMO DE POLIETILÉNTERFTALATO (PET)



FIGURAS 4.8 ESQUEMA GENERAL DE LAS ETAPAS DE RECICLADO DE ENVASES DE POLIETILENTEREFTALATO (PET)



**CAPITULO V****DISEÑO DE UN PROCESO PARA UNA PLANTA  
RECUPERADORA DE PET**

## 5.1 ANALISIS GENERAL DE LAS RUTAS PARA PRODUCIR TPA<sup>(9,19)</sup>

### 5.1.1 TPA A PARTIR DE P-XILENO POR OXIDACION.

Una solución de p-xileno en ácido acético, catalizador y aire es cargado dentro de un reactor, el catalizador es usualmente cobalto (sal) o una mezcla de cobalto y magnesio, figura 5.1.

La reacción toma lugar en la fase líquida a una temperatura de 175-230°C y presiones de 15-30 bar, el calentamiento es removido por reflujo y condensación de ácido acético. El p-xileno se oxida totalmente pero el aire se encuentra en exceso, se reduce a la formación de un producto secundario, el TPA produce un lodo el cual es removido de la base del reactor. La temperatura y presión son reducidos y el p-xileno no reacciona, el ácido acético y el agua son separados. Antes se centrifuga para separar los cristales de las aguas madres y catalizador.

Después se repite el lavado con ácido acético puro, los cristales de TPA son secados. El ácido acético es recuperado por destilación de las aguas madres, y el agua es removida para reciclarla. Los residuos de la columna de destilación pueden ser procesados para recuperar el catalizador.

Muchas modificaciones al proceso han sido propuestas, tales como el uso de oxígeno puro y metil-tilcetona como activadores para incrementar la pureza del TPA formado.

La mayor cantidad de impurezas sobrantes son removidas por lavados con ácido acético caliente. A pesar de tales tratamientos el TPA que se obtiene no tiene los requerimientos para ser un grado fibra.

#### REACCION

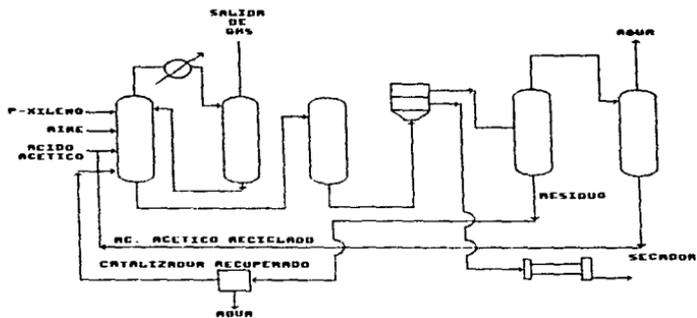


#### REQUERIMIENTOS DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS

##### MATERIAS PRIMAS REQUERIDAS POR TONELADA DE TPA

PXILENO	650 KG	PRODUCCION 95%
ACIDO ACETICO	57 KG	

FIG. 5.1 OBTENCION DE TPA A PARTIR DE P-XILENO POR OXIDACION



### 5.1.2 TPA POR ESTERIFICACION

Para producir DMT el TPA se esterifica con alcohol metílico. El proceso puede ser llevado en una o dos etapas. El TPA crudo y alcohol metílico en exceso son precalentados y presurizados para alimentarlos a un reactor de esterificación. La reacción en fase líquida es llevada a una temperatura de entre 250-300 °C y además no se requiere catalizador, para mejorar los productos obtenidos es necesario utilizar un catalizador. El DMT crudo formado es recuperado y las impurezas son oxidadas catalíticamente con aire y removidas por destilación.

#### REACCION



#### REQUERIMIENTOS DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS

MATERIA PRIMA REQUERIDA POR TONELADA DE DMT (grado fibra)

MATERIA PRIMA	CANTIDAD Kg	PRODUCCION
P-XILENO	580	95 %
ALCOHOL MET.	370	
ACIDO ACETICO	50	

### 5.1.3 TPA A PARTIR DE P-XILENO Y ALCOHOL METILICO

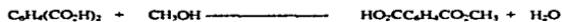
El p-xileno, aire y catalizador son alimentados dentro de un recipiente oxidizador donde se mezcla con p-metiltolueno reciclado. El catalizador consiste de una sal de cobalto, pero combinaciones de cobalto y sales de magnesio pueden ser usadas. La oxidación toma lugar de un rango de 140-170 °C a una presión de 4-8 bars, el calentamiento que se produce por la reacción se mueve por vaporización del p-xileno y el agua. La mezcla acuosa es condensada en un separador y el p-xileno es reciclado, mientras que el agua se manda al drenaje, figura 5.2. El oxidato contiene ácido p-toluenico y monometil tereftalato, fluyen dentro de una torre que contiene alcohol metílico. La esterificación es

llevada a una fase líquida de 250 a 280 °C y una presión de 20-25 bars. El alcohol metílico en exceso de la esterificación es llevado a los domos de la torre para condensarlo, destilarlo y reciclarlo.

La mezcla de esterificación es pasada a una columna de destilación donde el p-xileno toluato es colectado de la mezcla de la torre y regresado al oxidador. Los fondos son destilados y el DMT crudo se obtiene de la torre. La purificación es llevada fuera por catalización del alcohol metílico seguido de destilación.

#### REACCION

#### OXIDACION

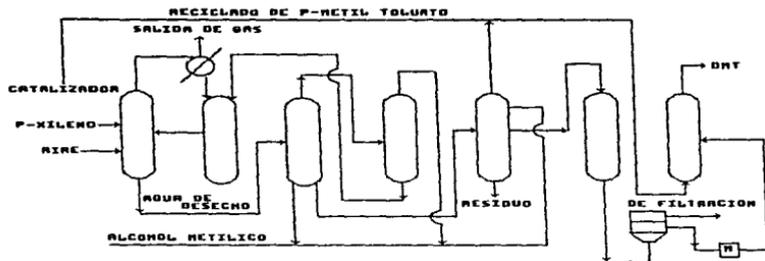


#### MATERIAS PRIMAS REQUERIDAS Y PRODUCTOS

##### MATERIAS PRIMAS REQUERIDAS POR TONELADAS DE DMT (grado fibra)

MATERIA PRIMA	CANTIDAD Kg	PRODUCTO %
P-XILENO	610	87
METANOL	400	

FIG.5.2 OBTENCION DE TPA A PARTIR DE P-XILENO Y ALCOHOL METILICO



#### **5.1.4 PURIFICACION DEL TPA**

Diferentes métodos de purificación de TPA, a materiales de grado fibra han sido utilizados basados en una hidrogenación, sobre un catalizador metálico a 250°C bajo presiones pequeñas. Las impurezas presentes en los lodos crudos son hidrogenizados en la fase líquida a productos coloreados los cuales se quedan en solución y donde el TPA es cristalizado.

#### **5.2 ANALISIS GENERAL DE RUTAS PARA PRODUCIR TPA PARTIENDO DE PET<sup>(17,21,22)</sup>**

Dado el poco conocimiento que se obtiene de procesos de reutilización del plástico desechados en nuestras industrias, los procesos que se manejan son nulos, en comparación con los que se conocen para producir TPA partiendo de hidrocarburos. Por eso los procesos que se describen a continuación, son típicos de laboratorio, (excepto uno). Estos procesos varían principalmente en la forma en que se utilizan los reactivos, catalizadores y como se manejan las variables del proceso.

##### **5.2.1 PROCESO EXPERIMENTAL 1**

El PET se despolimeriza por hidrólisis alcalina, para producir etilenglicol con 1,4 butanodiol como catalizador. La estabilidad térmica del PET se observa cuando éste se calienta, la disminución del peso molecular del PET indica que se forma componentes de bajo peso molecular, acetaldehídos, TPA, oligómeros y otros componentes que se pueden detectar en los productos de la pirólisis del PET.

##### **5.2.2 PROCESO EXPERIMENTAL 2**

PET extruido (entre 2 y 5 gr.) es molido y suspendido en agua. El sistema se refluxa a 80°C por arriba de 72 horas, el polímero es filtrado periódicamente y al agua se le da salida en un vaporizador. Los componentes separados contenidos en el agua se identifican como benzoato de sodio. Cuando los materiales sólidos no pueden obtenerse por evaporación de agua, el polímero filtrado se mezcla con benceno caliente a 70°C y se refluxa entre 2 y 3 horas. La solución de benceno es evaporada para obtener TPA.

### 5.2.3 PROCESO EXPERIMENTAL 3

El PET amorfo es disuelto en una solución 20:80 de hexafluoruro de isopropanol y cloruro de metileno. Una solución del 20% de hidróxido de sodio es adicionada lentamente con agitación hasta que el PET sea blando. La solución es agitada entre 2 y 24 horas. El sólido será precipitado de la solución con metanol, se filtrará y se secará. Un procedimiento similar es utilizado para la neutralización/saponificación en presencia de metóxido de sodio o hidróxido de cesio.

### 5.2.4 PROCESO EXPERIMENTAL 4

0.5gr. de PET se ponen en un vaso de precipitado de 50 ml y se añaden 5 ml de  $H_2SO_4$  concentrado, agitar durante 10 min., y dejar reposar 15 min., verter la solución sobre 75 gr. de hielo molido y aguar durante 2 min.. Se deja reposar 10 min. de la solución y filtrar la suspensión, el residuo se disuelve en 50 ml. de solución de hidróxido de sodio al 20 %, si es necesario se calienta para completar la disolución, después se filtra, éste se deja enfriar y luego se acidula con ácido clorhídrico al 15%, la suspensión se enfría a 0°C y después se filtra. El TPA se seca, se pesa y se realiza un análisis de caracterización.

### 5.2.5 PROCESO EXPERIMENTAL 5

Las botellas de PET enteras son llevadas y lavadas con agua reciclada, se manda hacia el reactor de PET, amoníaco como hidróxido de amonio es recuperado del agotador, el cual también es reciclado al reactor, el hidróxido de amonio adicional recuperado es adicionado a la alimentación.

El reactor de PET, es recientemente agitado el cual es calentado a 204°C por inyección directa de vapor sobresaturado, aquí se lleva a cabo la reacción, con hidróxido de amonio, el PET es cambiado a etilenglicol y sales de diamonio (p-bencendicarboxilato de amonio) de TPA. Ambos son solubles en el agua presente, los efluentes del reactor son enfriados y mandados a un filtro de tambor rotatorio, donde se remueven las impurezas insolubles (pigmentos, polietileno etc.)

El líquido filtrado entra a un reactor de acidificación, donde se adiciona  $H_2SO_4$ , como las sales de TPA reaccionan con el ácido, el TPA precipita, el cual es recuperado por filtración y preparado para secarse.

Alrededor del 40% de la corriente líquida de TPA en el filtro es reciclada al reactor del PIT, el resto entra al agitador de amoníaco, en el cual se efectúa la reacción con sulfato de amonio presente en forma de yeso, como se calienta el agotador el amoníaco es llevado al reactor de PIT y el yeso es removido por filtración.

Los sobrantes líquidos, etilenglicol y agua son destilados, el etilenglicol es recuperado en los fondos y el agua en el domo, la mayor parte del agua es reciclada al reactor de PIT (el resto es purgado).

Dos corrientes de desecho son generadas por el proceso, etilenglicol diluido al (0.4%), purgado por los domos de la columna de destilación y torta de yeso. El etilenglicol y corriente de agua tienen una baja demanda de oxígeno y pueden solamente requerir una activación de lodos. La torta de yeso puede ser secada para destinarse a la industria del yeso.

### **5.3 SELECCION DEL PROCESO<sup>5,23)</sup>**

El proceso de producción, es el procedimiento técnico que se utilizará en el proyecto para obtener bienes y servicios a partir de insumos y se identifica con la transformación de una serie de éstos, para convertirlos en productos mediante una determinada función de producción.

En esta parte del estudio, se procedió a seleccionar una determinada tecnología de producción, la cual se entenderá como el conjunto de conocimientos técnicos, equipos y procesos que se emplearon para desarrollar una determinada función de producción.

Al momento de elegir la tecnología que se emplee, se tomaron en cuenta los resultados de la investigación de mercado, la flexibilidad de los procesos y equipos, la adquisición del equipo y maquinaria.

### **5.4 CAPACIDAD DE PRODUCCION<sup>5,23)</sup>**

La capacidad de producción, es la capacidad instalada y se expresa en unidades de producción por tiempo (ton/año), para determinar el tamaño de una nueva unidad de producción es una tarea limitada por las relaciones recíprocas existentes entre el tamaño y la demanda, las disponibilidades de la materia prima, la tecnología, los equipos y el financiamiento. Todos estos factores contribuyen a simplificar el proceso de aproximaciones sucesivas, y las alternativas de tamaño entre las cuales se pueden escoger.

La demanda es uno de los factores más importantes para condicionar el tamaño del proyecto. El tamaño propuesto solo puede aceptarse en caso de que la demanda sea superior al tamaño propuesto, éste debe ser tal que sólo se pretenda cubrir un bajo porcentaje de la demanda, normalmente no más del 10%.

El abasto suficiente en cantidad y calidad de materia prima es un aspecto vital en el desarrollo de un proyecto, si es posible para demostrar que este aspecto no es limitante para el tamaño del proyecto se deberán listar todos los proveedores de materia prima e insumos.

Existen procesos que exigen una escala mínima para ser aplicados, ya que por debajo de ciertos niveles mínimos de productividad los costos serían tan elevados, que no se justificaría la operación del proyecto en esas condiciones, en términos generales se puede decir que la tecnología y los equipos tienden a delimitar el tamaño de un proyecto a un mínimo de producción aplicable.

Tomando en consideración las tres condiciones anteriores, principalmente para determinar la capacidad de producción de la planta y tomando en cuenta otros aspectos de menor importancia tales como: empresas productoras en el país, capacidad instalada de éstas, proyectos de ampliación, exportaciones, alto consumo inesperado.

De acuerdo al estudio de mercado realizado para el TPA y PCT, se cuenta con información reproducible y un ajuste de datos confiables. Así, se tiene que la capacidad instalada para el TPA fué de 370 mil ton/año, con la cual no se alcanza a cubrir la demanda esperada para el año 2000 que será de 465028.3126 ton.

Tomando en cuenta que el PCT es la materia prima principal y que en el proceso es un material de desecho, de estudios realizados sobre éste, se proyecta que para el año 2000 se producirán 44860 ton., en comparación con las 33286 ton. del año 1993, ésto indica que la materia prima principal está asegurada para cubrir los requerimientos del proceso.

La capacidad de producción de la planta fue obtenida con base en los desperdicios generados en el Distrito Federal, Veracruz, Puebla, y zonas aledañas, la cual fue de 800 kg por día, que corresponde al 10% de los desperdicios generados en la zona.

## **CAPITULO VI**

# **INGENIERIA BÁSICA DE UNA PLANTA RECUPERADORA DE PET**

### **6.1 LOCALIZACION DE LA PLANTA<sup>(43)</sup>**

La localización óptima de un proyecto es la que contribuye en mayor medida a que se logre la mayor tasa de rentabilidad sobre el capital (criterio privado) u obtener el criterio unitario mínimo (criterio social).

La localización correcta de la planta es un importante para su buen éxito como la selección de un buen proceso. Deben cuidarse no sólo la mayoría de los factores tangibles, la disponibilidad de la mano de obra y las fuentes de materia prima, sino también un gran número de factores como sea posible, a menudo un estudio de este tipo es costoso, pero las falsas economías en este concepto pueden conducir a grandes pérdidas en el futuro.

Para poder llevar a cabo la localización de cualquier planta industrial es necesario considerar diversos factores como son:

Mercado, Materia prima, Aspectos fiscales, Agua, Energía eléctrica y combustible, Medios de transporte, condiciones climatológicas, mano de obra, Desarrollo del lugar, Factores a la comunidad, control ambiental.

Existen varios métodos para determinar la localización del lugar, uno de ellos se conoce como el método cualitativo por puntos; el cual consiste en asignar a los factores mencionados (cualitativos), valores cuantitativos a una serie de factores que se consideran relevantes para la localización. La cual deriva en una comparación cuantitativa en los diferentes sitios.

El método permite ponderar factores, de preferencia para el investigador al tomar la decisión. Se puede aplicar el siguiente procedimiento para gerarquizar los factores cualitativos.

- 1) Desarrollar una lista de factores relevantes
- 2) Asignar un peso a cada factor para indicar su importancia relativa (los pesos deben sumar 1), y el peso asignado dependerá exclusivamente del criterio del investigador.
- 3) Asignar una escala común a cada factor (por ejemplo de 0 a 10) y elegir cualquier mínimo
- 4) Calificar a cada físico potencial de acuerdo con la escala designada y multiplicar la localización por el peso. Sumar la puntuación de cada sitio y elegir el de máxima puntuación.

Los factores que se contemplan en conjunto deben hacer una buena selección del lugar para la localización de la planta. A continuación se darán algunas características que deben cubrir cada uno de los factores mencionados.

#### MERCADO

De acuerdo a las características que presente el producto, es necesario contemplar aspectos como la localización de los sectores del consumo, oferta, demanda y exportaciones presentes y futuras.

#### MATERIA PRIMA

Para este factor es de suma importancia la consideración de un suministro continuo y estable, tomando en cuenta la localización de las fuentes de materia prima, disponibilidad, costo, importaciones y, en algunos casos, productos sustitutos de ella.

#### ASPECTOS FISCALES

Estos aspectos, son de bases importantes que ayudan a la descentralización de la actividad económica del país, encaminando las inversiones hacia las costas, fronteras u otras localidades que pueden convertirse en alternativas viables a los grandes centros industriales del país, dando origen a regiones con diferente prioridad. Así para la descentralización territorial de la actividad industrial establecida. Las zonas consideradas como prioritarias, pretenden diferentes programas de estímulos.

#### TRANSPORTE

No puede aplicarse a las tarifas de fletes una regla simple en peso por milla. Las tarifas de fletes de ferrocarril son en particular extremadamente complejas. El ingeniero encargado de obtener la información relacionada con la localización de la planta, únicamente debe consultar a expertos en transporte para determinar los fletes y la localización óptima con respecto al transporte.

#### AGUA PARA USO INDUSTRIAL

Las industrias de proceso están clasificadas como los mayores consumidores de agua. Ninguna planta de proceso podría operar sin agua de enfriamiento o para usarla directamente como materia prima en ciertas fases de un proceso. El abastecimiento de agua en una zona, debe estudiarse antes de que esa zona siquiera pueda considerarse como posible sitio. Antes del estudio debe hacerse una estimación

detallada de las necesidades de agua para el presente y para el futuro. Esta debe continuarse con un estudio cuidadoso del agua disponible en la región que se está estudiando completo de la historia del agua subterránea. Además de la cantidad de agua disponible, debe estudiarse también su calidad.

#### **ENERGIA Y COMBUSTIBLE**

Todas las plantas de proceso requieren de vapor y de energía eléctrica para toda la operación. La energía se compra a la compañía de servicio público local, o se genera en algún lugar de la planta. Inclusive, si la planta de proceso genera la energía, debe hacerse arreglos para los servicios locales para obtener la energía auxiliar en caso de urgencia. El vapor rara vez se compra, ya que se genera en la planta para su uso en los procesos y como medio para impulsar bombas y compresores.

Debe conocerse en forma detallada la cantidad de energía y vapor requerido para la operación de la planta proyectada antes de proseguir el estudio. Debe analizarse cuidadosamente el costo de todos los combustibles en la zona.

#### **MANO DE OBRA**

En el costo de cualquier artículo manufacturado, el de la mano de obra representa un alto porcentaje. Aunque el precio de la mano de obra está cada vez más equilibrada, los factores son: la destreza, las relaciones laborales y el bienestar general de la fuerza laboral, afectan materialmente su producción y eficacia. Cada región que se estudia para la localización de la planta, se deben investigar para determinar la disponibilidad y la destreza de la mano de obra.

#### **CLIMA**

Deben reunirse datos climatológicos correspondientes a ciertos números de años para cada una de las comunidades candidatas. Debe darse atención particular a éstas, cuando sean zonas de sismos, huracanes e inundaciones, estas catástrofes que deben considerarse como probable incremento del producto.

#### **FACTORES A LA COMUNIDAD**

Uno de los aspectos más importantes en la localización de una planta a menudo se pasa por alto o se juega muy a la ligera. Este aspecto es efecto del carácter y de los servicios, instalaciones, comodidades y atractivos que ofrecen la comunidad en estudio. Es muy difícil de obtener información objetiva y

veréz sobre una comunidad debido a que las fuentes de información usuales tienden a aparecer algo parciales.

El estudio de la comunidad debe empezar con un vistazo a su desarrollo histórico. Con este estudio puede conocerse el carácter de una ciudad, incluyendo su actitud general hacia el desarrollo industrial de la zona de referencia.

#### CONTROL AMBIENTAL

Las industrias de proceso, generalmente obtienen productos secundarios, los cuales generan contaminación, terrestre y acuática. SEDESOL ha incrementado las leyes sobre el rubro. Así que al determinar el lugar de operación de la planta se deben cumplir todos los requerimientos del mismo lugar y los que propone ésta.

El plan nacional de desarrollo industrial, pretende la descentralización de la actividad económica, encaminando las inversiones hacia las costas, fronteras y otras localidades, dando origen a regiones con diferente prioridad, los cuales presentan diferentes programas de estímulos.

En general se tienen clasificadas tres zonas como prioritarias.

#### ZONA 1

REPRESENTA LOS ESTÍMULOS PREFERENCIALES Y COMPRENDE LOS EDOS DE:

- 1) AGUASCALIENTES
- 2) BAJA CALIFORNIA NORTE
- 3) BAJA CALIFORNIA SUR
- 4) CAMPECHE
- 5) COAHUILA
- 6) COLIMA
- 7) CHIAPAS
- 8) CHIHUAHUA
- 9) DURANGO
- 10) GUANAJUATO
- 11) GUERRERO
- 12) HIDALGO
- 13) JALISCO
- 14) MICHOACAN
- 15) NAYARIT

- 16) NUEVO LEON
- 17) OAXACA
- 18) PUEBLA
- 19) QUERETARO
- 20) QUINTANA ROO
- 21) SAN LUIS POTOSI
- 22) SINALOA
- 23) SONORA
- 24) TABASCO
- 25) TAMAULIPAS
- 26) YUCATAN
- 27) ZAGATECAS
- 28) VERACRUZ

Esta zona representa los estímulos preferenciales y comprenden los mismos estados de la zona 1, se dividen en dos zonas; ZONA 1-A (prioridad para el desarrollo portuario-industrial) cuenta con incentivos de un 30% de descuento en los precios diferenciales para energéticos; ofrecen precios menores para el gas natural, combustóleo y la energía eléctrica. Esta zona comprende los estados de MICHOACÁN, OAXACA, TAMAULIPAS Y VERACRUZ.

La ZONA 1-B (prioridad en el desarrollo urbano- industrial) solo tiene un descuento del 10%, en los productos básicos mencionados y comprende a los estados restantes.

#### ZONA II

##### MAXIMA PRIORIDAD ESTATAL

Comprende los mismos estados que la zona 1-B pero diferentes municipio y se incluyen a dos nuevos estados que son : ESTADO DE MÉXICO Y MORELOS.

#### ZONA III

##### ORDENAMIENTO Y REGULACION

Se divide en dos zonas:

##### ZONA III-A

Área de crecimiento controlado, que comprende el D.F., HIDALGO Y ESTADO DE MÉXICO.

##### ZONA III-B

Área de consolidación, que comprende el ESTADO DE MÉXICO, HIDALGO, JALISCO, MORELOS, NUEVO LEÓN, PUEBLA Y TLAXCALA; esta zona comprende los municipios de máxima población.

Para la localización de la planta recuperadora de PET, los factores primarios a tomar en cuenta son: la localización de los proveedores de materia prima y sector consumidor.

En cuanto a productores de materia prima, se tienen empresas como: industrias que utilizan recipientes de PET al envasar sus productos (industrias refresqueras y expendedoras de agua) etc. y zonas de desechos como QUIMIVAN S.A., DIGITIMEX S.A., GALVANOQUIMIA MEXICANA, ANAHUAC

Esta zona representa los estímulos preferenciales y comprenden los mismos estados de la zona I, se dividen en dos zonas; ZONA I-A (prioridad para el desarrollo portuario-industrial) cuenta con incentivos de un 30% de descuento en los precios diferenciales para energéticos; ofrecen precios menores para el gas natural, combustóleo y la energía eléctrica. Esta zona comprende los estados de MICHOACÁN, OAXACA, TAMAULIPAS Y VERACRUZ.

La ZONA I-B (prioridad en el desarrollo urbano- industrial) solo tiene un descuento del 10%, en los productos básicos mencionados y comprende a los estados restantes.

#### ZONA II

##### MAXIMA PRIORIDAD ESTATAL

Comprende los mismos estados que la zona I-B pero diferentes municipio y se incluyen a dos nuevos estados que son : ESTADO DE MÉXICO Y MORELOS.

#### ZONA III

##### ORDENAMIENTO Y REGULACION

Se divide en dos zonas:

##### ZONA III-A

Area de crecimiento controlado, que comprende el D.F. , HIDALGO Y ESTADO DE MÉXICO.

##### ZONA III-B

Area de consolidación, que comprende el ESTADO DE MÉXICO, HIDALGO, JALISCO , MORELOS, NUEVO LEÓN, PUEBLA Y TLAXCALA; esta zona comprende los municipios de máxima población.

Para la localización de la planta recuperadora de PET, los factores primarios a tomar en cuenta son: la localización de los proveedores de materia prima y sector consumidor.

En cuanto a productores de materia prima, se tienen empresas como: industrias que utilizan recipientes de PET al envasar sus productos (industrias refresqueras y expendedoras de agua) etc. y zonas de desechos como QUIMIVAN S.A., DIQUIMEX S.A., GALVANOQUIMIA MEXICANA, ANAIRUAC

FORMADORES Y PLASTICOS S.A. DE C.V. para materia prima secundaria como amoníaco y ácido sulfúrico, éstos se localizan en el ESTADO DE MÉXICO, PUEBLA, VERACRUZ, CHERRERO Y MORFOS.

Por lo que respecta al sector consumidor se tiene en la zona centro del país, por ésta razón se considera que la zona 1-B, 11-A y 111-A tienen mayores posibilidades para ubicar la planta.

Como ya se mencionó la zona 111-A está clasificada dentro del rubro de ordenamiento y regulación, lo que evita la instalación de la planta, tomando en cuenta que la zona 11-B y la zona 1-B comprenden los mismos estados, se elige la zona 1-B ya que ésta cuenta con un 10% de estímulos fiscales para ubicar la planta.

La localización de la planta se basó en las características principales de los estados de la zona 1-B, mercado, comunicación, población, electricidad, agua etc. Los estados elegidos de la zona mencionada fueron los que se encuentran en la zona centro y norte del país, las principales características de la ciudad a elegir para la instalación de la planta nos llevaron a concluir que el estado de PUEBLA es el lugar más conveniente para el establecimiento de la misma.

## **6.2 BASES DE DISEÑO**

En este documento se encuentra contenida toda la información necesaria para el desarrollo del proyecto. Esta información es proporcionada por el cliente y contempla aspectos relacionados con el proceso, como la capacidad de producción, flexibilidad, seguridad, etc., así como la relación con la localización de la planta.

**6.2.1 LOCALIZACION:** Texmelucan Puebla

**6.2.2 NOMBRE DE LA PLANTA:** Planta recicladora de PET

**6.2.3 NUMERO DE CONTRATO:** 101

**6.2.4 FUNCIONES DE LA PLANTA:** Recepción de PET (en su mayoría desperdicios), despolimerización indirecta de éstos y retorno de TPA para repolimerización

**6.2.5 TIPO DE PROCESO:** Despolimerización indirecta de PET, fundido en medio básico proceso batch o por lotes.

**6.2.6 CAPACIDAD, RENDIMIENTO Y FLEXIBILIDAD:**

a) **FACTOR DE SERVICIO:** La planta opera con un factor de servicio de 0,805 es decir, se trabajará 294 días por año.

b) **CAPACIDAD Y RENDIMIENTO:**

- 1) **CAPACIDAD OPTIMISTA:** La capacidad máxima de operación de la planta es de 960 Kg/día.
- 2) **CAPACIDAD NORMAL:** La capacidad normal de la planta es de 800 Kg/día.
- 3) **CAPACIDAD PESIMISTA:** La capacidad pesimista es de 640 Kg/día.

**6.2.7 FLEXIBILIDAD.**

- a) A falta de energía eléctrica, la planta opera con un generador de energía.
- b) A falta de aire de instrumentos la planta no opera.
- c) A falta de agua de enfriamiento la planta no opera.
- d) A falta de vapor la planta no opera.

**6.2.8 INSTALACIONES REQUERIDAS DE ALMACENAMIENTO :**

Se requiere de un tanque de almacenamiento para el producto terminado (etilenglicol y agua) y una sección de almacenamiento para materia prima y producto terminado (en estado sólido)

**ESPECIFICACIONES DE LOS SERVICIOS AUXILIARES EN LIMITES DE BATERIA**

**6.2.9 VAPOR**

Será generado dentro de la planta y estará situado dentro de algunos de los siguientes niveles.

SERVICIO	PRESION MAN. (PSIA)			TEMP°C			CALIDAD
	MIN	NORM	MAX	MIN	NORM	MAX	
ALTA							
PRESION	40.5	42.5	44.0	370	398	440	sobrecalentado
MEDIA							
PRESION	18	18.8	19.4	265	271	277	sobrecalentado
BAJA							
PRESION	4	4.4	4.7	152	150	158	saturado

**6.2.10 AGUA DE SERVICIO**

- a) Fuente de suministro: red municipal
- b) Requerimiento: la requerida por diseño
- c) Presión en L.B. : la requerida por diseño
- d) Temperatura: 17°C
- e) disponibilidad: ilimitada

**6.2.11 RETORNO DE CONDENSADOS:**

Condensado de baja presión en los L.B. presión mínima de 3.3 Kg/cm<sup>2</sup> y temperatura de 15.2°C.

**6.2.12 AGUA DE ENFRIAMIENTO**

- a) Fuente de suministro: red municipal
- b) Sistema de enfriamiento
- c) Disponibilidad ilimitada

**6.2.13 PREVISION PARA AMPLIACIONES FUTURAS:**

No se prevé ningún aumento en el diseño de la capacidad de la planta

**6.2.14 ESPECIFICACIONES DE LAS ALIMENTACIONES:**

Las especificaciones de las alimentaciones de proceso que serán proporcionadas en límites de batería son las siguientes.

ALIMENTACION	FORMA DE RECIBIDO	PROCEDENCIA
PET	BOTELLAS ( desperdicio)	D.D.F., EDO. DE MEXICO
NH <sub>4</sub> OH	PORRONES DE 50 Kg	D.D.F., EDO. DE MEXICO
H <sub>2</sub> O	TUBERIA	RED MUNICIPAL
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PORRONES DE 50 Kg	EDO. DE MEXICO
Ca(OH) <sub>2</sub>	SACOS DE 50 Kg	EDO. DE MEXICO

**6.2.15 ESPECIFICACION DE LOS PRODUCTOS**

ALIMENTACION	ESTADO	PRESION	TEMP.°C	PUREZA %
TPA	SOLIDO	ATMOSFERICA	17-14	99

**6.2.16 ELIMINACION DE DESECHOS: NORMAS Y REQUERIMIENTOS**

- a) Contaminación del agua: Para el contenido de desechos en agua deberá cumplirse con el reglamento para la prevención y contaminación del agua en SEDESOL.
- b) Sistemas preferidos de alimentación de desechos: Para la eliminación de agua residual se contará con una unidad de tratamiento de efluentes.

**NORMAS:** Se deberá cumplir con las normas técnicas ecológicas establecidas por la SEDESOL, para el manejo de desechos.

**6.2.17 CONDICIONES DEL AGUA EN LOS L.B.**

- a) AGUA PARA SERVICIOS Y USO SANITARIO
- b) AGUA POTABLE: El agua suministrada en garrafones, para evitar enfermedades gastrointestinales
- c) AGUA CONTRA INCENDIO: El suministro será en L.B. a 11.55 kg/cm<sup>2</sup> en cantidades requeridas por diseño, suministrada por el municipio.
- d) AGUA PARA CALDERAS: De iones de sodio de 1 a 10 ppm, de iones de hidróxido 1a 10 ppm, suministrada por el municipio y tratada en planta.
- e) AGUA DE PROCESO: Agua de suministro por red municipal en L.B. a 3.75 kg/cm<sup>2</sup>, temp. 17°C.

**6.2.18 AIRE DE INSTRUMENTOS:**

Será generado dentro de l.b. preferentemente con un compresor centrífugo utilizando en operación normal un motor eléctrico, presión del sistema 7.5 a 40 psig.

**6.2.19 AIRE DE PLANTA:**

Similar al aire de instrumento

**6.2.20 COMBUSTIBLE:**

Gas suministrado por PEMEX

**6.2.21 INERTES:**

Nitrógeno líquido

**6.2.22 ALIMENTACION POR ENERGIA ELECTRICA:**

La energía eléctrica será suministrada por la C.F.E.

TENSION	440-220 V
NUM. FASES	3
FRECUENCIA	60 ciclos
F.P. MINIMO	0.85
NUM. CONDUCTORES	3
MATERIAL DE CONDUCTORES	Cobre
SECCION DE CONDUCTORES	350 cm
AISLAMIENTO DE CONDUCTORES	PVC
DIAM. DEL DUCTO	Asbesto o cemento
ACOMETIDA	Subterránea
NIVEL Y COORDENADAS DE LA COMETIDA	Pendientes

**6.2.23 ALIMENTACION DE ENERGIA ELECTRICA DE EMERGENCIA :**

FUENTE DE SUMINISTRO: Sistema ininterrumpible para alimentación e iluminación de emergencia

TENSION: 115 V

NUM. DE FASE: UNA

FRECUENCIA: 60 Ciclos

**6.2.24 TELEFONOS:**

Criterio de comunicación externa e interna de acuerdo a la ingeniería básica.

**6.2.25 DESFOGUE:**

Responsabilidad de diseño dentro de los límites de batería.

**6.2.26 SISTEMAS DE SEGURIDAD:**

a) Sistemas contra incendios, normas de seguridad de PEMEX A-1-1, Normas de procedimiento contra incendio, NFA. Normas y códigos de IMSS.

**6.2.27 PROTECCION DEL PERSONAL:**

Regaderas sí  
 Servicios médicos sí  
 Tomas de aire sí  
 Equipo sí  
 (guantes, lentes, botas y uniformes)

**OTROS:**

Lavadores de ojos  
 Recomendaciones del IMSS

**6.2.28 CONDICIONES CLIMATOLOGICAS:**

Temperatura máxima: 17°C

**6.2.29 PRECIPITACION PLUVIAL: (annual)**

Máxima : 1554  
 Mínima : 877

**6.2.30 HUMEDAD RELATIVA:**

IR %

**6.2.31 ATMOSFERA:**

La presión es de 585mmHg. Clima templado sólo con lluvias en verano.

**6.2.32 BASES DE DISEÑO ELECTRICO:**

CODIGOS: NEMA, ISA

**6.2.33 CARACTERISTICAS DE LA ALIMENTACION:**

POTENCIA (HP)	POTENCIAL (VOLTS)	FASE	FRECUENCIA(HZ)
10	116/220	3	30
12	217/220	3	30
20	220/440	3	30
10	116/220	3	60
20	220/440	3	60

**6.2.34 CORRIENTE PARA ALUMBRADO:**

POTENCIAL: 120 V: Una fase

**6.2.35 CORRIENTE PARA INSTRUMENTO DE CONTROL:**

POTENCIAL: 120 V: Una fase

**6.2.36 DISTRIBUCION DE CORRIENTE DENTRO DE LOS L.B.**

La distribución será subterránea para fuerza y área, para instrumentos y alumbrado

**6.2.37 BASES DE DISEÑO PARA TUBERIAS:**

Drenajes dentro de los L.B., se tendrán los siguientes tipos de drenaje, según el material indicado

TIPO	MATERIAL PREFERIDO
Pluvial	PVC o Concreto
Sanitarios	PVC o Concreto
Químico	Concreto

**6.2.38 MAQUETAS Y DIBUJOS:**

Para el diseño de tuberías se realizaron dibujos de planta y elevación, así como isométricos de tuberías de acero al carbón, acero inoxidable y otros de una pulgada de diámetro o mayores.

**6.2.39 BASES DE DISEÑO CIVIL:**

- Solicitudes por vientos y sismos
- Para datos de sismos y vientos se usará el manual de la C.F.E.

**6.2.40 PENDIENTE DEL ESTUDIO MECANICO DE SUELOS :**

Nivel de piso terminado 2007 m al nivel de mar.

**6.2.41 TIPO DE EDIFICIOS Y CONSTRUCCIONES:**

Los edificios localizados dentro de L.B. son: cuarto de control eléctrico y de instrumentos, oficinas, sanitarios, cuarto para compresores de proceso y aire, caseta de vigilancia.

**6.2.42 BASES DE DISEÑO PARA INSTRUMENTOS:**

- Se tendrá un tablero principal para los equipos de proceso, instrumentos y controles.
- El tipo de señal será eléctrica y neumática .
- El tipo de tubo para el sistema neumático será multitubo de cobre aislado y de PVC.

c) El tipo de tubo para el sistema neumático será multitubo de cobre aislado y de PVC.

#### 6.2.43 TOTALIZACIÓN, REGISTRO Y MEDICIÓN:

Se requiere totalización continua de flujo de las corrientes de entrada y salida de la planta.

Se requiere medición y registro con totalización continua de los flujos de los S.A.

#### 6.2.44 CALIBRACION:

La calibración de la instrumentación será en las siguientes unidades:

VARIABLES	UNIDADES
PRESION	Kg/cm <sup>2</sup>
TEMPERATURA	°C
FLUJO	Sistema Metrico
NIVEL	Sistema Metrico

#### 6.2.45 BASES PARA DISEÑO DE EQUIPO:

##### a) COMPRESORES

Tipo preferido	Centrifugo
Tipo de accionador	eléctrico
Sobrediseño deseado	15 %

##### b) BOMBAS

Tipo preferido	Centrifugo
Tipo de accionador	eléctrico

##### c) CAMBIADORES DE CALOR

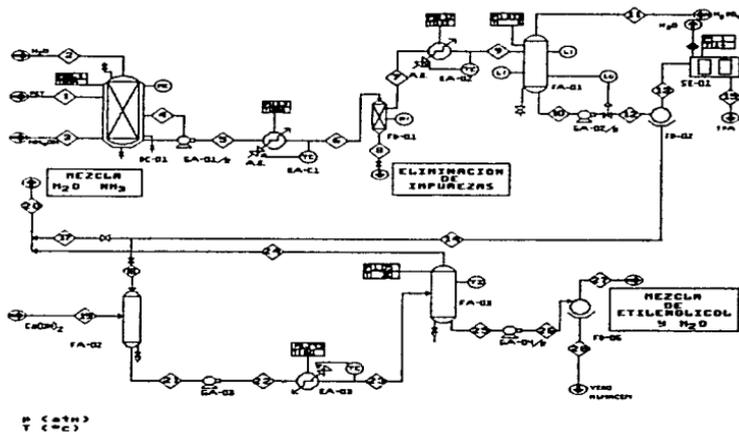
Información requerida sobre factores de incrustación determinado en operación.

### 6.3 DESCRIPCION DEL PROCESO PARA LA OBTENCION DEL TPA<sup>(17)</sup>

En el diagrama de flujo de proceso para la obtención del TPA, a partir del PET se muestra el proceso comercial para la despolimerización del polietilenoftalato conocido como hidrólisis, se utiliza para el diseño preliminar de la planta de PET. Es un proceso discontinuo, la eficiencia del proceso es alta, ya que la despolimerización para el PET por si misma permite alcanzar conversiones altas.

El PET molido ( ver apéndice A) proveniente del almacén, se introduce al reactor DC-01 por medio de una banda sinfín a una temperatura de 17°C y a presión atmosférica, alimentándose con agua e hidróxido de amonio. El reactor se calienta con vapor sobresaturado hasta obtener una temperatura de 204°C para efectuar la reacción de hidrólisis con un tiempo de residencia de 4 horas, en donde el amoniaco reacciona con el PET para formar un compuesto de sales de diamonio de TPA (solubles en agua) y etilenglicol.

Los efluentes del reactor se hacen pasar por el enfriador EA-01, en donde se enfrían a una temperatura de 200°C, posteriormente se hacen pasar por el filtro FD-01 para remover las impurezas insolubles (pigmentos papel etc.). El líquido filtrado entra al enfriador EA-02 para obtener una temperatura de entre 0-5°C y hacerlo reaccionar con ácido sulfúrico en el reactor de neutralización FA-01 y obtener el producto principal (IPA), el cual se recupera en el filtro rotatorio de tambor FD-02, éste se lava y se seca en el secador SF-01. El 40% de la corriente líquida que sale del filtro FD-02 se recircula al reactor DC-01, el 60% entra al tanque de reacción FA-02 al cual se le adiciona hidróxido de calcio, éste reacciona con sulfato de amonio para formar yeso, los fondos se calientan a 60°C en el calentador EA-03 y se alimenta al agotador FA-03 en donde se separa el amoníaco y se manda al reactor DC-01, el yeso es removido por filtración en el filtro FD-03. La mezcla remanente líquida, compuesta por etilenglicol y agua se almacena.



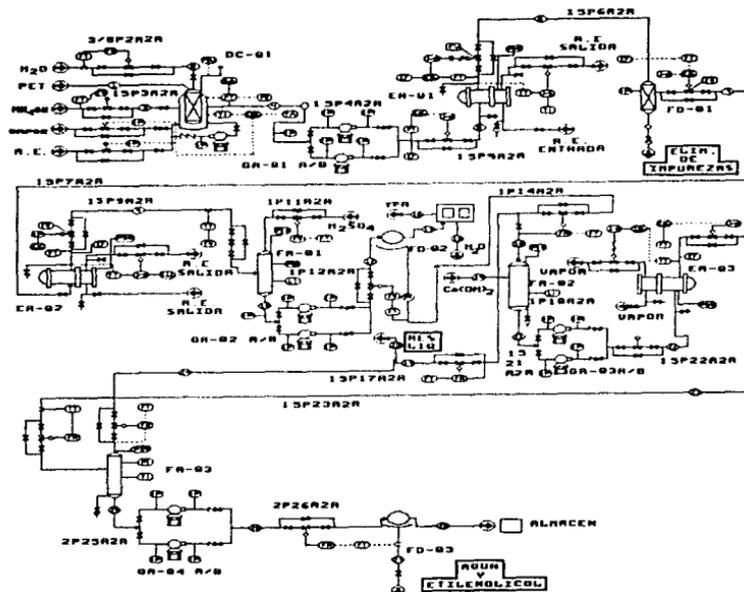
SOLICITADO POR:  
 ING. FERNANDO HERRERA JUAREZ

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO. PLANTA RECUPERADORA DE  
 PET. LOCALIZACION EN MARTIN TEXMELICAN PUEBLA. ESCALA: 8/E.  
 APROBADO: ING. FERNANDO HERRERA JUAREZ.

BALANCE DE MASA							
COMPONENTE							
AGUA		123,035		154,35	154,35	154,35	154,35
PET	158,72						
HIDROXIDO DE AMONIO			87,84				
AMONIACO							
A. SULFURICO							
SAL DE DIAMONIO				165,33	165,33	165,33	165,33
TPA							
SULFATO DE CALCIO							
SULFATO DE AMONIO							
ETILENGLICOL				51,25	51,25	51,25	51,25
HIDROXIDO DE CALCIO							
kg/carga	158,72	123,03	87,84	370,93	370,93	370,93	370,93
PM	24960	18	35	59,74	59,74	59,74	59,74
TEMP. GRA C	25	25	25	200	122	122	25
PRESION PSIA	14,7	14,7	14,7	6,176	6,176	0,19	0,19

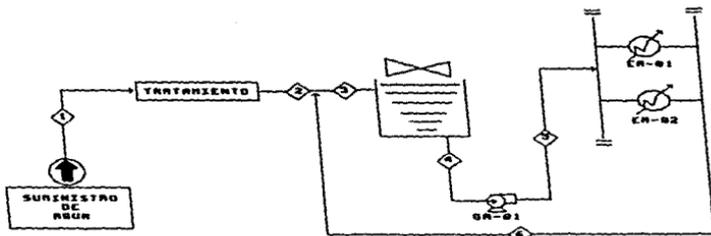
10	11	12	13	14	15	16	17	18	
154,35	154,35		154,35	1,67	152,48	1,67		60,99	91,45
		81,07							
165,33									
	138,88		138,88	138,88			138,88		
	107,47		107,47	1,163	108,41		1,163	42,59	63,89
51,25	51,25		51,25		51,25			20,49	30,73
370,93	451,92	81,07	451,92	141,68	310,14	1,67	139,94	124,17	188,27
59,74	95,87	98	95,87	165,8	63,7	18	167,54	63,7	63,85
5,0	25	25	25	25	25	25	25	25	25
8,919	14,7	14,7	14,7	14,7	17,38	0,458	14,7	0,303	17,59

	3,598	108.57	108.87	108.87		108.87	108.87	108.87	
	1,922	16.45	16.45	16.45	16.45				
		65.82	65.82	65.82		65.82	65.82		65.82
	1,797								
	0,864	30.73	30.73	30.73		30.73	30.73	30.73	30.73
35.79									
35.79	140.91	222.07	222.07	222.05	16.45	205.66	205.66	139.88	68.82
74.08	58.025	20.63	50.63	50.63	17	82.78	82.78	27.77	132.87
25	25	25	25	60	30	30	25	25	25
14.7	49.58	23.33	31.88	16.79	165.72	0.324	0.377	0.355	14.7



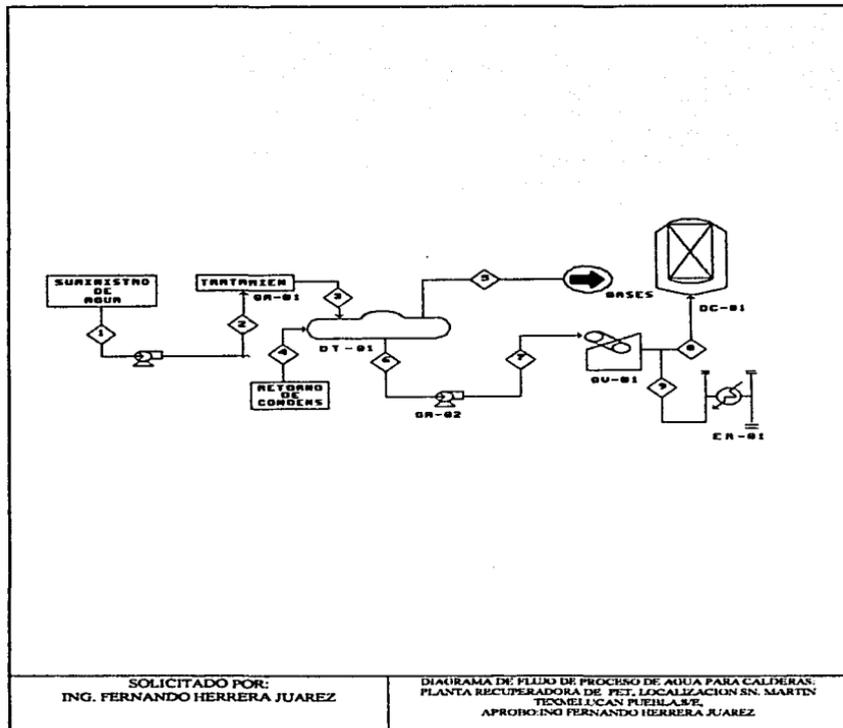
SOLICITADO POR:  
ING. FERNANDO HERRERA JUAREZ

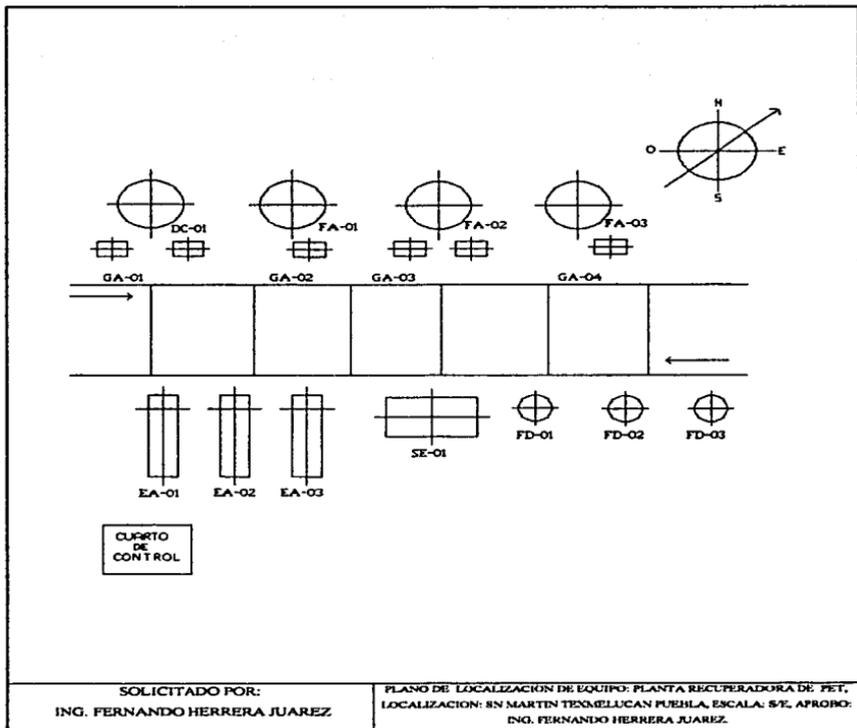
DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION PARA  
UNA PLANTA RECUPERADORA DE PET LOCALIZACION EN MARTIN  
TROMBELLICAN PUEBLA, ESCALA: N.E.  
APROBÓ: ING. FERNANDO HERRERA JUAREZ



SOLICITADO POR:  
ING. FERNANDO HERRERA JUAREZ

DIAGRAMA DE FLUJO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO, PLANTA  
RECTORADORA DE PET. LOCALIZACION: SN. MARTIN TEXCALUCAN  
PLEBLA, S.E. APROBÓ: ING FERNANDO HERRERA JUAREZ





LISTA DE EQUIPOS		
PERFIL TECNICO ECONOMICO DE UNA PLANTA REACTORA PARA LA PREPARACION DE PHT		
LOCALIZACION: SAN MARTIN TEXMEJUCAN PUERTO A.		
CLAVE	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS
DC-01	REACTOR DE DESPOLIMERIZACION	D= 722 mm L= 1444 mm
FA-01	REACTOR DE NEUTRALIZACION	D= 885 mm L= 1771 mm
FA-02	TANQUE DE SUSTITUCION	D= 636 mm L= 1326 mm
FA-03	AGOTADOR	D= 885 mm L= 1771 mm
EA-01	CONDENSADOR DE MEZCLA DEL REACTOR	Q= 1.62350E6 BTU/HR.
EA-02	ENFRIADOR DE LA MEZCLA	Q= 0.24520E6 BTU/HR.
EA-03	CALENTADOR DE FA-02	Q= 119913.9 BTU/HR.
GA-01	BOMBA DE ALIMENTACION AL TANQUE FA-01	P= 0.5 HP
GA-02	BOMBA DE ALIMENTACION AL FILTRO FD-02	P= 0.25 HP
GA-03	BOMBA DE ALIMENTACION AL AGOTADOR FA-03	P= 0.5 HP
GA-04	BOMBA DE ALIMENTACION AL FILTRO FD-03	P= 0.5 HP

PLANTA RECUPERADORA DE PET		HOJA DE DATOS DE EQUIPO	
LOCALIZACION: SAN MARTIN TEXMELUCAN PUEBLA			
EQUIPO: DC-01		No. DE UNIDADES: 1	
SERVICIO: REACTOR DE DESPOLIMERIZACION	POSICION: VERTICAL		
TIPO DE FLUJO: LIQUIDO	FLUJO: M <sup>3</sup> /HR	DENSIDAD: GR/CM <sup>3</sup>	
VAPOR O GAS	FLUJO: M <sup>3</sup> /HR	DENSIDAD: GR/CM <sup>3</sup>	
TEMP. DE OPERACION: 204 °C	MAXIMA: 204	DISENO: 220	
PRESION DE OPERACION: 391.02 LBS/IN <sup>2</sup>	MAXIMA: 391.02	DISENO: 469.2	
DIMENSIONES: I-T: 1444 mm	DIAMETRO: 723 mm	VOLUMEN TOTAL: T-T: 342632mm	
NIVEL NORMAL: 1.2 M	MAXIMO: 1.2 M	MINIMO: 1.2 M	
MATERIAL CORAZA: SA-310 TIPO-316	CAJERAS: SA-310	TIPO: 316	
MALLA SEPARADORA: ESPESOR: 2	TIPO RECTANGULAR · LONGITUD: ESPESOR: 30.4mm		
TIPO CIRCULAR · DIAMETRO	CAJERAS: 5 mm		
ESPESOR POR CORROSION: CORAZA: 3 mm			
RADIOGRAFIADO: 80 %			
BOQUILLAS			
No.	No. RELOJ	SERVICIO	
1	1	ALIMENTACION AGUA	
2	1	ALIMENTACION NH <sub>4</sub> OH	
3	1	ALIMENTACION PET	
4	1	DESCARGA	

FUENTE: 32.34.37

PLANTA RECUPERADORA DE PET		HOJA DE DATOS DE EQUIPO																			
LOCALIZACION SAN MARTIN 33 XMP LTA SAN PUEBLA		No. UNIDADES: 1																			
EQUIPO EA-01		CARGA TERMICA: 1 623506 Btu/hr																			
SERVICIO: ENFRIADOR		FLUJO: 11650.17600 Btu/hr																			
TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE: (I)		FLUJO: 11274.6351 Btu/hr																			
TIPO DE FLUIDO TUBOS: (II)		ENTRADA: 192	SALIDA: 212																		
TEMPERATURA DE ENVOLVENTE: (°C)		ENTRADA: 68	SALIDA: 212																		
TEMPERATURA DE TUBOS: (°C)		LONGITUD: 3556.0 mm	DIAMETRO: 203.20 mm																		
DIMENSIONES ENVOLVENTE:		LONGITUD: 3556.0 mm	DIAMETRO: 19.05 mm																		
DIMENSIONES TUBO:																					
NUMERO DE TUBOS: 14		TIPO: 316	TUBOS: COBRE																		
MATERIAL ENVOLVENTE: SA 310																					
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR: 446.26 Btu/hr																					
AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR: 36 6500 P2																					
RADIOGRAFIADO: 80%																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">DEQUILLAS</th> </tr> <tr> <th>No.</th> <th>No REQD.</th> <th>SERVICIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>1</td> <td>ALIMENTACION MEZCLA</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>1</td> <td>ALIMENTACION AGUA</td> </tr> <tr> <td>S.A.</td> <td>1</td> <td>SERVICIOS AUXILIARES</td> </tr> <tr> <td>S.A.</td> <td>1</td> <td>SERVICIOS AUXILIARES</td> </tr> </tbody> </table>		DEQUILLAS			No.	No REQD.	SERVICIO	5	1	ALIMENTACION MEZCLA	6	1	ALIMENTACION AGUA	S.A.	1	SERVICIOS AUXILIARES	S.A.	1	SERVICIOS AUXILIARES		
DEQUILLAS																					
No.	No REQD.	SERVICIO																			
5	1	ALIMENTACION MEZCLA																			
6	1	ALIMENTACION AGUA																			
S.A.	1	SERVICIOS AUXILIARES																			
S.A.	1	SERVICIOS AUXILIARES																			

FUENTE:39,40

PLANTA RECUPERADORA DE PET		HOJA DE DATOS DE EQUIPO	
LOCALIZACION: SAN MARTIN DE AXMELI CAN PUEBLO			
EQUIPO: EA-02		No UNIDADES: 1	
SERVICIO: SERIADOR		CARGA TERMICA: 0.2452016 104 kw	
TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE (I):		FLUIDO: 11650.15 l/hr	
TIPO DE FLUIDO TUBOS (II):		FLUIDO: 6811.11 l/hr	
TEMPERATURA DE ENVOLVENTE (°C):		ENTRADA: 100	SALIDA: 5
TEMPERATURA DE TUBOS (°C):		ENTRADA: 5	SALIDA: 45
DIMENSIONES DE ENVOLVENTE:		LONGITUD: 3272 mm	DIAMETRO: 203.2 mm
DIMENSIONES DET DE TUBO:		LONGITUD: 3272 mm	DIAMETRO: 19.05 mm
NUMERO DE TUBOS: 14			
MATERIAL DE ENVOLVENTE: SA 110		TIPO: 316	TUBOS: COBRE
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR: 303.14 1/hr			
AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR: 36.65 m <sup>2</sup>			
RADIOGRAFADO: 80%			
<b>BOQUILLAS</b>			
No.	No REQD.	SERVICIO	
7	1	ALIMENTACION MEZCLA	
9	1	ALIMENTACION AGUA	
S.A.	1	SERVICIOS AUXILIARES	
S.A.	1	SERVICIOS AUXILIARES	

PUENTE 039-40

LANTA RECUPERADORA DE PET		HOJA DE DATOS DE EQUIPO	
LOCALIZACION: SAN MARTIN DE SAGEUCAN PUEBLA		No UNIDADES: 1	
EQUIPO: FA-01		POSICION: VERTICAL	
SERVICIO: TANQUE DE NEUTRALIZACION		FLUJO: MIXTIR	
TIPO DE FLUJO: LIQUIDO		DENSIDAD: GR/CM <sup>3</sup>	
VAPOR O GAS		FLUJO MIXTIR	
TEMPERATURA DE OPERACION (°C): 30		DENSIDAD: GR/CM <sup>3</sup>	
PRESION DE OPERACION (kg/cm <sup>2</sup> ): 11.31		MAXIMA: 30	
DIMENSIONES T-1: 1771 mm		MAXIMA: 11.31	
NIVEL NORMAL: 1.47 M		DISEÑO: 11.31	
MATERIAL CORAZA SA 310 TIPO 316		DIAMETRO: 485 mm	
MATERIAL REPARADORA: EPSPSOR 2		VOL. T-1: 335950 M <sup>3</sup>	
TIPO CIRCULAR DIAMETRO		MAXIMO: 1.47 M	
EPSPSOR POR CORROSION: 25mm		MINIMO: 1.47 M	
RADIOGRAFIADO: 80%		CABEZAS: SA 310	
		TIPO: TIPO 316	
		TIPO RECT: LONGITUD: ESPESOR: 19.05 mm	
		CABEZAS: 25 mm	
DETALLES			
No	No REQD	SERVICIO	
9	1	ALIMENTACION AC. SULF.	
11	1	ALIMENTACION MEZCLA	
12	1	DESCARGA MEZCLA	

FUENTE: 02.57

PLANTA RECUPERADORA DE PET		HOJA DE DATOS DE EQUIPO		
LOCALIZACION SAN MARTIN, TEXMILLCAN, P.E.D.E.A.		No UNIDADES: 1		
EQUIPO PA-02		POSICION: VERTICAL		
SERVICIO: TANQUE DE RECUPERACION DE NITRO		TIPO DE FLUJO: SOLIDO-LIQUIDO	FLUJO: M <sup>3</sup> /HR DENSIDAD: GR/CM <sup>3</sup>	
VAPOR O GAS			FLUJO: M <sup>3</sup> /HR DENSIDAD: GR/CM <sup>3</sup>	
TEMPERATURA DE OPERACION (C): 25			MAXIMA: 25 DISEÑO: 25	
PRESION DE OPERACION (lb/cm <sup>2</sup> ): 11.11			MAXIMA: 11.11 DISEÑO: 11.11	
DIMENSIONES I-T: 1326 mm			DIAMETRO: 636 mm VOL. TOT. T-T: 169776.34'	
NIVEL NORMAL: 1.10 M			MAXIMO: 1.10 M MINIMO: 1.10 M	
MATERIAL CORAZA SA 310 TIPO 316			CAEZAS: SA 310 TIPO 316	
MALLA SEPARADORA ESPESOR 2				
TIPO CIRCULAR DIAMETRO		TIPO RECT. LONGITUD. ESPESOR 13.39 mm		
ESPESOR POR CORROSION: CORAZA 5 mm		CAEZAS 5 mm		
RADIOGALFADO 80%				
BOQUETILLAS				
No.	NO. REQ'D			SERVICIO
18	1			ALIMENTACION MEZCLA
19	1			ALIMENTACION Ca(OH) <sub>2</sub>
21	1	DESCARGA MEZCLA		

PLANTA RECUPERADORA DE PET		HOJA DE DATOS DE EQUIPO	
LOCALIZACION SAN MARTIN TIEMPLE CAN PU B.A.			
EQUIPO: EA-03		No UNIDADES: 1	
SERVICIO: REFRIGERADOR		CARGA TERMICA: 119913.9 Dn/hr	
TIPO DE FLUIDO DE ENVOLVENTE (I)		FLUJO: 20563.04 l/hr	
TIPO DE FLUIDO TUBOS (II)		FLUJO: 4441.25 l/hr	
TEMPERATURA DE ENVOLVENTE (C)		ENTRADA: 60	SALIDA: 45
TEMPERATURA DE TUBOS (C)		ENTRADA: 10	SALIDA: 45
DIMENSIONES DE ENVOLVENTE		LONGITUD: 3272 mm	DIAMETRO: 203.0 mm
DIMENSIONES DE TUBO		LONGITUD: 3272 mm	DIAMETRO: 19.06 mm
NUMERO DE TUBOS: 14			
MATERIAL ENVOLVENTE: SA 310		TIPO: 316	TUBOS: COBRE
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR		540.750 Dn/hr	
AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR	36.650 FT <sup>2</sup>		
RADIOPROTECTADO: 80%			
<b>BOQUILLAS</b>			
No	No REQUISITO	SERVICIO	
22	1	ALIMENTACION MEZCLA	
23	1	ALIMENTACION AGUA	
S.A.	1	SERVICIOS AUXILIARES	
S.A.	1	SERVICIOS AUXILIARES	

**CAPITULO VII**  
**EVALUACION ECONOMICA FINANCIERA**

### **7.1 EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA.<sup>(3,18)</sup>**

En este capítulo se presentan todos los elementos indispensables del análisis económico de un proyecto y que es la base principal para realizar la evaluación económica.

En las primeras partes del capítulo se determinan los costos totales de la empresa, los cuales se clasifican en forma general como costos de:

- Producción.
- Administración.
- Ventas.
- Financiero.

Estos últimos solamente se utilizan cuando se solicita un préstamo, ya que consisten en los intereses que se pagan periódicamente de acuerdo a la cantidad prestada, por lo que se podrá tener o no dentro de la empresa.

El tipo de inversiones que la empresa requiere para operar son principalmente tres. Activo fijo y diferido, ambas sujetas a depreciación y amortización, el último tipo de inversión es el capital de trabajo que no está sujeto a recuperación por cargos de depreciación y amortización.

El gobierno Mexicano permite la recuperación de todo tipo de activos, por medio de mecanismos fiscales. Los porcentajes recuperables están marcados en la IIR.

Para conocer los beneficios originados con la inversión, existen varios métodos, uno de ellos es el punto de equilibrio que no es una técnica de evaluación económica sino solamente es una relación que se debe conocer, porque señala el nivel de producción en el cual los ingresos por ventas son iguales a los costos totales llevados a cabo con el nivel de producción.

Este procedimiento presenta muchas desventajas, pero a pesar de estas, se debe realizar el punto de equilibrio como una referencia en el análisis económico

Uno de los aspectos del estudio fué la determinación de la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), ya que es de gran importancia en el análisis económico, puesto que no es lo mismo cuando existe un solo inversionista, o cuando el capital es conformado por varios de ellos. La TMAR se calcula como un promedio ponderado del porcentaje de aportación del capital y de cada una de las fuentes individuales que aporta el capital.

El financiamiento modifica los flujos de efectivo utilizados en la evaluación económica y por consecuencia el rendimiento de la inversión.

Uno de los puntos más importantes del estudio es el estado de resultados y el balance general. El estado de resultados es un condensado de una serie de información que se obtiene con interioridad y muestra las pérdidas y ganancias en que pudo haber incurrido la empresa, esto da por resultados los flujos netos de efectivo que se utilizan en la evaluación. El balance general muestra el valor real de la empresa hacia el final de un periodo contable.

La evaluación financiera del proyecto se realiza por varios métodos, algunos que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo y otros no. De los primeros son básicamente el VPN y TIR. El VPN es descontar o trasladar al presente todos los flujos futuros del proyecto a una tasa igual a la TMAR, sumar todas las ganancias y restarlas a la inversión inicial en tiempo cero. Si el VPN es mayor que cero se aceptará la inversión, dado que un valor positivo del VPN significa ganar la TMAR más del valor positivo de resultado, en términos del valor del dinero en tiempo cero. Si el VPN es menor que cero significa que las ganancias del proyecto no son suficientes, ni siquiera para ganar la TMAR y por lo tanto el proyecto debe rechazarse.

En este proyecto el método de evaluación elegido fue el de la TIR, que es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

$$P = \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n + VS}{(1+i)^n}$$

En esta ecuación se deja como incógnita la "i", la cual se determina por medio de una iteración matemática. El valor de la "i" hace igual la suma de los flujos descontados a la inversión inicial "P", éste valor permite conocer el rendimiento real de la inversión.

Si el valor de la TIR es mayor que la TMAR, se concluye con la aceptación del proyecto, si la TIR es menor, la inversión debe ser rechazada.

Otro método que no permite evaluar financieramente un proyecto es el conocido por el de razones financieras, este método no toma en cuenta el valor del dinero a través del tiempo.

Existen cuatro tipos básicos de razones financieras, razones de liquidez, tasa de apalancamiento, tasa de actividad y tasa de rentabilidad. La información que surge de éstas, puede tener intereses para personas o entidades externas o internas a la empresa. Por ejemplo, la institución bancaria que va a prestar dinero a la empresa le interesa si existe suficiente liquidez como para que su restitución monetaria no peligre.

En la actividad industrial, el aprovechamiento de la capacidad de producción debe incrementarse paulatinamente debido a la ración del producto en el mercado, así como también el personal encargado de la operación, supervisión y administración del proyecto adquiere la capacidad indispensable en el manejo de esta.

Se ha previsto que la producción del proyecto en su inicio tenga la capacidad instalada de acuerdo a la producción que se obtuvo en el análisis de mercado.

Con el fin de adelantarnos a los resultados económicos que produce el proyecto, se calcularon los costos de producción de los primeros seis años. Estos cálculos se obtuvieron con una tasa promedio de inflación del 42 % anual en servicios y productos utilizables por la industria en el caso de la mano de obra, se utilizó una tasa promedio de inflación del 25% anual, partiendo del segundo periodo. Estos costos se obtuvieron sumando los precios de la materia prima de los servicios, (agua, electricidad, etc.) que se utilizaron en la planta. La tabla 7.1 muestra el total de cada uno de estos conceptos. Para determinar el costo total del producto, se calcularon los gastos correspondientes a la venta de estos y los relativos al funcionamiento de la organización encargada de la administración (costos directos e indirectos).

Suponiendo que la planta para el proyecto se integre conforme al modelo considerado e incluyendo los bienes y servicios que posteriormente se mencionan, la inversión calculada para los activos tangibles correspondientes serán de \$835,619.12, \$166,620.37 para la inversión diferida y \$166,62,047 para los imprevistos, para obtener una inversión total de \$1,018,921.5. En la tabla 7.2 se resume la inversión fija, esta se obtuvo de información directa de los proveedores principalmente para obtener el costo de activos fijos tangibles.

Los porcentajes aplicados para los cargos anuales por depreciación de activos tangibles y amortización de activos intangibles se apegan a la ley del impuesto sobre la renta.

Para la operación normal de la planta, se calcula que el proyecto requerirá \$455,414.54 para el primer año, mismo que se va incrementando a medida que el volumen de producción aumente, ya que como se sabe este concepto se obtiene descontando los pasivos circulantes a los activos fijos. El comportamiento del costo de capital en diferentes relaciones de crédito, nos muestran el costo de capital ponderado o tasa máxima aceptable de rendimiento mixto que no indica los intereses que hay que pagar. Con esta se determina la tabla de pago de la deuda, el monto de crédito de acuerdo con el activo fijo es \$509,460.75, el crédito a obtener será de 50% y el resto podrá ser aportado por el empresario.

En la tabla 7.3 se presenta el pago de la deuda para el financiamiento, esta se determina para 3 años con uno de gracia, con una renta calculada de \$361,985.27 anuales.

Los estados de resultados se muestran en las tablas 7.4 y 7.5 para el 50 y 0% de financiamiento respectivamente y con el 40% de interés. La afectación de los flujos netos en ambas tablas es muy significativo, sin financiamiento, el primer año es de \$316,044.55, con financiamiento los flujos netos bajan a \$215,228.17. A primera vista parece que el financiamiento disminuye sustancialmente las ganancias, pero hay que considerar que si no se cuenta con financiamiento, hay que hacer una inversión total propia de \$10,18,921.5 y se ganarían \$316,044.55 en el primer año, con financiamiento, se ganarían \$215,228.17 en el primer año, pues solo se obtiene alrededor del 50% del dinero propio. La tabla se obtuvo partiendo de los ingresos por venta y descontando los impuestos, costos de producción, costos financieros, etc.

La tabla 7.6 muestra el balance general de la empresa, se puede observar en ella que la inversión asciende a \$1,634,660.41 en el año inicial, se notará que en el activo fijo existe un rubro llamado imprevisos, que se considera una inversión, cuando en realidad podría incluso no efectuarse el desembolso. Al poner en práctica un proyecto debe de existir un rubro de este tipo, ya que es imposible que no sufran contingencias y lo peor será no estar preparado para ellas.

La tabla 7.7 muestra las razones financieras, que no toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo y que no están relacionadas de forma directa con el análisis de rentabilidad económica de la empresa, sino con la evaluación financiera. La planeación financiera es una de las claves para el éxito de nuestra empresa y un buen análisis financiero detecta la fuerza y los puntos débiles de un negocio. Es claro que hay que esforzarse por mantener los puntos fuertes y corregir los puntos débiles antes que causen problemas. Esta tabla contiene información de la empresa tomada en un punto de tiempo, usualmente el fin de año o periodo contable.

TABLA 7.1 PRESUPUESTO DEL COSTO DE PRODUCCION						
CONCEPTO	1	2	3	4	5	6
VOL. (ton/año)	235 43	235 43	235 43	235 43	235 43	235 43
MAT. PRIMA	1113672.07	15922551.06	2277348.02	3256607.67	4656948.97	6659437.03
ELECT.	11010.01	15744.31	22514.36	32195.54	46039.63	65636.67
AGUA	3868.25	55318.48	79105.43	113120.78	161762.70	231320.66
EMP/ENV.	2354.30	3366.64	4814.30	6884.46	9844.77	14078.03
MANO DE O. D.	244920.0	301271.80	370539.46	455763.54	56058916	689524.66
C. DIRECTOS	1410640.80	1968232.09	2754321.6	3864571.97	5435185.23	7660197.05
DEPRE. Y AMORT	108566.06	108566.06	108566.06	108566.06	108566.06	108566.06
MANTENIMIENTO	11668.62	11668.62	11668.62	11668.62	11668.62	11668.62
MANO DE O. I.	202800.0	24944.0	306816.12	377383.82	464182.10	570943.99
COSTOS IND.	323034.88	369676.67	427050.79	497618.49	584416.77	691178.67
C. DE PRODUCCION	1733675.3	2337910.75	3181372.4	4362190.46	6019602.0	8351375.72
COSTOS DE UNIT.	7363.86	9930.38	13 513 026	18528.61	25568.54	35478.86

FUENTE: A

TABLA 7 2 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN FIJA DEL PROYECTO	
CONCEPTO	PESOS (\$)
EQUIPO Y MAQUINARIA DE FABRICACIÓN	282480.87
EQUIPO Y MAQUINARIA DE SERVICIOS INDUSTRIALES	
EQUIPO Y VEHÍCULOS DE TRANSPORTE	268400.00
MÓBILIARIO Y EQUIPO AUXILIAR	18150.00
GASTO DE INSTALACIÓN DE EQUIPO (15% costo de los eq.)	46609.34
OBRA CIVIL	70000.0
TÉRRENO Y ACONDICIONAMIENTO	150000.0
<b>SUBTOTAL (activos fijos tangibles)</b>	<b>835639.12</b>
INGENIERÍA DE PROYECTO ( 5% )	41781.99
SUPERVISIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN ( 5 %)	41781.99
ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO ( 1% )	8356.39
<b>SUBTOTAL ( activos fijos intangibles )</b>	<b>166620.37</b>
<b>IMPREVISTOS (10 % )</b>	<b>16662.03</b>
<b>INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>1018921.5</b>

FUENTE: S

TABLA 7.3 FINANCIAMIENTO DEL 50%				
CONCEPTO	MONTO	INTERÉS	PAGO	SALDO
1	509460.75			509460.75
2	509460.75	203784.3	116848.8	392611.96
3	392611.96	157044.7	183588.3	229023.64
4	229023.64	91809.46	229023.64	

FUENTE: S

TABLA 7.4 ESTADO DE PERDIDAS CON FINANCIAMIENTO DEL 50%

AÑO6	Estado de resultados					
	1	2	3	4	5	6
ING X VENTA	247912 16	3545145 36	5063657 67	7246467 75	10006739 69	14624436 60
COSTO DE PROD	1733075 3	2337010 78	3181372 4	4362190 46	6019602 0	8351375 72
UTILIDAD MARGINAL	74646 86	1207254 5	1882285 61	2884277 29	4041138 9	6473060 89
COSTO GRAL	313300 0	447578 0	640462 62	915981 62	1300982 3	1872846 25
COSTO FINANCIERO	333784 3	157044 78	61609 46	0	0	0
UTILIDAD BRUTA	228462 86	802363 62	1126113 74	1971915 69	3037454 76	4900215 44
ISR 42%	66666 40	340371 01	108667 77	827064 58	1275730 99	1932660 48
RUT 10%	22846 29	80236 3	112611 37	197141 59	303745 47	490021 54
UTILIDAD NETA	109092 17	299134 71	564034 60	942792 52	1457978 29	2208103 41
DEP Y AMORTIZACION	106690 0	106690 0	106690 0	106690 0	106690 0	106690 0
F N E	215228 17	307700 78	693600 66	1054946 56	1549664 35	2316990 48

FUENTE: S

TABLA 7.5 ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS SIN FINANCIAMIENTO						
Estado de resultados						
ANOS	1	2	3	4	5	6
ING. X VENTA	247912.16	3545145.36	5069557.87	7249467.75	10366738.89	14824436.60
COSTO DE PROD.	1733675.3	2337910.76	3181372.4	4362190.46	6019602.0	8351375.72
UTILIDAD MARGINAL	745446.86	1207284.5	188885.81	2887277.29	4347136.9	6473060.89
COSTO GRAL	313200.0	447576.0	640482.82	915861.62	1309682.3	1872845.25
UTILIDAD BRUTA	432246.86	759408.6	1247723.2	1971415.66	3037454.70	4600215.44
ISR 42%	181543.68	318951.61	524043.74	827994.58	1275730.99	1932090.48
RUT 10%	43224.68	75940.86	124772.32	197141.56	303745.47	460021.54
UTILIDAD NETA	207478.50	364516.13	598907.14	946279.72	1457978.29	2208103.41
DEP. Y AMORTIZACION	108566.0	108566.06	108566.00	108566.0	108566.00	108566.0
F.N.E.	316044.55	473082.19	707473.19	1054845.55	1566544.35	2316869.48

FUENTE: S

TABLA 7.6 BALANCE GENERAL						
CONCEPTO	Financiamiento del 50%		AÑOS			
	1	2	3	4	5	6
ACTIVOS CIRCULANTES						
CAJA Y BANCOS	152731.28	194825.8	259186.2	310315.67	56433.6	855641.97
INVENTARIOS	254771.5	334541.2	473729.85	674224.56	943345.39	1367223.19
CUENTAS POR COBRAR	163169.31	233332.11	333964.91	477140.62	582311.34	975705.14
TOTAL DE ACTIVOS CIRC.	615676.09	767719.21	1095281.06	1502160.85	2147290.23	3039976.31
ACTIVO FIJO						
ACTIVOS TANGIBLES	636539.12	836539.12	836539.12	836539.12	836539.12	836539.12
ACTIVOS INTANGIBLES	189520.37	189520.37	189520.37	189520.37	189520.37	189520.37
IMPREVISTOS	16992.03	16992.03	16992.03	16992.03	16992.03	16992.03
TOTAL DE ACTIVOS FIJOS	1016211.53	1016211.53	1016211.53	1016211.53	1016211.53	1016211.53
TOTAL DE ACTIVOS	1634887.62	1783930.74	2095201.49	2539139.58	3163501.76	4057787.83
PASIVOS						
PASIVOS CIRCULANTES						
CUENTAS POR PAGAR	110264.56	157976.32	225490.0	322439.40	491094.06	854350.20
PASIVO FIJO						
CREDITO REAFICIONARIO	500490.75	500490.75	500490.75	500490.75	500490.75	500490.75
TOTAL DE PASIVOS	619725.31	658467.07	725980.75	822930.15	991584.81	1354840.95
APORT DE ACCIONISTAS P.R.E.	706448.92	721800.85	666790.0	652412.8	629472.6	572267.5
TOTAL PASIVO + CAPITAL	1634887.62	1783930.74	2095201.49	2539139.58	3163501.76	4057787.83

FUENTE: 5

TABLA 7.7 ANALISIS DE RAZONES FINANCIERAS				
RAZONES	PROMEDIO			PROM. IND.
LIQUIDEZ	15.43			1.0
CIRCULANTE	28.70			2.1
TASA DE DEUDA	1.82			0.32
ANO	1	2	3	
NUMERO DE VECES QUE SE GANA EL INTERES	1.121	3.831	12.620	7.0

FUENTE: S

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo y crecimiento que ha tenido la industria en los polímeros en sus diferentes ramas, ha traído grandes consecuencias al medio ambiente ya que unido a la poca conciencia y responsabilidad del ciudadano se han generado grandes cantidades de desperdicios plásticos.

La investigación de nuevos procesos demuestran que algunos plásticos (especialmente aquellos que se utilizan en el hogar), son factibles de reciclarse o reutilizarse, los poliésteres, familia a la que pertenece el polietilentereftalato, son polímeros que por sus características dentro de la polimerización pueden reciclarse.

Los resultados que se obtuvieron del desarrollo, de esta investigación, demostraron la gran importancia de los procesos que buscan el mejoramiento del medio ambiente.

La cantidad de plásticos existentes que dañan el medio ambiente, podrían disminuir si se investigaran nuevos procesos y unido a esto que se implantara una planta piloto y/o a nivel industrial.

La investigación desarrollada en este trabajo, se basa principalmente en conocimientos teóricos que se obtuvieron de la literatura, teóricamente este proyecto resultó tener una gran factibilidad, puesto que la tasa interna de retorno con financiamiento y sin financiamiento es 0.610 y 0.564 respectivamente, la TMAR es de 0.44, valor que se obtuvo ponderando el interés y la inflación con el porcentaje de financiamiento.

Este estudio ha salvado las etapas de decisión. Esto se determinó para un mercado amplio, del cual se pretende cubrir solo una pequeña parte, lo que se asegura que cumplan los pronósticos de venta.

Técnicamente se puede comprobar que la tecnología es sencilla y de fácil aplicación y no hay problema de abasto en la materia prima.

En la parte definitiva del proyecto, la evaluación económica pudo comprobar que el proyecto es económicamente rentable si se siguen los parámetros establecidos de ingresos, costos y TMAR.

**FINALMENTE SE PUEDEN HACER LAS SIGUIENTES RECOMENDACIONES EN EL ÁREA FINANCIERA:**

1.-Revisar el cálculo de capital de trabajo si la empresa demuestra demasiada liquidez. Para disminuir la inversión en este rubro, al pedir un financiamiento al 40% de interés no es recomendable hacerlo al nivel estudiado (50%), sobre activo fijo

2.-Fijar políticas de mayor seguridad financiera, teniendo como base la disponibilidad de capital propio, para nuevamente determinar la inversión de capital de trabajo, lo que podría permitir contar con más capital para activo fijo y por tanto disminuir el nivel de préstamo.

Sería un gran paso adelante, si el proceso que se trabajó en esta tesis se desarrollara experimentalmente, para que en realidad se obtengan todas las variables que se necesitan.

Además de buscar mejorar los procesos conocidos para reciclar el PUT en forma experimental traería una disminución de los desechos sólidos

Las ganancias que se marcan en el capítulo VI son ganancias dignas de tomarse en cuenta, ya que aún con el valor tan grande de la inflación con la que se trabajó (42%) de la tasa de interés con tasas de interés menor se tendrían mayores ganancias. Estas además unidas al grado del préstamo y al porcentaje de interés con el que se realizó el análisis económico y financiero que fue del 40%. Sin financiamiento se obtuvieron las mayores ganancias

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- "Presente y futuro de los negocios del plástico"; Instituto Mexicano del plástico industrial; pp 1-32; México 1993.
- 3.- "Seminario la Era del Plástico El mundo de los Plásticos" Instituto Mexicano del Plástico industrial (IMPI) 1992.
- 5.- Exia G. Baca Urbina, "Evaluación de proyectos", Mc Graw-Hill, 2a edición 1993
- 9.- Kirk-Othmer, and Donald. F., Third Edition, Vol. 10, Editorial A. Wiley; "Enciclopedia de tecnología química"; Interscience publication, John Wiley song 1982.
- 10.- ERIGH R. J.; "Plastics recycling products and process"; Hanser. Publisher, Munich 1991.
- 11.- "-Anuario Estadístico de la Industria Química 1995.
- 19.-Perry J. H. "Chemical Engineers Handbook"; 3a de Mc Graw-Hill, New York 1950 (resumen de ecuaciones teóricas y empíricas, tablas, equipo y diseño).
- 24.- Odian G "Principles of Polymerization"; Wiley and Sons, México 1991
25. Ludwig E. "Applied process design for chemical and petrochemical plants"; 2a de; V. II; Mc Graw-Hill, pp 46-103, Houston Texas 1981
- 27.-Levenspiel O. "Ingeniería de las reacciones químicas"; Repla; pp 9-173, Mexico 1987.
- 28 - William F.H. B. Jhon, "Tecnología y problema de dinámica de fluidos"; Mc Graw-Hill; Mexico 1978.
- 29.-Valencia B. A.; "Problemas de flujo de fluidos"; Noriega ditores Limusa; pp 622-645; Mexico 1990.
- 30.- Coulson J.M. Richardson J.F. ; "Ingeniería Química"; V. II, Reverte, pp 369-382; Barcelona 1981.
- 31.- Streier V., Wyle E. B., "Fluid Mechanic"; Mc Graw Hill. pp. texas.

- 32.- Codigo ASME seccion VIII, division 1 y 2
- 33.- Nicholas P CH., Tyler G. H., "Manual de cálculos de Ingeniería química"; Mc Graw-Hill, pp 2-35 Mexico 1985.
- 34.- Rase F. H., "Chemical Reactor design For process plants Principles and techniques"; V. 1., Jhon Wiley; pp 555-575, New Yors 1977.
- 35.- William L., "Process Modeling simulation and control for chemical engineer"; U.S.A.; 1980
- 36.- Gilbert F. F., Bischoff B. B., "Chemical reactor analysis"; Jhon Wiley and Sons.
- 37.- Shuse R., Mc Ebert. S.; "Pressure vessel, The ASME Code simplified"; 6a de, Mc Graw-Will, pp 20-100; N.Y. 1980.
- 38.-A. Robertson. J., T.C. Clayton "Mecánica de fluidos"; Interamericana; pp 370-400, Mexico 1985.
- 39.- Kern Q D., "Procesos de Transferencia de Calor". Continental, pp 224-291; Mexico 1989-40.
- 40.- Foust S. A., Wenzel A. L., "Principios de Operaciones Unitarias"; Continental; pp 255-314, 575-580; Mexico 1987.
- 41.- Castellan W. G., "Fisicoquímica"; Fondo Educativo Interamericano; pp 747-751; Mexico 971.
- 42.- Smith J. M. "Ingeniería de la síntesis química" continental, pp 61-121; Mexico 1990.
- 43.- Thurlow C. III. "Centrifugals Pumps"; Chemical engineering; october 11 1971.
- TESIS*
- 4.-Alegria P. A., "Perfil Técnico Económico del polietileno de balato", México 1992.

6- Camacho D.F., "Ingeniería básica y diseño de un proceso para una planta recuperadora de nylon 66"; Mexico 1994.

#### ARTICULOS

2.- Escobar A., Muramatsu K "recuperación de desechos plásticos" contactos ciencia y ecología, enero-abril 1992.

8.-George A., "Plásticos reciclados", febrero 1992, vol 8 n° 63

12.-Arechiga U. "Investigación de la Ingeniería química en México", contactos ciencia y ecología, abril-junio 1985.

13.-Basta N., "Plastics recycling grows up", chemical engineering, november 23, 1980.

14.- El éxito del polietileno tereftalato. (PET)

15.-Vos D., "Plastics recycling: new bottles for old", Chemical engineering progress, october 1989..

16.- Potter C. R., "Reclamation of waste plastics and rubber: recovery of material and energy", Journal Chem. Tech. Biotechnology.

17.- Barna A B., "Petrochemical from waste recycling PET bottle" Chemical engineering, december 1980.

20.- J. Oton, S. Rotton, "Investigation of the formation of PET with molecules model", journal of polymer science, 26, 1988

21.- Garcia D., "Heterogeneous Nucleation of Poly (ethylene Terephthalate)", Journal of polymers science, vol. 22 1984

22.- Shang S., "Effect of stabilizer on the preparation of poly (ethylene Terephthalate)", Journal of science, vol. 20, 1982.

23.- Castellanos F. J., "Anatomía y mercado de la Ingeniería de proyectos", Educación química, 1989.

26.- Stindt W. H., "Pump selection", Chemical engineering; october 11 1971.

44.-Birk J. R.; "Dump requirements for the chemical process industries"; Chemical engineering; february 18 1974.

45.-Instituto Mexicano del Acero Inoxidable "Acero inoxidable en desarrollo"; I.M.A.I.A.C., vol. 1 num. 2 abr-jun.,1990.

*INFORMACION DIRECTA*

7.- Información directa: Instituto Mexicano Del Envase y Embalaje.

18- Información directa proporcionado por nafinsa

**FUENTE BIBLIOGRAFICA:** F.E.S. ZARAGOZA, FACULTAD DE QUIMICA, INSTITUTO DE MATERIALES DE LA U.N.A.M., U.A.M. IZTAPALAPA, BIBLIOTECA MÉXICO, A.N.L.Q., INFORMACION DIRECTA (INSTITUTO MEXICANO DEL ENVASE Y EMBALAJE, SECCION AMARILLA)

**APENDICE A**

**PROCESO DE MOLIENDA<sup>13,14</sup>**

La molienda del PCT, se hará primero mediante la compactación de éste (botellas frascos y láminas); las piezas de gran tamaño según su forma; la utilización de instalaciones especiales. Existen empresas para este tipo de materiales que ofrecen instalaciones adecuadas para cada caso.

Las principales firmas en el mundo y con representantes en México de molinos, son las siguientes:

PIRMA	TECNOLOGIA
LESSONA LATINOAMERICANA	ITALIANA
PLATIMAC	
MATTO Y SOLE S.A.	ESPAÑOLA
PALLMANN MASCHINENFABRIK	ALEMANA
WELCOCO	
ALPINE	ITALIANA

Existe un novedoso sistema recientemente desarrollado para alcanzar tamaño de partículas ideales para su uso posterior y mejor incorporación en la reacción, conocido como molienda criogénica.

El principal propósito de este tipo de molienda es el obtener polvos con tamaño de partículas adaptables, para tener una mejor zona de contacto en la reacción. Para reducir eficazmente el tamaño de los polímeros, la molienda criogénica emplea un compuesto refrigerante llamado "compuesto criogénico", el cual presenta una temperatura de ebullición de  $-78^{\circ}\text{C}$ .

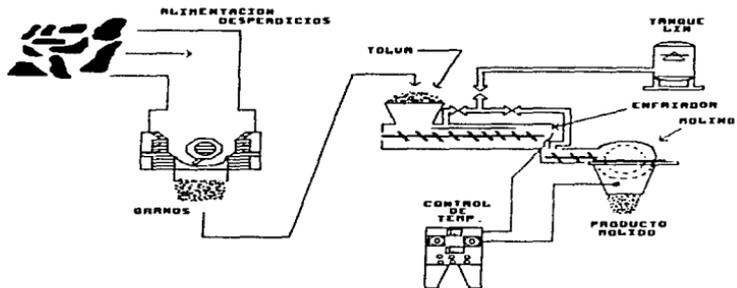
El gas criogénico de más uso es el nitrógeno, ya que éste contacta con el material alimentado inmediatamente, proporcionando una excelente transferencia de calor. La mayoría de los polímeros más recientes presentan fragilidad por debajo de  $-78^{\circ}\text{C}$ .

El ciclo de reciclado criogénico involucra una serie de etapas esquematizadas y ordenadas como se ve en el diagrama de flujo. De acuerdo al tipo de material se requiere de diferentes cantidades de nitrógeno, lo cual nos ofrece diferentes tamaños de partículas en la molienda.

MATERIAL	CONSUMO Kg/Kg	TEMP. DE	TAMAÑO DE
		FRAGILIZACION	PARTICULA
		( ° C )	(malla )
LDPE	2.5-3.5	-56	80
HDPE	1.0	-45	40
PP	1.2	-51	40
ABS	0.5	-65	20
PVC	0.7	-45	40
PET	1.0	-60	40

A nivel mundial poseen equipo de molienda de éste tipo:

- FALLMANN PULVERIZERS CO. INC.
- WEDCO INC.
- AIR PRODUCTS AND CHEMICAL INC.

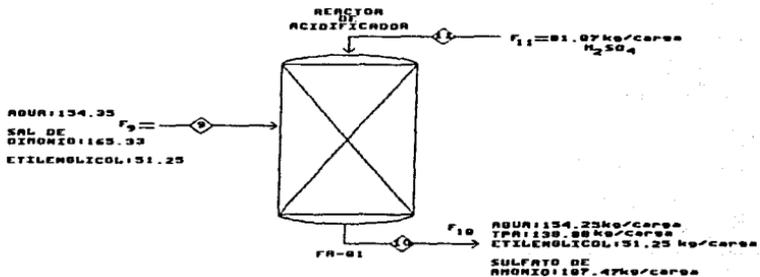
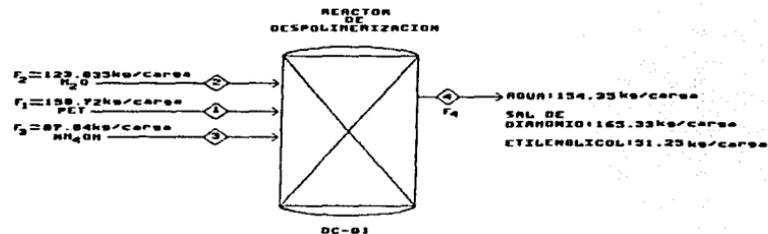


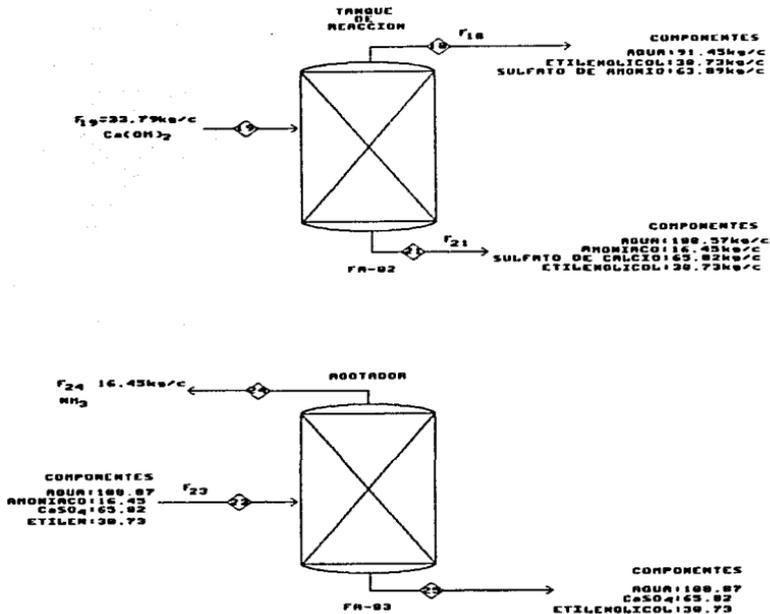
SOLICITADO POR:  
ING. FERNANDO HERRERA JUAREZ

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PARA UNA PLANTA DE MOLIENDA  
DE PET. S.E. APROPIO- ING. FERNANDO HERRERA JUAREZ

**APENDICE B**

## MEMORIAS DE CALCULO





## **PRESUPUESTO DEL COSTO DE PRODUCCION**

En la práctica, el aprovechamiento en la capacidad de producción se incrementará paulatinamente, debido sobre todo a la penetración que logre el proyecto en el mercado, esto es, dependerá de su capacidad para desplazar a sus competidores. Asimismo, conforme el personal encargado de la operación, supervisión y administración de los procesos productivos y comerciales adquiera la capacitación indispensable para el mejor logro de sus objetivos.

De acuerdo con lo anterior, se ha previsto que la producción del proyecto durante sus primeros años de operación podría ser como sigue:

Con el propósito de anticipar los resultados económicos que produciría el proyecto, se ha calculado el costo de producción que estaría vigente durante los primeros seis años.

La tabla 7.1 muestra el costo de producción que regira en los primeros seis años de funcionamiento de la planta de acuerdo con la producción que se eligió. Los costos de la materia prima, electricidad y agua se obtuvieron en forma directa con los proveedores vigentes en el año de 1996.

Para la materia prima como el desperdicio del plástico, ácido sulfúrico, hidróxido de amonio, hidróxido de calcio, etc. el costo mensual es de \$ 95562.62. Se requiere aproximadamente 40.40 m<sup>3</sup> de agua por bimestre principalmente para los intercambiadores, la reacción y servicios generales el costo total por bimestre es de \$ 6678.87. Los costos por electricidad para el proyecto se calcularon con base en la carga total conectada y de acuerdo con las tarifas eléctricas vigentes del año de 1996. Se contemplan los equipos que necesitan corriente eléctrica: bombas, compresores y filtros. También se basó en la producción. Se obtuvo el gasto de energía total en Kw se transformo en Kw-hr. y el costo total mensual de la energía es de \$ 944.75.

Para los empaques y envases el costo corresponde al 10 % de los costos de producción. El mantenimiento que se planea durante la operación en la planta del proyecto se ha calculado con base en datos directos de los proveedores, esto significa aproximadamente el 2 % del costo total del equipo al 10 % de su capacidad.

Los anuales por depreciación y amortización de activos tangibles e intangibles respectivamente se apegan a lo que se indica en los artículos de la ley del impuesto sobre la renta (43, 44 y 45). Los sueldos que se utilizaron son los vigentes para el primer semestre de 1996.

Las bases de cálculo para la tabla 7.2 fueron echas mediante consultas a proveedores directos, en los gastos de instalación de equipo se consideró el 15 % del costo total de los equipos, el cual incluye montaje, puesta en marcha, instrucción y supervisión.

Los costos de la ingeniería de proyectos, supervisión de la construcción y administración del proyecto se basó en los activos fijos tangibles, ya que se tiene los porcentajes como se indica en la tabla 7.2, la tabla 7.3 nos muestra el financiamiento al 50 %, se obtuvo tomando como inversión inicial la inversión fija (ver tabla 7.2). Para determinar el costo de las deducciones se calcularon con la fórmula siguiente:

$$F = P(1+i)^n \quad (1)$$

donde:

F = Suma por pagar

P = Cantidad prestada ( 50 % de inversión fija )

i = Interes sobre el 50 %

n = Años necesarios para pagar el préstamo ( 3 años + 1 de gracia ) informacion directa por BANAMEX

El interes a pagar se calcula con la siguiente formula :

$$Q = F \cdot P \quad (2)$$

Donde:

Q = Interes a pagar ( 42 % anual )

El pago de interes al final de cada año y del cuarto año se muestra en esta tabla ( 7.2 ).

Para determinar el pago de cantidades iguales al final de cada año se determinó el monto a pagar, con la siguiente formula:

$$A = P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3)$$

Donde:

A = anualidad

En esta tabla (7.3) la relación de cada crédito calculado representa un 50 % de financiamiento sobre la inversión total y el otro 50 % es aportación de los promotores del proyecto.

Las tablas 7.4 y 7.5 se realizaron tomando en cuenta como base las tablas 7.1, 7.2 y 7.3, determinando los siguientes conceptos: Utilidad Marginal, Utilidad Bruta, Utilidad Neta y el Flujo Neto de Efectivo con las siguientes formulas.

UTILIDAD MARGINAL - INGRESOS POR VENTA - COSTOS DE PRODUCCION----- (4)

UTILIDAD BRUTA - UTILIDAD MARGINAL - COSTOS GENERALES----- (5)

UTILIDAD NETA - UTILIDAD BRUTA - (I.S.R. + R.U.T.)----- (6)

donde:

I.S.R. = impuesto sobre la renta

R.U.T. = reparto de utilidades

FLUJO NETO DE EFECTIVO - UTILIDAD NETA - DEPRECIACION + AMORTIZACION--(7)

Para determinar los conceptos de la tabla 7.6 se tomaron en cuenta todos los valores de la empresa, los cuales deben cumplir con la siguiente igualdad.

ACTIVO = PASIVO + CAPITAL----- (8)

Se calcula un balance general de la siguiente manera:

ACTIVO FLO	
ACTIVO DIFERIDO	- TERCERAS PERSONAS O IDENTIDADES CON DEUDAS
CAPITAL DE TRABAJO	A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO.
OTROS	-
	PROPIETARIOS DIRECTOS DE LA EMPRESA

Con este balance se sabe si el proyecto es factible o no, debido a que la TIR esta en función de la TASA DE DEUDA.

Para que la TIR tenga un reforzamiento en cuanto a la factibilidad del proyecto se cuenta con las razones financieras que nos indica si es rentable.

Para realizar la tabla 7.7 se utilizó las siguientes ecuaciones.

$$\text{TAZA CIRCULANTE} = \text{ACTIVO CIRCULANTE} / \text{PASIVO CIRCULANTE} \text{ ----- (9)}$$

$$\text{PRUEBA DEL ACIDO} = \frac{\text{ACTIVO CIRCULANTE} - \text{INVENTARIO}}{\text{PASIVO CIRCULANTE}} \text{ ----- (10)}$$

$$\text{TAZA DE DEUDA} = \text{DEUDA TOTAL} / \text{ACTIVO TOTAL} \text{ ----- (11)}$$

NUM. DE VECES QUE

$$\text{SE GANA EL INTERES} = \text{UTILIDAD BRUTA} / \text{PAGO DE INTERESES} \text{ ----- (12)}$$