

1
2ej-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ZARAGOZA"

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PERFIL TECNICO - ECONOMICO DEL POLIETILENTEREFTALATO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N:
ALBERTO ALEGRIA PRISCILIANO
LIZBETH CASTILLO PEREZ
MIGUEL ANGEL LOPEZ SOTO



MEXICO, D. F.

MAYO 1992



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

C O N T E N I D O

PAG.

INTRODUCCION

CAPITULO I

ANTECEDENTES

| | |
|------------------------|---|
| 1.1 GENERALIDADES..... | 2 |
| 1.2 CLASIFICACION..... | 5 |
| 1.3 PROPIEDADES..... | 7 |

CAPITULO II

ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES PLASTICOS DE INGENIERIA

2.1 POLIESTERES

| | |
|--------------------------------|----|
| 2.1.1 GENERALIDADES..... | 11 |
| 2.1.2 PROPIEDADES..... | 14 |
| 2.1.3 USOS Y APLICACIONES..... | 14 |

2.2 POLICARBONATOS

| | |
|--------------------------------|----|
| 2.2.1 GENERALIDADES..... | 17 |
| 2.2.2 PROPIEDADES..... | 18 |
| 2.2.3 USOS Y APLICACIONES..... | 19 |

2.3 POLIACETALES

| | |
|--------------------------------|----|
| 2.3.1 GENERALIDADES..... | 19 |
| 2.3.2 PROPIEDADES..... | 21 |
| 2.3.3 USOS Y APLICACIONES..... | 22 |

2.4 OXIDO DE POLIFENILENO

| | |
|--------------------------------|----|
| 2.4.1 GENERALIDADES..... | 22 |
| 2.4.2 PROPIEDADES..... | 23 |
| 2.4.3 USOS Y APLICACIONES..... | 23 |

| | | |
|-------|----------------------------------|----|
| 2.5 | POLIAMIDAS | |
| 2.5.1 | GENERALIDADES..... | 24 |
| 2.5.2 | PROPIEDADES..... | 25 |
| 2.5.3 | USOS Y APLICACIONES..... | 25 |
| 2.6 | ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO | |
| 2.6.1 | GENERALIDADES..... | 26 |
| 2.6.2 | PROPIEDADES..... | 26 |
| 2.6.3 | USOS Y APLICACIONES..... | 27 |
| 2.7 | MEZCLAS Y ALEACIONES | |
| 2.7.1 | GENERALIDADES..... | 28 |
| 2.7.2 | PROPIEDADES..... | 29 |
| 2.7.3 | USOS Y APLICACIONES..... | 29 |

CAPITULO III

ANALISIS DE MERCADO

| | | |
|-----|---------------------------------------|----|
| 3.1 | POLIESTERES..... | 32 |
| 3.2 | POLICARBONATOS..... | 38 |
| 3.3 | POLIACETALES..... | 40 |
| 3.4 | OXIDO DE POLIFENILENO..... | 50 |
| 3.5 | POLIAMIDAS..... | 53 |
| 3.6 | ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO..... | 57 |
| 3.7 | MEZCLAS Y ALEACIONES..... | 62 |

CAPITULO IV

TECNOLOGIA DEL POLIETILENTEREFTALATO

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | ANALISIS GENERAL DE LAS RUTAS PARA PRODUCIR PET..... | 67 |
| 4.2 | PET A PARTIR DE DMT Y ETILENGLICOL..... | 70 |
| 4.3 | PET A PARTIR DE ACIDO TEREFTALICO Y ETILENGLICOL..... | 74 |
| 4.4 | PET A PARTIR DE ACIDO TEREFTALICO Y OXIDO DE ETILENO..... | 81 |

| | | |
|-----|------------------------------|----|
| 4.5 | SELECCION DEL PROCESO..... | 83 |
| 4.6 | CAPACIDAD DE PRODUCCION..... | 87 |

CAPITULO V

INGENIERIA BASICA DE LA PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFALATO

| | | |
|-----|---|-----|
| 5.1 | LOCALIZACION DE LA PLANTA..... | 91 |
| 5.2 | BASES DE DISEÑO..... | 97 |
| 5.3 | DESCRIPCION DEL PROCESO PARA LA OBTENCION DE PET A PARTIR DE DMT Y ETILENGLICOL..... | 109 |
| 5.4 | PREDIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO PRINCIPAL.... | 122 |

CAPITULO VI

EVALUACION ECONOMICA

| | | |
|-----|--------------------------------------|-----|
| 6.1 | EVALUACION DE COSTO DE EQUIPO..... | 148 |
| 6.2 | METODO DE GUTHRIE..... | 149 |
| 6.3 | EVALUACION DE LA INVERSION FIJA..... | 157 |

| | |
|------------------------------|-----|
| C O N C L U S I O N E S..... | 161 |
|------------------------------|-----|

| | |
|------------------------------|-----|
| B I B L I O G R A F I A..... | 164 |
|------------------------------|-----|

| | |
|------------------------|-----|
| A P E N D I C E A..... | 170 |
|------------------------|-----|

| | |
|------------------------|-----|
| A P E N D I C E B..... | 186 |
|------------------------|-----|

INTRODUCCION

Es innegable la importancia que hoy en día tienen los plásticos de ingeniería en nuestra sociedad. Cada uno de ellos, han cubierto necesidades específicas de sectores industriales de gran importancia como automotriz, construcción, electrónica y medicina, entre otros; así, su aplicación abre espacios cada vez más amplios.

En la actualidad, tanto a nivel internacional como nacional, se están desarrollando actividades diversas, todas ellas enfocadas a elevar la producción de materia prima para satisfacer la demanda que presenta el sector de los plásticos; esto, ha provocado la necesidad de crear nuevos proyectos, no solo en el sector de la producción de materias primas, sino también, en el de procesos.

En el presente trabajo, se llevará a cabo la estimación de la Inversión Fija de una planta productora de polietilentereftalato (PET); para lo cual, en el Capítulo I se presenta un panorama general de lo que son los plásticos, dándose una clasificación de ellos de acuerdo a las características y propiedades que presentan.

De forma comparativa en los Capítulos II y III, se realiza un análisis del PET y otros plásticos de ingeniería, con el fin de mostrar las ventajas que presenta el PET con respecto a éstos; ventajas que han originado una mayor demanda de éste en el mercado. En el análisis se contemplan aspectos como son: propiedades físicas y químicas, usos y aplicaciones, esto en el Capítulo II, y en

el Capitulo III, la situación en el mercado en cuanto a su producción y consumo, a nivel nacional e internacional.

Para realizar la estimación de la inversión fija, es necesario definir primeramente el proceso de fabricación del PET. Razón por la cual en el Capitulo IV, se presentan distintas rutas de producción de PET; seleccionando la más óptima, en cuanto a costos de inversión, consumo de materias primas y servicios auxiliares, por tonelada de producto terminado. En el Capitulo V, se desarrolla la ingeniería básica del proceso anteriormente seleccionado. Realizando el balance de masa y energía del proceso y el predimensionamiento del equipo principal. Para posteriormente en el Capitulo VI, evaluar el costo del mismo y la estimación de la inversión fija de la planta productora de PET.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

En este capítulo se da una breve descripción de lo que son los plásticos, así, como la clasificación de estos de acuerdo a las propiedades físicas y químicas, características y consumo que presenta cada uno de ellos.

1.1 GENERALIDADES

Los plásticos son derivados de los recursos naturales; como petróleo, gas natural y sales comunes.

Las materias plásticas tienen presentaciones diversas como granulos, polvo, líquido, soluciones, etc.

En términos técnicos, los plásticos son fabricados por la polimerización, que es la conversión de monómeros en polímeros. Las características y las propiedades de los plásticos son determinadas por el tamaño y la estructura del polímero.

Un polímero es un compuesto orgánico, natural o sintético, de estructura grande y alta masa molecular, que está constituido de una pequeña unidad repetitiva llamada monómero.

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

Una definición práctica de lo que es un plástico de ingeniería, debe incluir no solamente el criterio

" propiedad - aplicación ", sino además el criterio " mercado - costo ", para poderlo clasificar como resina de ingeniería. Algunas de las resinas que satisfacen ambos criterios son: nylon, acetal, compuestos de poliéster termoplástico, óxido de polifenileno y policarbonatos.

Estas cinco familias de resinas se consideraron como plásticos de ingeniería desde 1970, y en 1980 este grupo creció.

Una definición basada en el criterio propiedad-aplicación solamente podría incluir un grado especial, componentes termoplásticos para usos varios y una variedad de mezclas de polímeros y copolímeros. Se pueden incluir como termoplásticos especiales a todos los que presentan alta resistencia a temperaturas de operación elevadas, 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 laca, al emplearlos los egipcios para impregnar textiles para proporcionarles mayor resistencia.

Posteriormente, surgen los polímeros semi-sintéticos como la caseína utilizada para la fabricación de botones, el hule vulcanizado para neumáticos, la parquesina, la ebonita y el celuloide.

Sin embargo, no es sino hasta 1907 cuando surgen los polímeros sintéticos, cuando el Dr. Leo Baekeland descubre un compuesto de fenol-formaldehído al cual se le da el nombre de "baquelita" y que se comercializa 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.

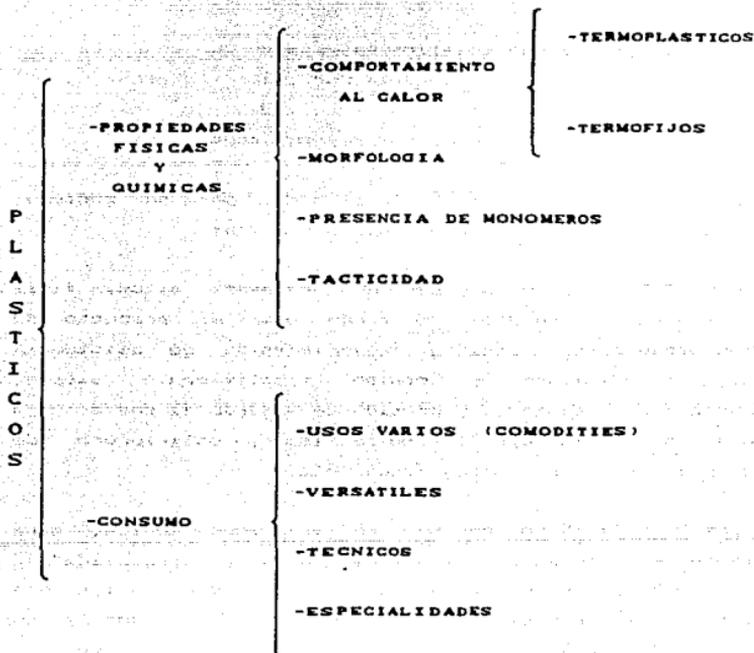
Más tarde se desarrollaron una gran variedad de materiales y este crecimiento se ve acelerado entre las décadas de los cuarentas y cincuentas.

Actualmente, la mayoría de los plásticos parten del petróleo, pero no es la única fuente para su fabricación, ya que el carbón con cal da lugar al carburo de calcio que procesándose se utiliza para obtener el acetileno y a partir de él, 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 etileno.

El desarrollo de resinas de ingeniería se inició con el trabajo de Carothers sobre los "nylons" en E.I. DUPONT de NEMOURS and Co. en la década de los años treinta. Estos trabajos entraron en una etapa de investigación y desarrollo muy dinámica en las décadas de los sesentas y los setentas; en este periodo emergieron al mercado varios materiales poliméricos que ofrecían una amplia versatilidad en cuanto a sus propiedades térmicas y mecánicas, todos ellos podían sustituir materiales tradicionales como la madera, el vidrio, la cerámica, el acero, etc., en varias de sus aplicaciones: gracias a que mantenían 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, la aeronáutica y la automotriz.

1.2 CLASIFICACION

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



De acuerdo a la estructura química se definen cuatro clasificaciones, en función del comportamiento o acomodo de la estructura del material y de estas clasificaciones, la más importante, es la del comportamiento al calor que divide a todos los polímeros en dos grandes grupos: Termoplásticos y Termofijos.

Los TERMOPLASTICOS son aquellos materiales que se reblandecen 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 TERMOFIJOS son aquellos materiales que una vez que han sido transformados en una pieza por calor o presión, al aplicarles nuevamente calor se degradan o carbonizan eliminando toda posibilidad de ser reprocesados.

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 asistencia técnica, procesamiento y equipo relativamente simple, márgenes bajos de ganancia y precios de acuerdo al costo y a la competencia. Incluye a: polietilenos, policloruro de vinilo, polipropileno, poliestireno, etc.

Los VERSATILES se consumen en volúmenes medios, poca tecnología en producción y transformación, creatividad y diseño en base de su desarrollo, no existe suficiente difusión de aplicaciones, satisfacen mercados definidos y su precio es de acuerdo a su funcionalidad. Incluye a: poliuretano, fenólicas, resinas poliéster insaturadas, polimetil metacrilato, epóxicas, ureicas, etc.

Los TECNICOS se consumen en bajos volúmenes, márgenes altos de ganancias, procesamiento y equipo especializado, satisfacen el mercado automotriz y eléctrico-electrónico principalmente, se comercializan con asistencia técnica y

sustituyen a partes mecánicas. Incluyen a: poliésteres, poliamidas, policarbonatos, acetales, algunas mezclas, etc.

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

1.3 PROPIEDADES

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

PROPIEDADES FISICAS: 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", polieteretercetonas, etc.

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

PROPIEDADES MECANICAS: 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 muy resistentes.

RESISTENCIA QUIMICA: 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 medicina; la fabricación de instrumental; partes de algunos equipos médicos y además se aprovechan las propiedades de biocompatibilidad 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 procesos, se cree que el desarrollo de membranas de separación por medio de ultrafiltración, ósmosis inversa y diálisis, reduzca enormemente los consumos energéticos de los procesos.

El procesamiento de los materiales plásticos siempre ha estado en constante evolución desde las primeras eyectoras 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

plásticos; esto a nivel mundial y muy especialmente en Europa Occidental, Medio y Lejano Oriente. Esta constante preocupación por 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 e instalada en cuanto a esta industria.

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 por el Producto Interno Bruto Nacional y al Manufacturero, sector al cual pertenece como transformación 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 a 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 a cerca 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 el PET con respecto a los demás plásticos de ingeniería. Esto se lleva a cabo en el capítulo siguiente.

C A P I T U L O I I

ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES PLASTICOS DE INGENIERIA

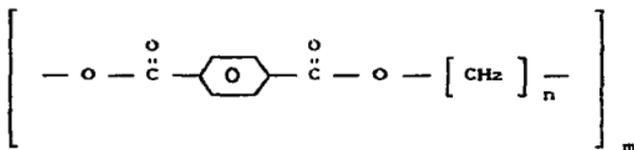
Los plásticos de ingeniería clasificados como técnicos son de gran importancia, no sólo por sus propiedades y aplicaciones, sino porque presentan un mercado nuevo al cual incursionar, ya que las diferentes resinas de ingeniería nacen entre las décadas de los años sesentas y setentas, siendo este mercado apropiado para su explotación.

En este capítulo se describen plásticos de ingeniería como son: poliésteres, policarbonatos, poliacetales, óxido de polifenileno, poliamidas, acrilonitrilo butadieno estireno y algunas mezclas; mencionando sus propiedades y sus diversos usos y aplicaciones a nivel doméstico e industrial.

2.1 POLIESTERES

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 conocido 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).

La familia de los poliéster saturados surgió en 1941 cuando J.R. Winfield y S.T. Dickson patentaron la elaboración del PET para ser utilizado como fibra y en 1955 hizo su aparición en el mercado mundial. Posteriormente, a mediados de los años sesentas se introdujo el PET como material para la fabricación de película 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 PBT.

El PET y el PBT parten del TPA o del DMT que reaccionan con un glicol, ya sea el etilenglicol para obtener PET, o butilenglicol para obtener PBT.

En el caso de fibras poliéster únicamente se obtiene PET y se caracteriza por una elevada resistencia a la tensión y abrasión, además de una alta resistencia a químicos y microorganismos.

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 que es su uso más común y el grado película de poliéster. Los diferentes grados se diferencian por su viscosidad intrínseca, determinada por la distribución de masa molecular.

El PET grado película presenta una elevada resistencia a la tensión e impacto, pero sobre todo soporta temperaturas de 85°C sin reblandecerse y posee buenas propiedades de barrera al O₂, N₂, CO₂ y humedad, por lo que es ampliamente utilizado en empaques para alimentos y que en ocasiones van a ser cocinados dentro del mismo empaque. Para el caso de fotografía 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 O₂ a al CO₂, 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 Estados Unidos en 1978 bajo el nombre comercial de Rynite. Todas las resinas PET grado ingeniería son formuladas por sus productores a partir del PET puro o bien del 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 y buenas propiedades eléctricas y de fricción; sin embargo, para aplicaciones que requieren resistencia a temperaturas elevadas, se necesita un reforzamiento con fibra. Cerca del 80-85% del PBT vendido 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 de PBT-PET tiene un menor costo, un mejor brillo y una temperatura de deformación más alta con respecto a la resina de PBT, lo cual es debido a la presencia

de PET; la mezcla PBT-PET también presenta una mejor moldeabilidad con respecto a la resina simple PET, esto debido a la presencia de PBT, en este caso se presenta una complementariedad 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.

2.1.2 PROPIEDADES

En la tabla 2.1 se muestran las principales propiedades físicas, mecánicas, eléctricas y térmicas del PBT y PET grado ingeniería con y sin refuerzo de fibra de vidrio.

2.1.3 USOS Y APLICACIONES

El PET se utiliza en botellas y tarros para aceites, alimentos condimentados, jugos, vinos, bebidas carbonatadas, "shampoos", lociones, cosméticos, en fibras para llantas, telas, cordeles, electrodomesticos, fotocopiadoras y computadoras.

El PBT se utiliza en carcazas de bobinas, cámaras de medidores de agua, rotores, bobinas de ignición, armaduras de bombas, partes del sistema de frenos, limpia parabrisas, cajas de fusibles, cerraduras, válvulas de vacío y tapas de distribuidor de automóvil.

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

TABLA 2.1: PROPIEDADES DE LOS POLIESTERES DE TEREFALATO

| PROPIEDADES | POLIBUTILENTEREFALATO | | | | POLIETILENTEREFALATO | | | |
|--|------------------------|-------|----------|-------|----------------------|-------|--------|-------|
| | (% DE FIBRA DE VIDRIO) | | | | | | | |
| | 0 | 15 | 30 | 40 | 0 | 30 | 45 | ASTM |
| GENERALES | | | | | | | | |
| DENSIDAD ESPECIFICA | 1.31 | 1.41 | 1.53 | 1.60 | 1.37 | 1.56 | 1.69 | D 792 |
| % ABSORCION AGUA, 23 °C, 24 Hrs | 0.80 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.08 | 0.05 | 0.04 | D 570 |
| AL EQUILIBRIO | 0.34 | 0.30 | 0.26 | 0.36 | 0.60 | 0.45 | 0.45 | — |
| % DE MERMA AL MOLDEARSE | 2.0 | 8.8 | 0.6 | 0.5 | 2.0 | 0.2 | — | — |
| DUREZA ROCWELL | R117/M68 | R116 | R118/M60 | R117 | M106 | M100 | M100 | D 785 |
| ABRASION TABER mg/100 CICLOS | 9 | 12 | 19 | 26 | 3 | 6 | 7 | — |
| COEFICIENTE DE FRICCION C/SI MISMO | 0.17 | 0.22 | 0.15 | — | — | 0.28 | 0.17 | — |
| COEFICIENTE DE FRICCION C/METALES | 0.13 | 0.24 | 0.19 | — | — | 0.17 | 0.20 | — |
| RESISTENCIA Y DUREZA A 23 °C | | | | | | | | |
| RESISTENCIA EN TENSION, Kg/cm ² | 0.53 | 9.2 | 1.19 | 1.33 | 0.54 | 1.61 | 1.95 | D 638 |
| % DEFORMACION A TENSION | 300 | 5 | 4 | 3 | 300 | 3 | 2 | D 638 |
| MODULO EN FLEXION, Kg/cm ² | 0.84 | 1.4 | 1.96 | 2.11 | 1.16 | 2.38 | 2.96 | D 790 |
| RESISTENCIA A COMPRESION, Kg/cm ² | 0.92 | 1.05 | 1.26 | 1.26 | 1.3 | 1.75 | 1.82 | D 695 |
| RESISTENCIA AL CORTE, Kg/cm ² | 0.54 | 0.56 | 0.62 | 0.56 | 0.56 | 0.80 | 0.87 | D 732 |
| MODULO DE FLEXION, Kg/cm ² | 23.8 | 47.12 | 77.30 | 91.50 | 28.86 | 91.40 | 140.60 | D 790 |
| TENACIDAD | | | | | | | | |
| IMPACTO IZOD J/m RANURADO A 23 °C | 53 | 59 | 96 | 117 | 43 | 101 | 128 | D 256 |
| A -40 °C | 37 | 53 | 85 | 107 | 32 | 96 | 123 | — |
| SIN RANURAR A 23 °C | * | 530 | 800 | 960 | * | 370 | 370 | — |
| A -40 °C | * | 480 | 747 | 850 | * | 370 | 370 | — |

* SIN RUPTURA

TABLA 2.1: PROPIEDADES DE LOS POLIESTERES DE TEREFALATO (CONTINUACION)

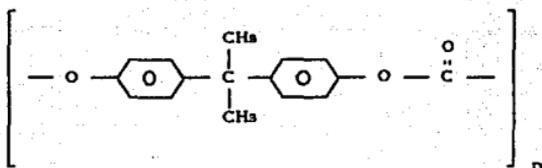
| PROPIEDADES | POLIBUTILENTEREFALATO | | | | POLIETILENTEREFALATO | | | |
|--|------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|---------|
| | (% DE FIBRA DE VIDRIO) | | | | | | | |
| | 0 | 15 | 30 | 40 | 0 | 30 | 45 | ASTM |
| TERMICAS / FLAMABILIDAD | | | | | | | | |
| TEMPERATURA DE DEFLACION, °C A 4.7 Kg/cm ² | 155 | 210 | 216 | 216 | 215 | 250 | 250 | D 648 |
| A 18 Kg/cm ² | 55 | 191 | 210 | 210 | 85 | 225 | 228 | --- |
| COEFICIENTE EXPANSION LINEAL TERMICA X10 ⁻⁶ /°C | 12.8 | 4.5 | 2.5 | 2.5 | 7.2 | 2.9 | 2.3 | D 690 |
| CONDUCTIVIDAD TERMICA, W/(°C) | 0.18 | --- | 0.21 | --- | --- | 0.29 | 0.31 | C 177 |
| INDICE DE TEMPERATURA UL, °C | | | | | | | | |
| ELECTRICO Y MECANICO C/IMPACTO | 120 | 130 | 140 | --- | --- | 140 | 140 | UL 08M2 |
| MECANICO B/IMPACTO | 140 | 140 | 140 | --- | --- | 140 | 140 | --- |
| INDICE DE OXIGENO % | 20.6 | 13.5 | 18.2 | 18.5 | 21 | 20 | 20 | D 2863 |
| RESISTENCIA QUIMICA | EXCELENTE | EXCELENTE | EXCELENTE | EXCELENTE | EXCELENTE | EXCELENTE | EXCELENTE | - |
| ELECTRICAS | | | | | | | | |
| RESISTENCIA AL ARCO, S | 184 | 129 | 148 | --- | --- | 72 | 126 | D 495 |
| RESISTENCIA VOLUMETRICA, cm ³ X10 ⁻⁶ | 4.0 | 3.3 | 3.2 | --- | 3.5 | 0.1 | 0.1 | D 257 |
| RESISTENCIA DIELECTRICA (CORTO TIEMPO 1 s mm) KV/mm | 23.2 | 23.2 | 24.8 | 28.4 | 23.6 | 29.6 | 28.8 | D 149 |
| CONSTANTE DIELECTRICA A 100 Hz | 3.3 | 3.6 | 3.8 | 3.8 | --- | 3.6 | 4.0 | D 150 |
| A 10 ⁻⁶ Hz | 3.1 | 3.4 | 3.7 | 3.7 | 3.4 | 3.5 | 3.9 | --- |
| FACTOR DE DISIPACION A 100 Hz | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | --- | 0.005 | 0.005 | D 150 |
| A 10 ⁻⁶ Hz | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.012 | 0.012 | --- |

FUENTE: C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

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 broches.

2.2 POLICARBONATOS

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 su comercialización.

Estos poliésteres fueron descubiertos e introducidos en Alemania por el Dr. H. Schnell y sus colaboradores de Farbenfabriken Bayer; dándole el nombre comercial de "makrolon" al polvo moldeable por inyección, y el de "makrofol" a las películas moldeadas. Al mismo tiempo,

independientemente, la GENERAL ELECTRIC anunciaba la formulación de polímeros parecidos, a los que dio el nombre comercial de "lexan". También la MOBAY CHEMICAL COMPANY elaboraba sus planes para producir y vender este nuevo plástico con el nombre de "merlon".

El policarbonato se forma a partir de la unión de fósgeno y bisfenol A, 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 dieléctricas y baja absorción de agua.

2.2.2 PROPIEDADES

La temperatura de reblandecimiento de los policarbonatos es elevada, y muy singular 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 tracción y sus buenas propiedades eléctricas.

Químicamente lo atacan ácidos y bases fuertes, y en menor grado el amoníaco y aminas, aunque es estable a hidrocarburos alifáticos y alcoholes.

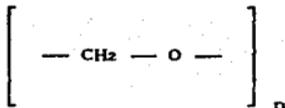
Las ventajas en su resistencia química pueden ser aumentadas con recubrimientos o lacas que proporcionen tal propiedad.

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, regatas de contactos, sulfures de lámparas, piezas de microscopios, protectores de diapositivas, lentes y portalentes, carcazas de cámaras fotográficas, secadoras de cabello, tenazas, tubos eléctricos, planchas, filtros de café, carcazas de electrodomesticos, equipo medico, fibras opticas, calaveras, cascos, vidrios de seguridad, garrafones, biberones, moldes para chocolate, construcción de yelmos, caretas de cascos para astronauta, componentes de aviones supersonicos, se emplean ampliamente 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, paneles de instrumentos, "quemacocos", tableros, etc.

2.3 POLIACETALES

2.3.1 GENERALIDADES



Los polimeros de formaldehido de alto peso molecular se conocen desde la década de los años treintas, pero eran inestables y su aplicación comercial limitada. A partir de

los años cincuentas y después de varios años de investigación E.I. 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 estables al reemplazar a 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 competir 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 acetálicas" aunque su nombre correcto es el de "polioxido de metileno" de ahí que se les denomine con las siglas POM.

Estos materiales existen en dos tipos, de acuerdo a la forma en que hayan sido obtenidos y que de ahí parta una diferente estructura molecular. Los dos tipos son: homopolímero 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 unicos productores de resinas acetal. Las aplicaciones de estas resinas incluyen construcción de valvulas, uniones, engranes y partes electricas normalmente fabricadas como metales y resinas como nylon y acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).

A principios de 1983 DUPONT introdujo un poliacetal de alto impacto superduro (de la serie comercial DELRIN), al mezclarlo con un elastomero. Al combinar estos materiales se obtiene una estructura de polimero en forma de red interpenetrada, que comparada con otros grados de DELRIN 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 nueva línea de acetales modificados de alto impacto, usados principalmente en aplicaciones de extrusión y moldeo por soplado; estos acetales son aleaciones de nombre comercial "DURALDY 1000".

Otros desarrollos recientes incluyen grados de recubrimiento con propiedades de flujo mejoradas y con características antiestáticas para aplicaciones en la industria de video cassettes.

2.3.2 PROPIEDADES

Las principales propiedades, intermedias entre la de los plásticos y metales, de las resinas acetales son las siguientes: 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,

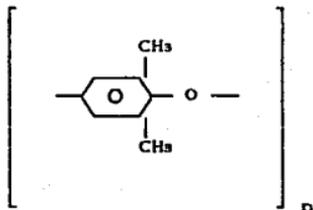
buena apariencia, lubricación natural y con un rango normal de temperatura de operación de 51 a 160°C.

2.3.3 USOS Y APLICACIONES

Las resinas acetal tienen su principal uso en los mercados automotriz, de bienes de consumo final, componentes de maquinaria industrial, fabricación de tuberías, partes eléctricas y electrónicas e instrumentos.

2.4 ÓXIDO DE POLIFENILENO

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, pero 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 NORYL, 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 mejoro.

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 Eter de polifenileno modificado (MPPE); esta resina es un copolímero del 2,6-dimetil fenol con el 2,3,6-trimetil fenol. El grupo metilo 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 en flexión. Con el PPD, el PPE es difícil de procesar en forma virgen, por lo que se mezcla con poliestireno para facilitar dicho procesamiento.

Las aleaciones de MPPD-MPPE 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 MPPD.

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

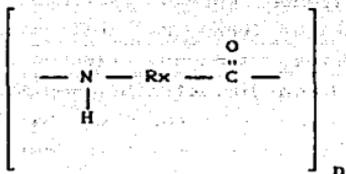
2.4.3 USOS Y APLICACIONES

El óxido de polifenileno tiene su principal aplicación en la industria automotriz, entre ellas la fabricación de

bastidores de espejos, parrillas, cubiertas de llantas y expoliadores; en la industria eléctrico-electrónica, para aparatos domésticos y en máquinas de oficinas y telecomunicaciones.

2.5 POLIAMIDAS

2.5.1 GENERALIDADES



Son los polimeros 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" se realiza escribiendo la palabra genérica "nylon", seguida de uno o dos números; cuando el nombre solo contiene un número, éste indica el número de átomos de carbono que tiene el monómero del que proviene. Cuando se utilizan dos números indican los números de átomos de carbono de los reactivos de que proviene.

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

De estos productos el nylon 6 y nylon 6,6 son los más importantes ya que representan el 85-90% 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 gran variedad de aplicaciones mecánicas y eléctricas, son fuertes, tenaces, tienen buena resistencia eléctrica, y propiedades dieléctricas, resistencia al uso, 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 tratan con diversos métodos de secado. Por otro lado presentan degradación al exponerse a altas temperaturas, aunque depende del grado de exposición. La exposición a la luz ultra violeta 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 en 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 les encuentra en artículos de cuidado personal, cuerpos de encendedores y válvulas para aerosoles.

Al combinar tres monómeros cada uno de ellos aporta diferentes propiedades, modificandose la propiedades de los mismos.

El acrilonitrilo proporciona estabilidad termica, resistencia quimica 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 cromar quimicamente, no es tóxico, presenta buena resistencia a la abrasión, a quimicos como acidos y bases fuertes, aunque es soluble en solventes polares, ésteres, cetonas e hidrocarburos clorados. Además, de todo lo anterior se logran grados de elevados indices de fluidez, por lo que se pueden moldear piezas de gran tamaño o diseños intrincados.

Hasta hace poco este material sólo se obtenia opaco y coloreado en variedad de tonos, pero recientemente se desarrolló el grado transparente que se obtiene mediante una polimerización en bloque 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 domesticos, se emplea en carcazas de equipos electrodoméstico, muebles, teléfonos, puertas internas de refrigeradores; así también se emplean en aparatos eléctricos-electronicos como calculadoras, sumadoras, computadoras, etc. Además, se utilizan en mangos de herramientas, partes de motocicletas y juguetes.

2.7 MEZCLAS Y ALEACIONES

2.7.1 GENERALIDADES

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

Las razones por las que se producen 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 en donde participan varios plásticos de ingeniería o bien aquellas 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 la temperatura de deflexión 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 reforzantes que mejoran resistencia o 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.

2.7.2 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 bien 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.

2.7.3 USOS Y APLICACIONES

Las mezclas han penetrado mercados de homopolímeros y copolímeros en un amplio frente. Casi todos 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 agresivamente por las mezclas es el de los automóviles, en donde las aplicaciones potenciales incluyen cuerpos de paneles exteriores, defensas, tableros de instrumentos y paneles interiores especiales para

camionetas. La habilidad para soportar pintura y resistir temperaturas de horneado son propiedades importantes en estas aplicaciones, aunque hay algunas otras de importancia como son: propiedades estables a bajas temperaturas, resistencia a solventes como gasolina o liquido para frenos, facilidad para ser electroplateados, resistencia a las altas temperaturas y retardancia a la flama.

Un aspecto importante de los plásticos, además de sus propiedades, es el comportamiento de estos 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. En el siguiente capítulo se realiza un análisis de mercado de los plásticos descritos en este capítulo.

CAPITULO III

ANALISIS DE MERCADO

Los países productores de plásticos de ingeniería en mayor escala son Estados Unidos, Japón y Europa Occidental. A nivel nacional la producción de estas resinas es reciente, aun cuando de algunas solo se encuentran como un proyecto y de otras se desconoce completamente su método de producción.

En este capítulo, se muestra el análisis de mercado nacional e internacional de los plásticos descritos en el capítulo anterior. Además de la proyección del consumo aparente de PET para el año 2000.

3.1 POLIESTERES

Como es de esperarse los mercados más importantes de estas resinas son Estados Unidos, Japón y Europa Occidental, los datos de producción se reportan en forma conjunta para ambos poliésteres polibutilentereftalato (PBT) y polietilentereftalato (PET).

La producción de PBT se inició en Estados Unidos en 1972, mientras que para el PET no fue sino hasta 1979. Con respecto al mercado Europeo y Japonés, el primer reporte de producción se realizó en 1979 y 1976, respectivamente; lo cual permitió pasar de 5000 toneladas en 1973 a cerca de 70000 toneladas en 1984 debido a la presencia de estos nuevos mercados.

El mercado más importante de los poliésteres es el de Estados Unidos con aproximadamente el 54% de la producción total y el 50% del consumo mundial total. Otro dato interesante que se desprende de los datos de mercado en estas regiones, es que la capacidad instalada hasta 1984 sería suficiente para cubrir el doble del consumo mundial total reportado en 1983. La empresa productora de PET con mayor

capacidad instalada a nivel mundial, actualmente es EASTMAN CHEMICAL PRODUCTS. El 70% de la capacidad mundial corresponde a las cuatro empresas siguientes: EASTMAN CHEMICAL, GOODYEAR, HDECHST/CELANESE e ICI. Los datos estadísticos sobre el consumo mundial de los poliésteres se encuentran reportados en la Tabla 3.1, y en la Figura 3.1.

Los principales sectores de consumo de PET a nivel mundial se encuentran distribuidos principalmente en botella 52%, película 43% y el restante 5% en otras piezas y artículos obtenidos por extrusión.

El precio del PET grado ingeniería con 30% de fibra de vidrio para 1984 fue de 3.2 dólares/Kg en Estados Unidos.

A nivel nacional no existen datos de consumo de PBT, y hasta el momento tampoco se tiene noticias de producción o proyectos a este respecto.

En el caso del PET, se reportan importaciones del mismo, pero la fracción arancelaria correspondiente no especifica el grado del plástico importado y dado que el uso más común del PET es la elaboración de envases, lo más probable es que los datos reportados correspondan al PET denominado grado envase.

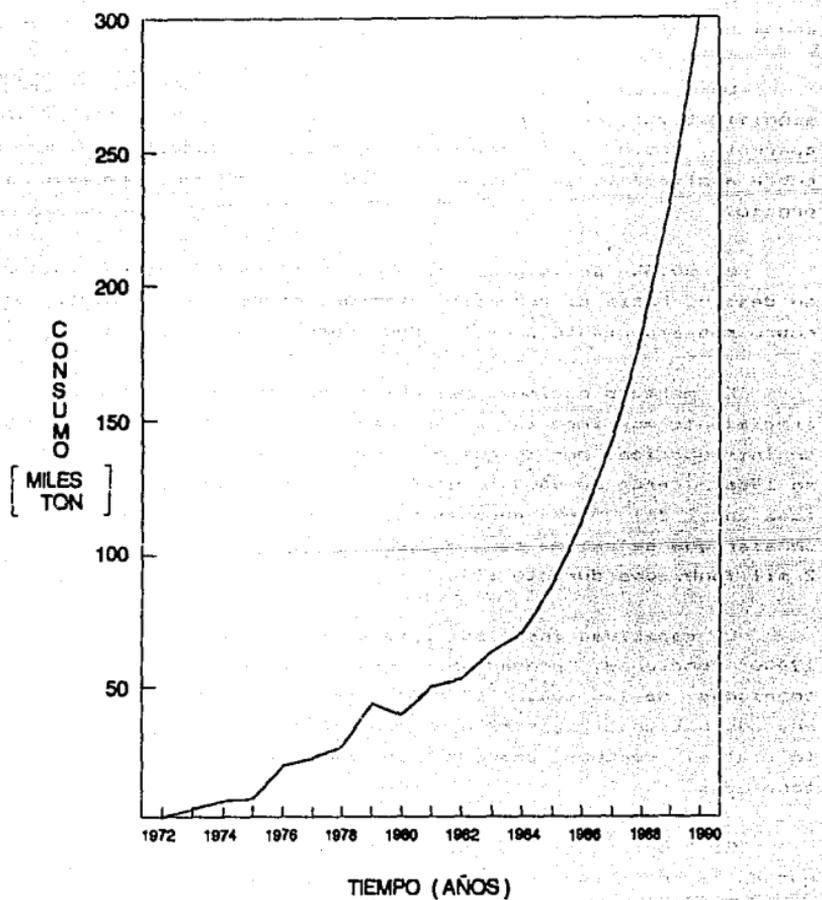
La capacidad instalada nacional está dedicada en su totalidad a la producción de PET grado envase, a través de dos empresas, CELANESE MEXICANA y KIMEX. Así mismo se cuenta con representación de varias empresas productoras a nivel mundial y que abastecen el mercado nacional principalmente en PET grado ingeniería y PBT, de entre las más importantes se encuentran: GENERAL ELECTRIC PLASTICS MEXICO, S.A.; BAYER DE MEXICO, S.A. DE C.V.; BASF MEXICANA, S.A. DE C.V.; HCPP MEXICANA, S.A. DE C.V. y DUPONT, S.A. DE C.V.

TABLA 3.1 : MERCADO MUNDIAL DE POLIESTERES (MILES TON.)

| AÑO | CONSUMO APARENTE |
|------------|-------------------------|
| 1972 | 2 |
| 1973 | 5 |
| 1974 | 8 |
| 1975 | 9 |
| 1976 | 21 |
| 1977 | 24 |
| 1978 | 28 |
| 1979 | 44 |
| 1980 | 40 |
| 1981 | 50 |
| 1982 | 53 |
| 1983 | 63 |
| 1984 | 70 |
| 1985 | 88 |
| 1986 | 112 |
| 1987 | 142 |
| 1988 | 180 |
| 1989 | 230 |
| 1990 | 300 |

FUENTE: I.M.P.I.(Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

FIGURA 3.1 : CONSUMO MUNDIAL DE POLIESTERES



En 1990 la utilización de la capacidad instalada fue del 96 %, lo 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.

La producción se incrementó a una tasa del 17.3% anual durante los últimos 3 años.

Las importaciones del PET grado envase son poco significativas, representando en 1990 el 0.7% del consumo aparente, debido principalmente a que la producción nacional cubre ampliamente la demanda tanto en volumen, calidad y precio.

El 50.3% de la producción nacional de PET grado envase se destinó hacia el comercio exterior, siendo actualmente el rubro más importante para las dos empresas productoras.

El mercado nacional del PET grado envase ha tenido un crecimiento muy importante aun cuando se encuentra en su etapa de introducción, por lo que el consumo aparente pasó de 4720 en 1986 a cerca de 9400 toneladas en 1990, creciendo a una tasa anual del 25.6% durante dicho periodo; sin embargo, cabe señalar que se estima permanecieron en almacén del orden de 2 mil toneladas durante 1990.

La capacidad instalada para el PET hasta 1990 fue de 19400 toneladas, presentando una producción de 18660 toneladas, de las cuales se exportaron 9380 toneladas, pero el mercado nacional registra una importación de 65 toneladas, por lo cual el consumo aparente de esta resina fue de 9345 toneladas.

El comportamiento histórico nacional del PET se encuentra reportado en la Tabla 3.2. Con estos datos se obtuvo

TABLA 3.2 : MERCADO NACIONAL DE PET (TONELADAS)

| AÑO | CAPACIDAD INSTALADA | PRODUCCION | IMPORTACION | EXPORTACION | CONSUMO APARENTE |
|------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| 1986 | 17100 | 11550 | 170 | 7000 | 4720 |
| 1987 | 17100 | 15670 | 37 | 10570 | 5137 |
| 1988 | 19400 | 17650 | 34 | 11000 | 6684 |
| 1989 | 19400 | 18660 | 65 | 9380 | 9345 |

FUENTE : I.M.P.I (Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

la tasa de crecimiento anual promedio (TCAP) que es de 26.255, con los datos de dicha tabla y la TCAP, se realizó una proyección hasta el año 2000 y con la información de consumo aparente se hizo una regresión lineal y otra logarítmica; finalmente, con esta información se llevo a cabo una ponderación que generó un ajuste de datos mas confiable. De lo anterior se obtuvo que para el año 2000 el consumo aparente del PET será de 44860 toneladas; lo anterior se muestra en la Figura 3.2.

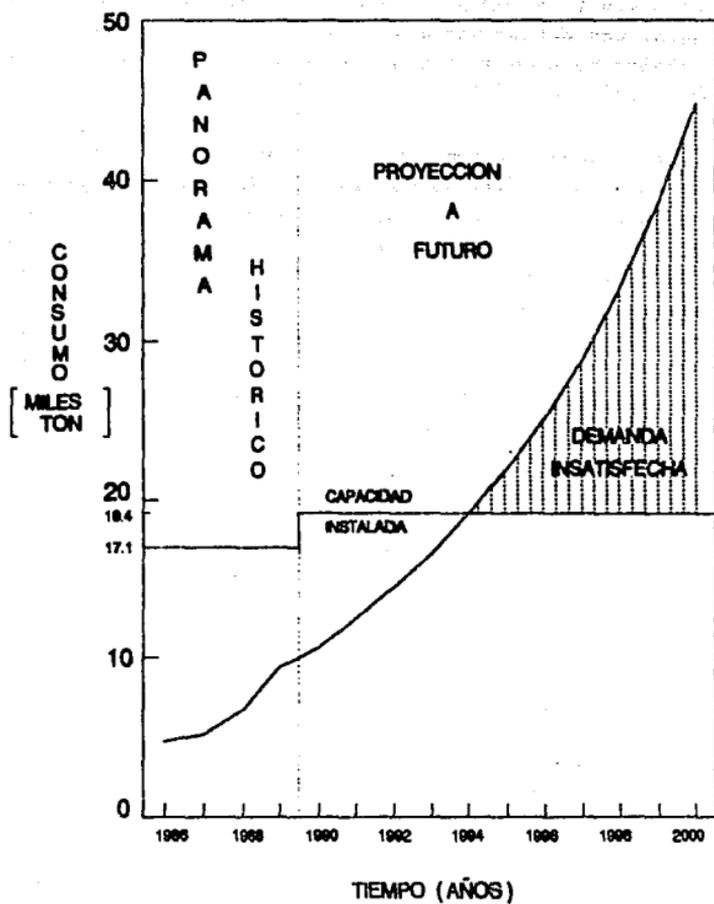
3.2 POLICARBONATOS

Los primeros datos de producción de policarbonatos se reportaron en 1960 en Estados Unidos, y fueron de apenas 450 toneladas. A partir de ese momento las cantidades producidas fueron aumentando en forma paulatina hasta que en 1976, en este país, se produjeron 88 mil toneladas. Aunque se desconoce el año exacto en que se empezó a producir el policarbonato derivado de bisfenol A, en Japón y Europa Occidental, en 1978 el consumo de estas regiones fue de 25 mil y 50 mil toneladas respectivamente.

El crecimiento promedio anual en el consumo mundial de policarbonato para el periodo de 1978 a 1985 fue aproximadamente del 9% .

La capacidad instalada a nivel mundial en 1990 fue del orden de las 650 mil toneladas por año, localizadas principalmente en tres países; Estados Unidos, Japon y Alemania Occidental. Otros países que cuentan con capacidad para producir policarbonato son Belgica, Italia, Brasil y la URSS. La empresa fabricante de policarbonato con mayor capacidad instalada a nivel mundial es GENERAL ELECTRIC PLASTICS.

FIGURA 3.2 : CONSUMO NACIONAL DE POLIESTERES



El precio de la resina policarbonato de uso general en Estados Unidos, que en 1970 fue de 1.65 dólares/Kg, para 1980 esta misma resina alcanzó los 3.17 dólares/Kg.

El consumo mundial de policarbonatos en 1977 fue de 146 mil toneladas mientras que para 1990 se incremento hasta 440 mil toneladas. Los datos estadísticos sobre el consumo se encuentran reportados en la Tabla 3.3, y su gráfica se muestra en la Figura 3.3.

A nivel nacional el consumo de las resinas policarbonato se ha cubierto en su totalidad con importaciones, ya que no existe ninguna empresa en México que la produzca, ni se ha presentado solicitud alguna para obtener el permiso petroquímico correspondiente; por lo que, por el momento, tampoco existe ningún proyecto, para producirlo en el país. Esto se debe, en parte, al hecho de que el consumo de dicha resina ha sido irregular y bajo. Los datos estadísticos del consumo nacional de policarbonatos se reportan en la Tabla 3.4 y su gráfica se muestra en la Figura 3.4.

Al no contarse con producción nacional no se realizan exportaciones de policarbonato. Sin embargo, en 1988 y 1989 la Secretaría de Programación y Presupuesto reportó exportaciones por 185 y 95 toneladas.

3.3 POLIACETALES

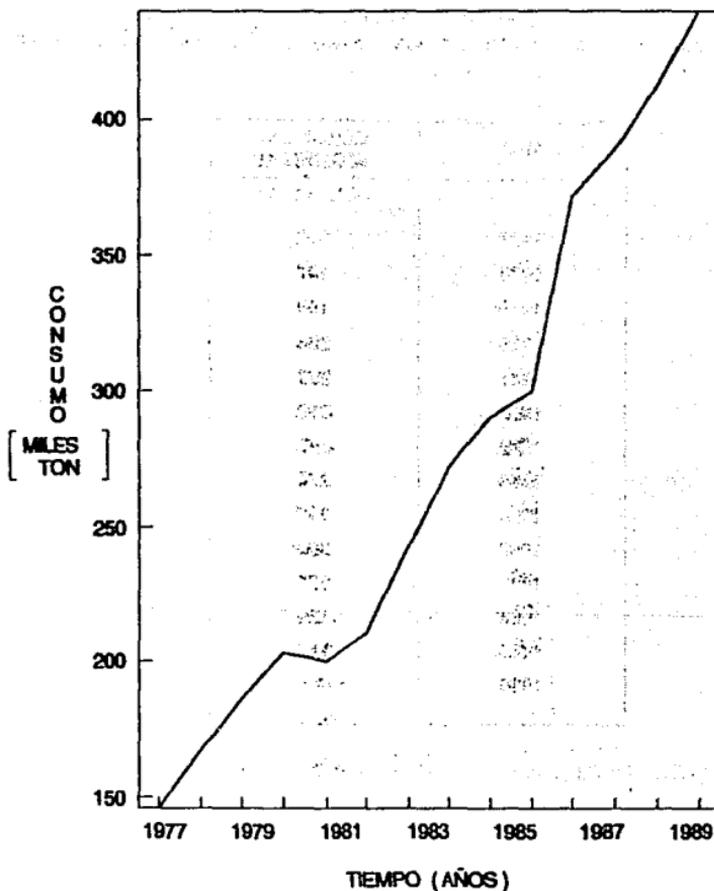
La producción a nivel mundial de poliacetales, se inició comercialmente en 1961 en Estados Unidos, mientras que al parecer la fecha correspondiente para Japón y Europa Occidental fue de 1976 y 1980, respectivamente. El consumo histórico mundial de la resina creció en promedio de un 23% anual, durante el periodo de 1975 a 1985. El consumo mundial

**TABLA 3.3 : MERCADO MUNDIAL DE POLICARBONATOS
(MILES TONELADAS)**

| AÑO | CONSUMO APARENTE |
|------------|-------------------------|
| 1977 | 146 |
| 1978 | 167 |
| 1979 | 186 |
| 1980 | 203 |
| 1981 | 200 |
| 1982 | 210 |
| 1983 | 243 |
| 1984 | 272 |
| 1985 | 290 |
| 1986 | 300 |
| 1987 | 372 |
| 1988 | 388 |
| 1989 | 412 |
| 1990 | 440 |

FUENTE: I.M.P.I (Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

FIGURA 3.3 : CONSUMO MUNDIAL DE POLICARBONATOS

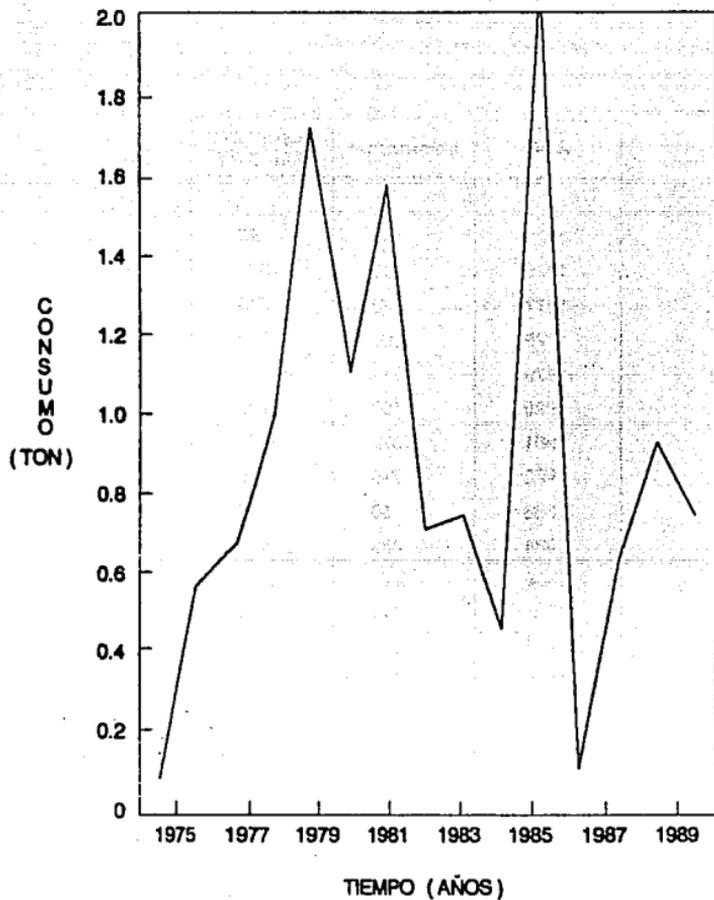


**TABLA 3.4 : MERCADO NACIONAL DE POLICARBONATOS
(TONELADAS)**

| AÑO | IMPORTACION | CONSUMO APARENTE |
|------------|--------------------|-------------------------|
| 1975 | 90 | 90 |
| 1976 | 572 | 572 |
| 1977 | 879 | 879 |
| 1978 | 1000 | 1000 |
| 1979 | 1715 | 1715 |
| 1980 | 1107 | 1107 |
| 1981 | 1572 | 1572 |
| 1982 | 715 | 715 |
| 1983 | 750 | 750 |
| 1984 | 465 | 465 |
| 1985 | 2072 | 2072 |
| 1986 | 115 | 115 |
| 1987 | 640 | 640 |
| 1988 | 1115 | 1115 |
| 1989 | 845 | 750 |

FUENTE : I.M.P.I (Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

FIGURA 3.4 : CONSUMO NACIONAL DE POLICARBONATOS



de las resinas acetálicas se incremento en 1984 aproximadamente a 330 mil toneladas, representando Europa Occidental, Estados Unidos y Japon el 77% de dicho consumo. Estos datos de consumo se encuentran reportados en la Tabla 3.5, y en la Figura 3.5.

Un aspecto que debe señalarse, es el hecho de que Japon además de ser el país con mayor índice de crecimiento en consumo doméstico, actualmente es el principal exportador de estas resinas y el aprovechamiento de su capacidad instalada en 1990 fue del 95%.

La capacidad instalada a nivel mundial en 1990 excluyendo a la URSS fue del orden de 400 mil toneladas; representando Europa Occidental el 38%, Japon el 34%, Estados Unidos el 26% y Corea el 2% de la capacidad total.

La principal empresa productora de poliacetales es HOECHST CELANESE/HOECHST con una capacidad de 115 mil toneladas, conformada regionalmente por Estados Unidos, Alemania y Japon.

En cuanto a precio de las resinas acetálicas su incremento anual promedio ha sido de 0.10 dólares. En 1990 en Estados Unidos el precio de este producto fue de 4.10 dólares/Kg.

El consumo de poliacetales a nivel mundial en 1970 fue de 24 mil toneladas, mientras que en 1990 fue de 254 mil toneladas. Estos datos de consumo se encuentran reportados en la Tabla 3.6, y en la Figura 3.6.

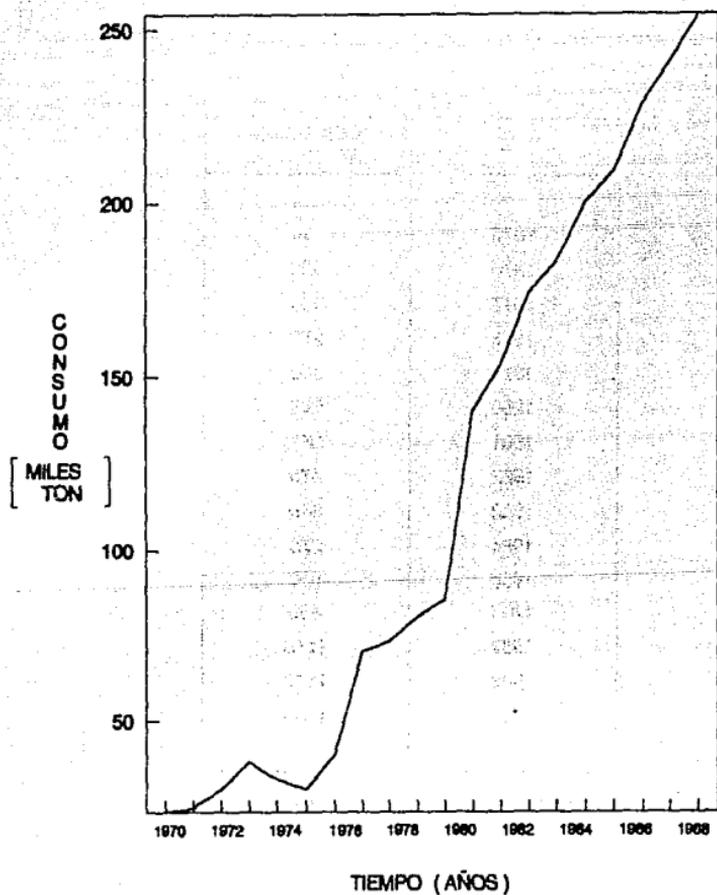
A nivel nacional no se produce la resina acetal y no existe hasta el momento ningún proyecto para producirlas, por lo que el consumo interno se cubre con importaciones. En el

**TABLA 3.5 : MERCADO MUNDIAL DE POLIACETALES
(MILES TONELADAS)**

| AÑO | CONSUMO APARENTE |
|------------|-------------------------|
| 1970 | 24 |
| 1971 | 25 |
| 1972 | 30 |
| 1973 | 38 |
| 1974 | 33 |
| 1975 | 30 |
| 1976 | 40 |
| 1977 | 70 |
| 1978 | 73 |
| 1979 | 80 |
| 1980 | 85 |
| 1981 | 140 |
| 1982 | 153 |
| 1983 | 174 |
| 1984 | 183 |
| 1985 | 200 |
| 1986 | 209 |
| 1987 | 228 |
| 1988 | 240 |
| 1989 | 254 |

FUENTE : I.M.P.I (Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

FIGURA 3.5 : CONSUMO MUNDIAL DE POLIACETALES

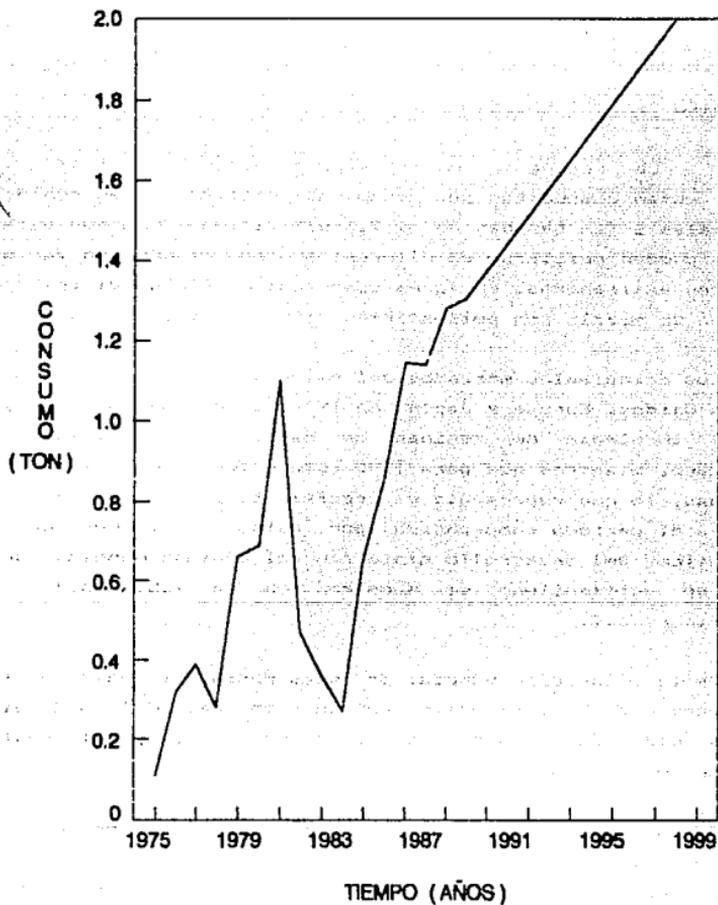


**TABLA 3.6 : MERCADO NACIONAL DE POLIACETALES
(TONELADAS)**

| AÑO | CONSUMO APARENTE |
|------------|-------------------------|
| 1975 | 110 |
| 1976 | 320 |
| 1977 | 390 |
| 1978 | 280 |
| 1979 | 660 |
| 1980 | 690 |
| 1981 | 1100 |
| 1982 | 470 |
| 1983 | 360 |
| 1984 | 270 |
| 1985 | 650 |
| 1986 | 860 |
| 1987 | 1145 |
| 1988 | 1140 |
| 1989 | 1280 |

FUENTE : I.M.P.I (Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

FIGURA 3.6 : CONSUMO NACIONAL DE POLIACETALES



periodo de 1975 a 1990 la tendencia global aunque un poco irregular, ha sido de crecimiento. Sin embargo, los niveles de dichas importaciones continúan siendo bajos.

El consumo nacional en 1975 fue de 110 toneladas y para 1990 de 1380 toneladas.

3.4 OXIDO DE POLIFENILENO

Las resinas de óxido de polifenileno o poliéster de fenilo, están compuestas por monómeros fenólicos y las resinas comerciales están basadas en el 2,6-dimetilfenol. Aunque estas resinas pueden mezclarse en diferentes proporciones con varios polímeros estirenicos, en forma comercial el PPD se distribuye en forma de mezcla con poliestireno alto impacto.

Los principales mercados del óxido de polifenileno, son Estados Unidos, Europa y Japón. En 1976 Estados Unidos produjo 40 mil toneladas de resinas de óxido de polifenileno modificado, mientras que para 1990 esta cifra llegó a 120 mil toneladas, lo que representa un crecimiento promedio anual del 8% para el periodo comprendido por estos años. Los datos estadísticos del desarrollo histórico del consumo mundial del óxido de polifenileno se muestran en la Tabla 3.7, y en la Figura 3.7.

De la producción mundial de estas resinas la mayor parte corresponde a Estados Unidos con un poco más del 55% del total seguido por Japón con cerca del 24%, y el resto corresponde a Europa.

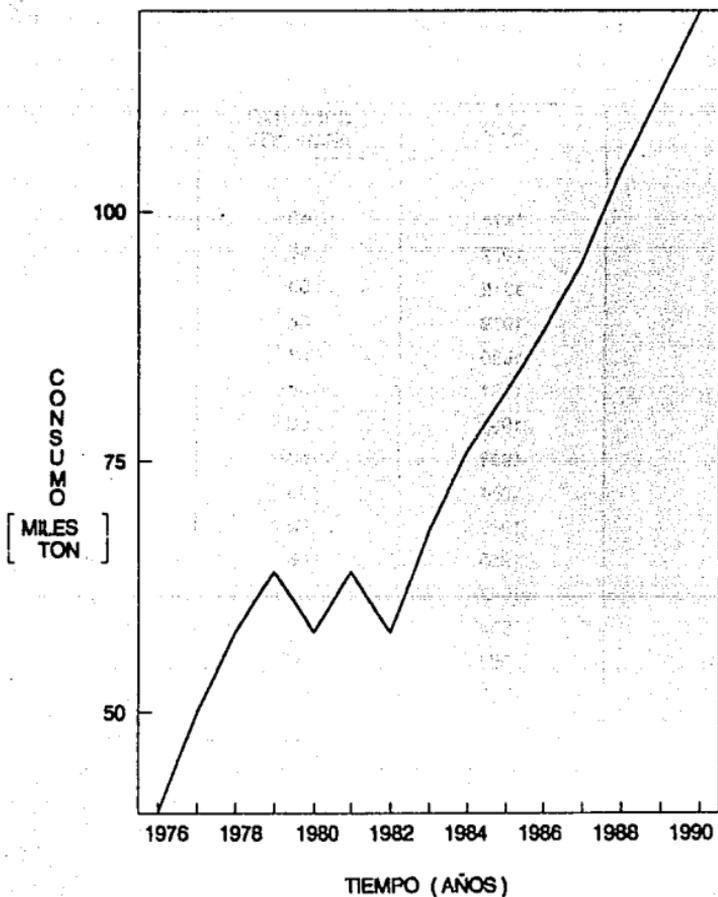
En cuanto a los precios, no se tienen los datos de la forma en que se han comparado los costos de óxido de polifenileno modificado (en forma de aleación) en años

**TABLA 3.7 : MERCADO MUNDIAL DE OXIDO DE POLIFENILENO
(MILES TONELADAS)**

| AÑO | CONSUMO APARENTE |
|------------|-------------------------|
| 1976 | 40 |
| 1977 | 50 |
| 1978 | 58 |
| 1979 | 64 |
| 1980 | 58 |
| 1981 | 64 |
| 1982 | 58 |
| 1983 | 68 |
| 1984 | 76 |
| 1985 | 82 |
| 1986 | 88 |
| 1987 | 95 |
| 1988 | 104 |
| 1989 | 112 |
| 1990 | 120 |

FUENTE : I.M.P.I (Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

FIGURA 3.7 : CONSUMO MUNDIAL DE OXIDO DE POLIFENILENO



anteriores, pero la situación en años recientes muestra que el rango de precios oscila entre 3.4 y 4.7 dólares/Kg de Óxido de polifenileno modificado.

Al igual que en otros casos, estos plásticos de ingeniería no se producen a nivel nacional ni existen proyectos para producirlos.

En 1986 las importaciones de óxido de polifenileno (en forma de resina virgen) fueron menores de 100 toneladas y en 1990 se sobrepasó esta cifra.

3.5 POLIAMIDAS

Los primeros datos de producción de resinas de nylon son para el mercado de Estados Unidos en 1965, estos datos son reportados hasta 1973. El crecimiento histórico en este renglón para el periodo comprendido entre estos años y 1982 fue de aproximadamente 8 % promedio anual en ambos mercados.

La producción mundial de poliamidas en 1982 fue cercana a las 400 mil toneladas, de las cuales 51% correspondió a las resinas de nylon 6, 39% al nylon 6,6, mientras que el 10% correspondió a las resinas de nylon 6,9, 12, 6,10 y 6,12 para ese mismo año la capacidad instalada total fue de 597 mil toneladas.

En 1985 el consumo mundial de poliamidas fue de aproximadamente 550 mil toneladas, de las cuales cerca de 500 mil correspondieron al nylon 6 y al nylon 6,6.

El consumo mundial de poliamidas se incrementó aproximadamente a 800 mil toneladas, representando Europa Occidental, Estados Unidos y Japón el 91% del consumo.

El mayor consumidor de poliamidas a nivel mundial es Europa Occidental, mostrando un crecimiento anual durante el periodo 1985-1990 de 7.3%, en Estados Unidos el crecimiento anual fue de 8.3% y en Japon un indice menor del 5.3%. Los datos estadisticos del desarrollo historico a nivel mundial de las poliamidas se presentan en la Tabla 3.8, y en la Figura 3.8.

El precio promedio de las resinas para 1990 es cercano a los 5.5 dólares/Kg y los precios de las resinas reforzadas con 30% de fibra de vidrio son entre 9 y 10% inferiores a las resinas de uso general.

Como se observa a nivel mundial, las dos poliamidas de mayor importancia (con aproximadamente el 90% del mercado total) son el nylon 6 y el nylon 6,6. El nylon 6 es producido a nivel nacional por varias empresas en su grado fibra y dos de ellas producen, aunque en pequeña cantidad, nylon 6 en su grado resina. En 1986 se produjeron aproximadamente 1500 toneladas de resina de nylon 6. Por lo que al nylon 6,6 se refiere, el consumo interno se cubre integralmente con importaciones, aunque, al igual que para el nylon 6 los niveles de dichas comportaciones son bajos, ya que entre ambos casos no se alcanzan las mil toneladas.

La capacidad instalada asciende a 7300 toneladas/año, destinándose exclusivamente a la producción de poliamida 6. El incremento mostrado en 1989 fue debido al inicio de operaciones realizadas por POLIMEROS CRISOL, S.A. .

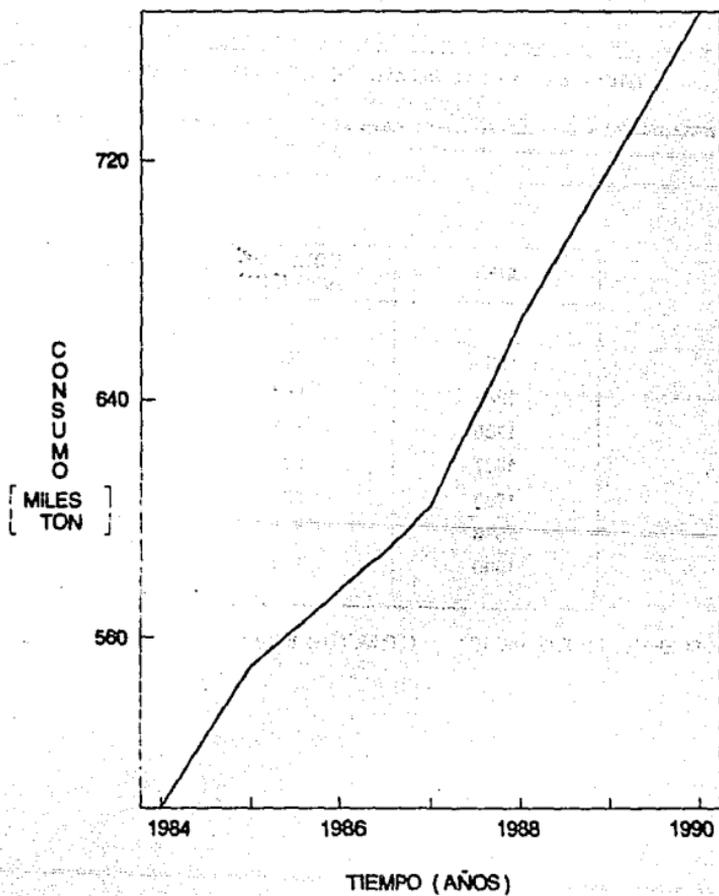
Con respecto a la producción, ésta ha mostrado durante la presente década una tendencia siempre positiva, sin embargo el crecimiento en el periodo de 1982 a 1985 se realizó a una tasa del 28.9% y en el lapso de 1985 a 1990 el aumento fue más conservador, de 14.4% anual.

**TABLA 3.8 : MERCADO MUNDIAL DE POLIAMIDAS
(MILES TONELADAS)**

| AÑO | CONSUMO APARENTE |
|------------|-------------------------|
| 1984 | 503 |
| 1985 | 550 |
| 1986 | 576 |
| 1987 | 605 |
| 1988 | 667 |
| 1989 | 718 |
| 1990 | 770 |

FUENTE : I.M.P.I (Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

FIGURA 3.8 : CONSUMO MUNDIAL DE POLIAMIDAS



La importación de poliamidas ha mostrado fluctuaciones durante el periodo analizado, reflejando una tendencia de crecimiento de 1985 a 1989 y llegando a representar en 1988 y 1989 el 45.3% y 32.6% del consumo aparente.

El consumo de las poliamidas a nivel nacional fue de 1185 toneladas en 1982, mientras que para 1990 fue de 3790 toneladas, presentando una tasa de crecimiento anual promedio (TCAP) de 16.0884 . En la Tabla 3.9 y en la Figura 3.9 se muestra el desarrollo histórico que han tenido las poliamidas a nivel nacional.

3.6 ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO

La capacidad instalada a nivel mundial hasta 1989 fue del orden de 3.4 millones de toneladas por año, localizada principalmente en Estados Unidos, Europa Occidental, Japon y en los países de Asia y el Pacifico, principalmente Taiwan.

La empresa productora de resinas ABS con mayor capacidad instalada es GENERAL ELECTRIC. Siendo Estados Unidos el mayor consumidor, mostrando un crecimiento anual durante el periodo de 1985 a 1990 del 4.6%, Europa Occidental y Japon mostraron durante el mismo periodo un crecimiento anual ligeramente superior del 4.7% .

El consumo mundial en 1981 fue de 987000 toneladas y de 15000 toneladas en 1990. En la Tabla 3.10 y en la Figura 3.10, se presentan los datos del consumo mundial que han tenido las resinas ABS.

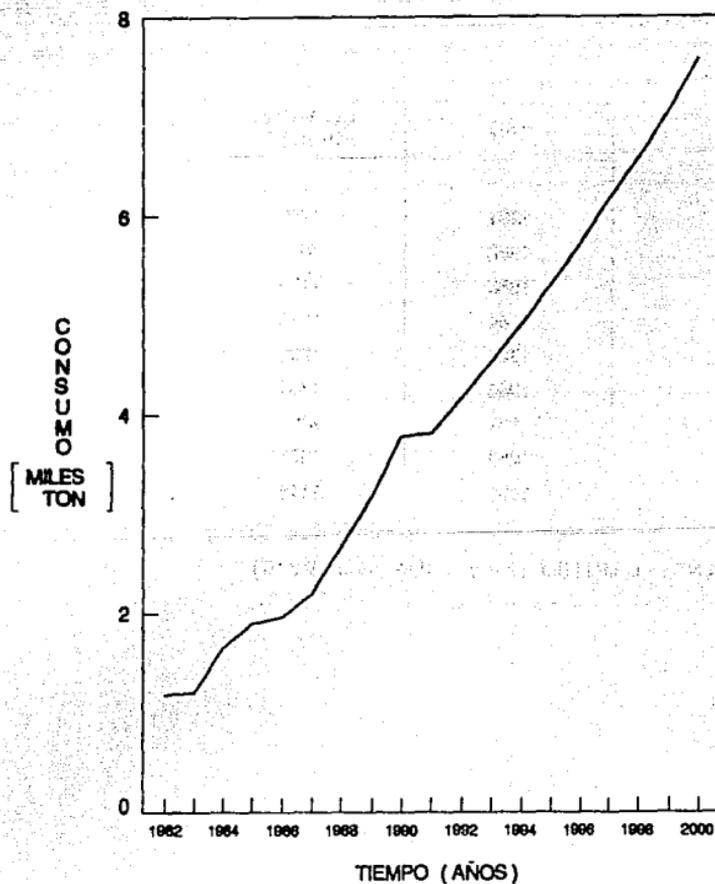
A nivel nacional la capacidad instalada asciende al orden de 15 mil toneladas/año. En 1985 las importaciones de ABS representaron el 27.2% del consumo aparente, para 1990 esta relación disminuyó al 18.5% .

TABLA 3.9 : MERCADO NACIONAL DE POLIAMIDAS (TONELADAS)

| AÑO | CAPACIDAD INSTALADA | PRODUCCION | IMPORTACION | EXPORTACION | CONSUMO APARENTE |
|------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| 1982 | 4000 | 700 | 485 | --- | 1185 |
| 1983 | 4000 | 1000 | 210 | --- | 1210 |
| 1984 | 4000 | 1400 | 250 | --- | 1650 |
| 1985 | 5500 | 1500 | 400 | --- | 1900 |
| 1986 | 5500 | 1500 | 465 | --- | 1965 |
| 1987 | 5500 | 1650 | 745 | 200 | 2195 |
| 1988 | 5500 | 1860 | 1210 | 400 | 2670 |
| 1989 | 7300 | 2570 | 1040 | 420 | 3190 |
| 1990 | 7500 | 3350 | 1890 | 450 | 3790 |

FUENTE : I.M.P.I (Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

FIGURA 3.9 : CONSUMO NACIONAL DE POLIAMIDAS

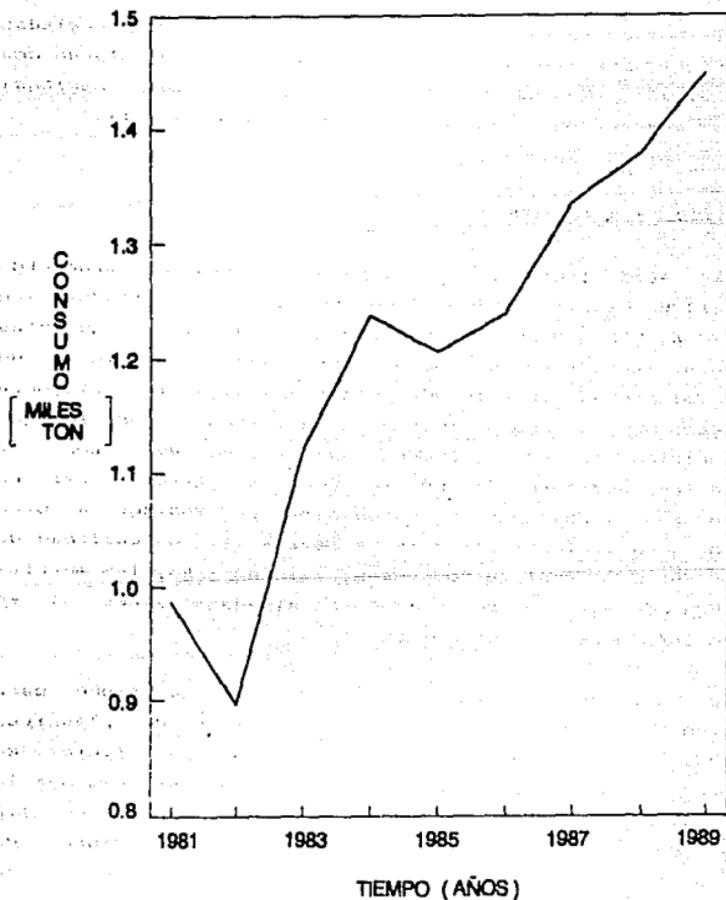


**TABLA 3.10: MERCADO MUNDIAL DE ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO
(MILES TONELADAS)**

| AÑO | CONSUMO APARENTE |
|------------|-------------------------|
| 1981 | 987 |
| 1982 | 897 |
| 1983 | 1120 |
| 1984 | 1238 |
| 1985 | 1206 |
| 1986 | 1239 |
| 1987 | 1334 |
| 1988 | 1378 |
| 1989 | 1448 |

FUENTE : I.M.P.I (Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

**FIGURA 3.10 : CONSUMO MUNDIAL DE ACRILONITRILO
BUTADIENO ESTIRENO**



En 1989 las exportaciones efectuadas representaron el 30% de la producción nacional. Se considera que los volúmenes destinados al comercio exterior se incrementaron en forma importante por la adición productiva de POLIMAR, S.A. a partir de 1990.

El consumo registrado en 1981 fue de 10500 toneladas mientras que para 1990 fue de 12900 toneladas, presentando una TCAP de 3.8225. Los datos estadísticos del consumo nacional de ABS se muestra en la Tabla 3.11 y en la Figura 3.11.

3.7 MEZCLAS Y ALEACIONES

Las estadísticas de mercado para este tipo de productos es difícil de reunir, debido a que los datos publicados son ambiguos, puesto que pueden caer dentro de los siguientes grupos: las mezclas que son hechas por grandes productores de propios polímeros, son a menudo reportadas bajo la categoría de polímero mayor, como si fueran homopolímeros, por lo que la producción de ese polímero está exagerada por la cantidad de polímero de mezcla que se agregó. Existen polímeros reportados por su productor y vendidos a otro productor para la fabricación de la mezcla, la contabilidad de este producto se realiza dos veces, sin embargo, las mezclas realizadas por el grupo de mezcladores algunas veces no se reportan como productos primarios.

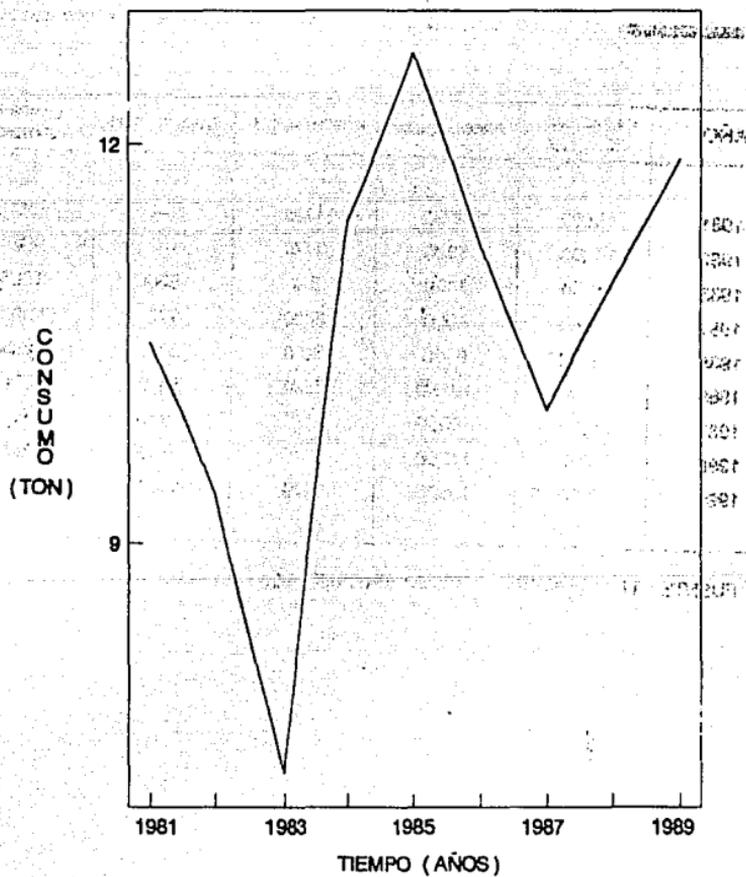
Por regiones, la mayor cantidad de datos se tiene para el mercado de Estados Unidos, cuya producción de plásticos para 1983 fue de 14.5 millones de toneladas tanto de homopolímeros como copolímeros. La cifra reportada como mezcla fue de 1.4 millones de toneladas y además, cerca de 1.6 millones de toneladas se usaron en la manufactura de plásticos con rellenos y alrededor de 0.6 millones de

**TABLA 3.11: MERCADO NACIONAL DE ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO
(TONELADAS)**

| AÑO | CAPACIDAD INSTALADA | PRODUCCION | IMPORTACION | EXPORTACION | CONSUMO APARENTE |
|------|------------------------|------------|-------------|-------------|---------------------|
| 1981 | 15000 | 9200 | 1310 | --- | 10510 |
| 1982 | 15000 | 8200 | 1170 | --- | 9370 |
| 1983 | 15000 | 7400 | 390 | 530 | 7260 |
| 1984 | 15000 | 9000 | 3400 | 975 | 11425 |
| 1985 | 15000 | 9800 | 3450 | 570 | 12680 |
| 1986 | 15000 | 10100 | 2460 | 1320 | 11240 |
| 1987 | 15000 | 10300 | 2195 | 2500 | 9995 |
| 1988 | 15000 | 11200 | 2140 | 2395 | 10945 |
| 1989 | 25000 | 13500 | 2420 | 4040 | 11880 |

FUENTE : I.M.P.I (Ref. 19) y C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

**FIGURA 3.11 : CONSUMO NACIONAL DE ACRILONITRILO
BUTADIENO ESTIRENO**



toneladas se utilizaron para plásticos reforzados. Del total empleado para mezclas, cerca del 90% fueron de polietileno y cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno de alto impacto y resinas ABS y sólo 157000 toneladas pueden ser clasificadas como del tipo de mezclas termoplásticas.

Durante 1985, las estimaciones consideran una producción de mezclas termoplásticas de entre 3.2 y 4.1 millones de toneladas con un crecimiento probable del 17% hasta 1990.

Con mucho margen de diferencia, la mezcla líder con casi la mitad del valor de ventas en Estados Unidos es la mezcla de óxido de polifenileno y poliestireno, en orden de importancia le siguen las mezclas de nylon modificado, mezclas de ABS y PVC, mezclas de policarbonatos y mezclas de poliésteres.

Los precios de algunas mezclas varían entre dos y cuatro dólares/Kg. Aunque los precios varían considerablemente, los factores más importantes en ellos son la composición de la mezcla y el tamaño del lote. En general se puede decir que los grados coloreados, retardantes a la flama, grados con aplicaciones en alimentos, grados de alto impacto y los grados de alta temperatura son los más caros; en cuanto a los precios de los grados rellenos o reformados pueden ser más altos o más bajos dependiendo del costo del aditivo.

Un aspecto importante en la evaluación económica de un proyecto, es la tecnología mediante la cual se obtiene el producto deseado. Para que el costo de éste sea el óptimo es necesario hacer una buena elección de la tecnología que se empleará. Lo anterior se llevará a cabo en capítulo siguiente.

CAPITULO IV

TECNOLOGIA DEL POLIETILENTEREFTALATO

En el presente capítulo, se muestran distintas rutas para la producción de PET. De estas rutas, se hace una breve descripción del proceso, se presentan tablas de consumos unitarios de materias primas y servicios auxiliares, así como, los costos de inversión de cada una de estas; para posteriormente con todo ello poder realizar la elección del proceso más óptimo en cuanto al aspecto económico, apoyándose además, en gráficas donde se muestran los montos de inversión requeridos para la instalación de una planta productora de PET, para distintas capacidades, así como sus costos de producción. Una vez elegido el proceso de producción, se determina la capacidad de la planta, partiendo de la demanda insatisfecha obtenida de la proyección.

4.1 ANALISIS GENERAL DE LAS RUTAS PARA PRODUCIR PET

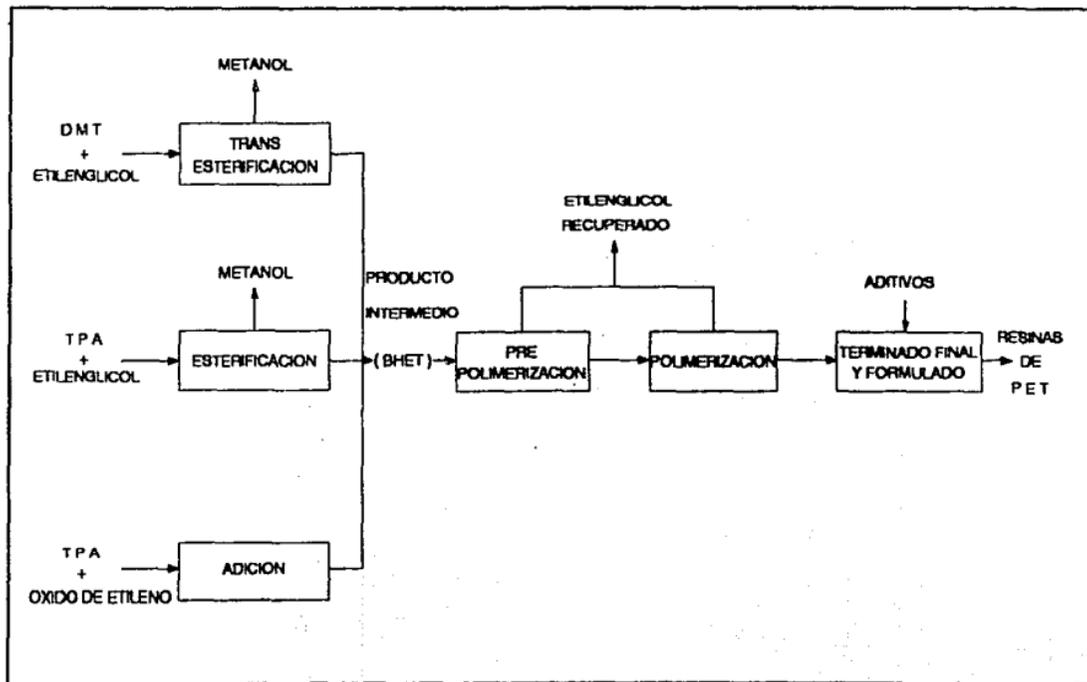
Tal como se muestra en la Figura 4.1, las alternativas de procesamiento existentes difieren solamente en la primera etapa, en la que se produce el intermediario bis (2-hidroxietil)-tereftalato (BHET). A partir de esta etapa las operaciones necesarias para obtener el polímero final son: prepolimerización,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

En el primer caso la primer etapa es la reacción de transesterificación:



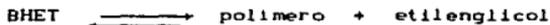
Para desplazar el equilibrio a la derecha, la reacción se lleva a cabo bajo condiciones que volatilicen el metanol y que pueda eliminarse fácilmente de los reactores de

FIGURA 4.1 : RUTAS ALTERNATIVAS EN LA OBTENCION DE P E T



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 atmosférica, hasta alcanzar 1 mm Hg, con temperaturas que van de 230 a 285°C.



El etilenglicol formado se elimina como vapor conforme avanza la reacción. El peso molecular obtenido en este paso es de aproximadamente 6000.

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

Cuando se utiliza la segunda ruta la reacción inicial es la esterificación.



Nuevamente la reacción se efectúa bajo condiciones que permiten desplazar el equilibrio a la derecha, volatilizar y eliminar al agua producida; la presión es usualmente mayor a 1 atm. con temperaturas de 200-260°C.

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



Que se efectua en un medio organico (usualmente benceno), y utiliza una amina como catalizador (trietanol amina), a una temperatura de 116°C y presiones superiores a la atmosférica (16 Kg/cm²). Esta reaccion es seguida por la reaccion de policondensación:



Y ocurre a una presión cercana a la atmosférica y una temperatura de 250°C.

La polimerización y demás etapas subsecuentes son similares a las de las rutas anteriores. Esta última ruta ha tenido, hasta ahora una aplicación limitada a escala comercial.

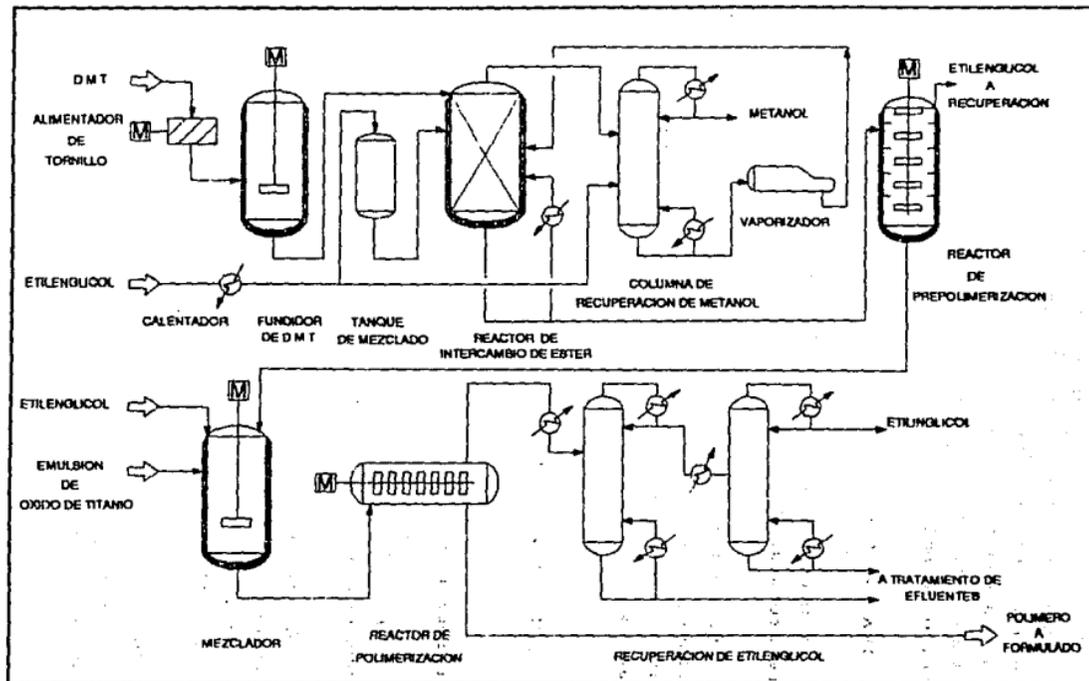
4.2 PET A PARTIR DE DMT Y ETILENGLICOL

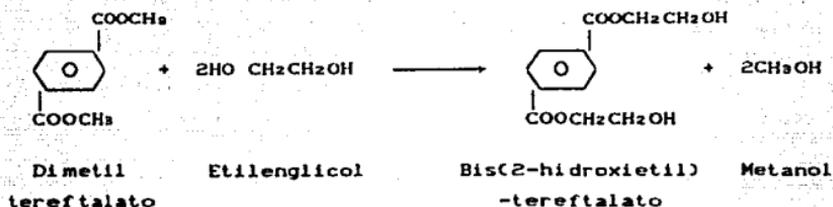
Descripción del proceso:

En la Figura 4.2 se muestra un diagrama de proceso para la obtención de PET a partir de DMT y etilenglicol.

El dimetil tereftalato (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 ester. El etilenglicol del almacenamiento se calienta y se divide en dos partes, una pasa a la torre de recuperación de metanol y la otra parte se alimenta al tanque de mezclado con catalizador. El efluente de este mezclador pasa al reactor de intercambio de ester donde se tiene lugar la reacción:

FIGURA 4.2 : PRODUCCION DE PET APARTIR DE DIMILTEREFTALATO Y ETILENGLICOL





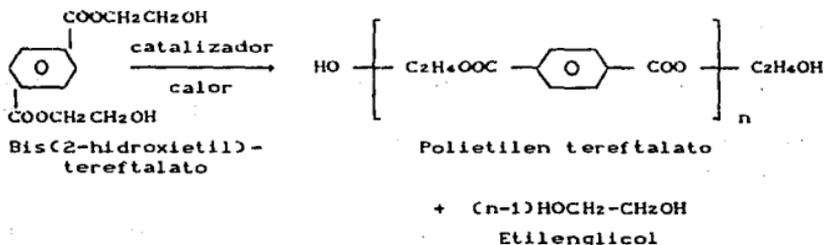
La relación de alimentación etilenglicol:DMT es de 2:1, el tiempo de residencia del líquido es de cerca de 2.5 horas y la conversión del DMT es mayor de 99%. Este reactor es en realidad una columna de platos que opera a una presión atmosférica y a una temperatura de 170°C en el domo, y de 234°C en los 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 DMT la 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 273°C en los fondos y utiliza trióxido de antimonio como catalizador; en estos reactores se obtiene etilenglicol por la parte superior, el cual se manda a purificar para ser recirculado; y un prepolymero de un peso molecular promedio aproximadamente de 6000.

El prepolimero obtenido se mezcla con una corriente de óxido de titanio en emulsión y se alimenta a los reactores de polimerización a 273°C .

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



El polimero se envía a manejo de efluentes y formulado final. El etilenglicol obtenido tanto en la prepolimerización 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 se obtiene el etilenglicol de la concentración necesaria para recircularse.

- Consumo unitario de materia prima y de servicios auxiliares:

Los consumos unitarios requeridos para obtener una tonelada de polietilentereftalato a partir del DMT y el etilenglicol mediante el proceso descrito anteriormente, tanto de materia prima como de servicios auxiliares se muestra en la Tabla 4.1.

- Costos de inversión y perspectivas:

En la Tabla 4.2 se presentan los costos de inversión para tres tamaños de planta diferentes, a precios de Junio de 1987, las cuales utilizan el proceso antes descrito.

4.3 PET A PARTIR DE ACIDO TEREFTALICO Y ETILENGLICOL

En la Figura 4.3 se muestra un esquema simplificado de las condiciones de producción del Bis(2-hidroxietil) tereftalato (BHET) de proceso para obtener polietilentereftalato a partir del ácido tereftálico (TPA) y etilenglicol.

El proceso inicia al introducir el TPA mediante alimentadores tipo "tornillo" al reactor(es) en los que se produce el BHET, junto con el etilenglicol el cual se precalienta hasta una temperatura de 232°C antes de su entrada a dicho(s) reactor(es), en el(los) reactor(es) la presión requerida es de 4.5 Kg/cm² y se efectúa la siguiente reacción:

**TABLA 4.1 : CONSUMO UNITARIO EN LA PRODUCCION DE PET
A PARTIR DE DMT Y ETILENGLICOL**

| CONCEPTOS | CONSUMO POR TONELADA |
|-----------------------------|-------------------------|
| MATERIAS PRIMAS | |
| DMT | 1.001 TON |
| ETILENGLICOL | 0.3594 TON |
| OXIDO DE TITANIO | 0.0042 TON |
| SERVICIOS AUXILIARES | |
| AGUA DE ENFTO. | 53 m ³ |
| VAPOR | 1.4 TON |
| ELECTRICIDAD | 165 Kw-Hr |
| GAS INERTE | 24 nm ³ |
| GAS NATURAL | 994 Koal |
| SUBPRODUCTOS | |
| METANOL | 0.3374 TON |

NOTA : NO SE INCLUYEN CONSUMOS DE CATALIZADORES Y OTROS
ADITIVOS COMO ESTABILIZANTES O AGENTES ANTIOXIDANTES.

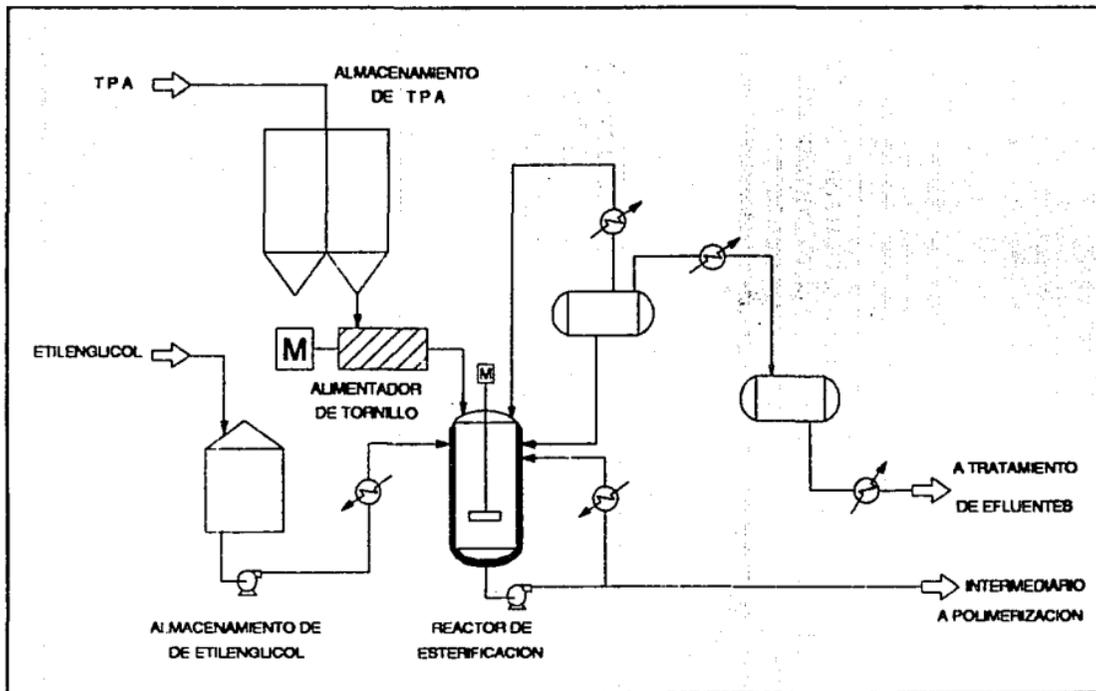
FUENTE : C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

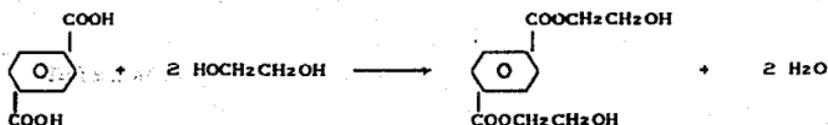
**TABLA 4.2 : COSTOS DE INVERSION PARA UNA PLANTA DE PET
A PARTIR DE DMT Y ETILENGLICOL
(MILLONES DE DOLARES)**

| CONCEPTOS | CAPACIDAD INSTALADA (TON / AÑO) | | |
|----------------------|--------------------------------------|----|----|
| | 20 | 40 | 80 |
| LIMITES DE BATERIA | 18 | 29 | 47 |
| SERVICIOS AUXILIARES | 12 | 21 | 37 |
| CAPITAL FIJO TOTAL | 30 | 50 | 84 |

FUENTE : C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

FIGURA 4.3 : PRODUCCION DE PET APARTIR DE T P A Y ETILENGLICOL





Acido
tereftálico

Etilenglicol

Bis(2-hidroxi-etil)-
tereftalato

Agua

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

- Consumo unitario de materias primas y servicios auxiliares:

Los consumos unitarios tanto de materias primas como de servicios auxiliares, requeridos para producir una tonelada de PET, mediante el proceso descrito se muestra en la Tabla 4.3.

- Costos de inversión y perspectivas:

Los costos de inversión reportados para Junio de 1987, para tres tamaños de planta diferente para el proceso antes descrito, se muestra en la Tabla 4.4.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

**TABLA 4.3 : CONSUMO UNITARIO EN LA PRODUCCION DE PET
A PARTIR DE TPA Y ETILENGLICOL**

| CONCEPTOS | CONSUMO POR TONELADA |
|-----------------------------|-------------------------|
| MATERIAS PRIMAS | |
| TPA | 0.8563 TON |
| ETILENGLICOL | 0.3594 TON |
| OXIDO DE TITANIO | 0.0042 TON |
| SERVICIOS AUXILIARES | |
| AGUA DE ENFTO. | 54 m ³ |
| VAPOR | 1.1 TON |
| ELECTRICIDAD | 163 Kw-Hr |
| GAS INERTE | 24 nm ³ |
| GAS NATURAL | 1.556 Kcal |

NOTA : NO SE INCLUYEN LOS CONSUMOS DE CATALIZADOR NI
DE ADITIVO.

FUENTE : C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

**TABLA 4.4 : COSTOS DE INVERSION PARA UNA PLANTA DE PET
A PARTIR DE TPA Y ETILENGLICOL
(MILLONES DE DOLARES)**

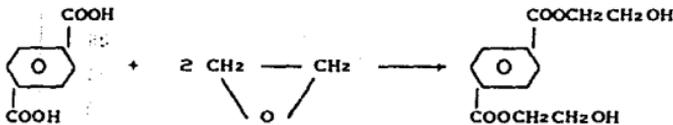
| CONCEPTOS | CAPACIDAD INSTALADA (MILES DE TON) | | |
|----------------------|---|----|----|
| | 20 | 40 | 80 |
| LIMITES DE BATERIA | 18 | 26 | 39 |
| SERVICIOS AUXILIARES | 12 | 20 | 34 |
| CAPITAL FIJO TOTAL | 30 | 46 | 73 |

FUENTE : C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

4.4 PET A PARTIR DE ACIDO TEREFTALICO 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 el 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 óxido de etileno - benceno de recirculación, junto con el catalizador (trietanolamina); la mezcla en emulsión formada se alimenta al reactor de TPA - OE. Una parte adicional de óxido de etileno se agrega directamente del almacenamiento.

El reactor utilizado es un tanque agitado provisto de una chaqueta y unas bobinas internas de enfriamiento para remover el calor de reacción. Las condiciones de reacción son $T = 115^{\circ}\text{C}$ y $P = 16 \text{ Kg/cm}^2$ con un tiempo de residencia de cerca de 100 minutos. La reacción principal es:



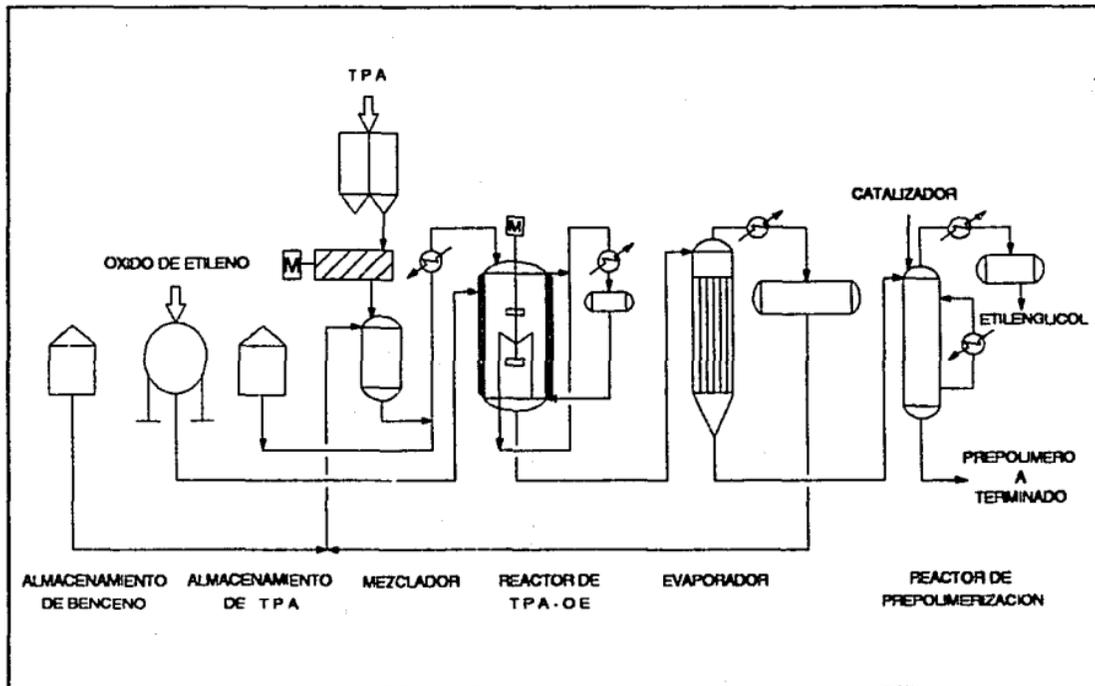
Acido tereftálico

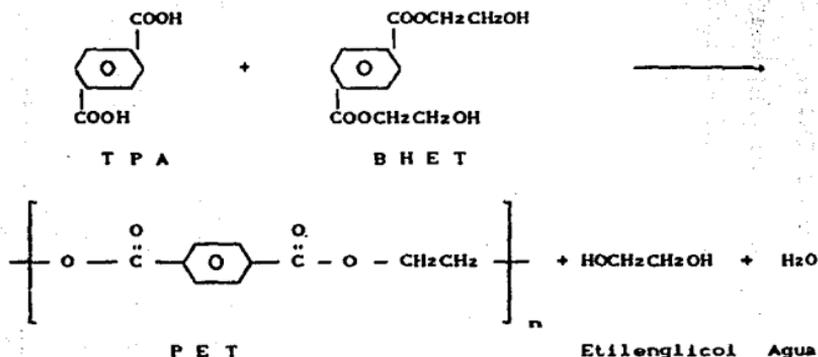
Oxido de etileno

Bis(2 hidroxietil) tereftalato

En la chaqueta del reactor se evapora benceno (enfriando la reacción), cerca del 60 por ciento de TPA se transforma en BHET. El efluente del reactor se pasa a través de un evaporador para eliminar la mayor parte de OE y benceno remanentes, para enviarse posteriormente a un segundo reactor en donde se produce la reacción:

FIGURA 4.4 : PRODUCCION DE PET APARTIR DE TPA Y OXIDO DE ETILENO





Este segundo reactor trabaja a una temperatura de 250°C y una presión de 1 Kg/cm² y tiene un tiempo de residencia aproximadamente de dos horas; el prepolimero producido hasta este momento, con un peso molecular promedio de 2000 pasa a la sección de polimerización y el proceso continúa en una forma similar a la del proceso de DMT descrito anteriormente. Como se mencionó antes, este proceso no se ha implementado a escala comercial por lo que no se tienen los datos de consumos unitarios ni los costos asociados al mismo.

4.5 SELECCION DEL PROCESO

Como se mencionó anteriormente, el proceso que parte de TPA y óxido de etileno tiene una aplicación a escala comercial limitada, por lo que en este punto sólo se hará la comparación entre los dos procesos restantes.

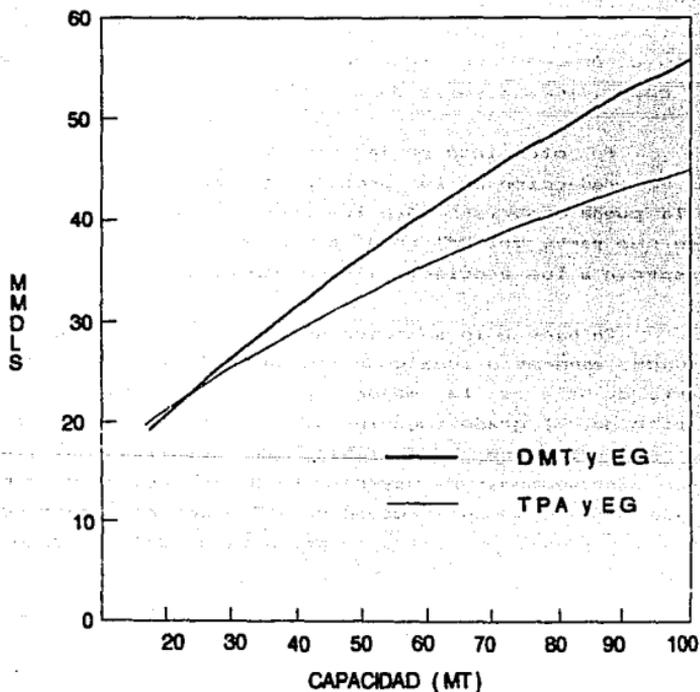
Dado que los dos procesos analizados además de presentar una complejidad tecnológica similar, da como resultado un producto de características similares, el criterio de selección será el económico.

La Figura 4.5 muestra los montos de inversión requeridos en la instalación de una planta de PET que utiliza los procesos de etilenglicol con DMT o TPA. Como puede observarse, la inversión (en límites de batería) para una planta que parte de DMT como materia prima, resulta entre un 3 y un 21% más elevado, dependiendo de la capacidad instalada de la misma. Aunque como se desprende de la misma figura, la diferencia con respecto al proceso que parte del TPA se hace significativa sólo a capacidades mayores de 30 ó 40 mil toneladas.

Por otro lado en la Figura 4.6 se comparan los costos de producción de los procesos que parten de DMT y TPA, en ella puede observarse que los costos de producción en el proceso que parte del DMT resultan menores entre un 8 y 23%, con respecto a los asociados al proceso de TPA.

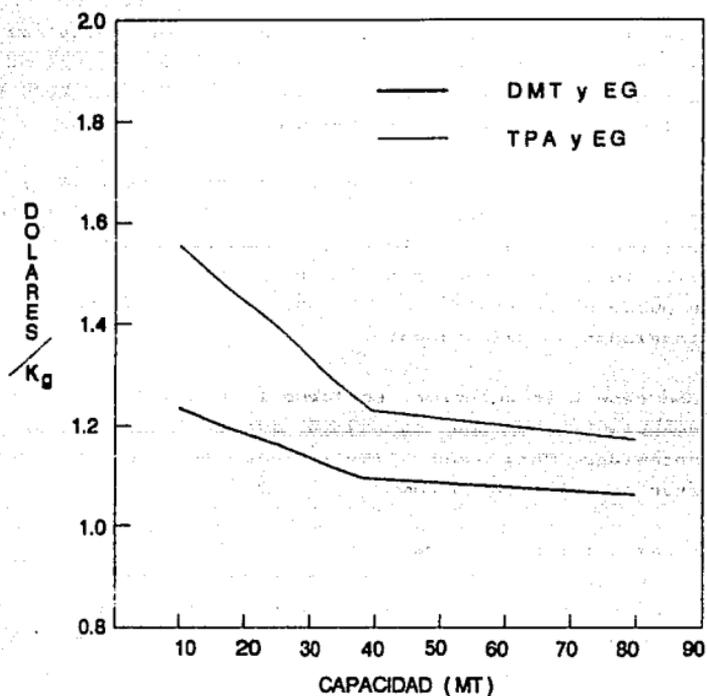
En base a lo anterior se puede concluir que para capacidades menores o iguales a las 30000 Ton/Año el proceso que parte de DMT es la mejor opción tecnológica para la producción de PET grado ingeniería. Para capacidades mayores a ésta se requiere de un análisis más detallado a fin de ponderar adecuadamente el mayor costo de inversión y menores costos de producción del proceso de DMT y con el menor costo de inversión y mayores costos de producción del proceso que parte del TPA.

FIGURA 4.5
INVERSION REQUERIDA (EN L. B.)
EN LOS DIFERENTES PROCESOS DISPONIBLES
EN LA PRODUCCION DE P E T



FUENTE: C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

FIGURA 4.6
COSTOS DE PRODUCCION DE LOS
DIFERENTES PROCESOS EXISTENTES
PARA PRODUCIR P E T



SE CONSIDERA UN APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD DEL 100 %

FUENTE : C.P.M. (Ref. 8,9 y 10)

4.6 CAPACIDAD DE PRODUCCION

De acuerdo al estudio de mercado que se realizó para los diferentes plásticos se observa que en algunos casos este no es del todo confiable, debido en ocasiones, a la falta de información o a que los ajustes efectuados no son muy exactos.

En el caso del plástico de interés para el presente trabajo, se cuenta con mayor información y un ajuste de datos más confiable. Así, se tiene que la capacidad instalada a nivel nacional en 1990 es de 19400 toneladas con lo cual no se alcanza a cubrir la demanda que se espera para el año 2000 que será de 44860 toneladas aproximadamente.

Una comparación entre la capacidad instalada y el consumo aparente se muestra en la Figura 3.2, del capítulo anterior; contemplándose tanto el panorama histórico como el panorama a futuro de acuerdo a la proyección realizada, en ella se puede observar la demanda insatisfecha, la cual es de 25460 toneladas aproximadamente.

Con base a lo anterior, se tiene la necesidad de crear una nueva planta con una capacidad adecuada que satisfaga dicha necesidad. Para poder llevar a cabo esto es necesario considerar aspectos tales como:

- Demanda insatisfecha.
- Empresas productoras existentes en el país.
- Capacidad instalada de las empresas existentes.
- Proyectos de ampliación de las empresas existentes.
- Métodos de producción.
- Exportaciones.
- Alto consumo inesperado.

Ya que la demanda insatisfecha es de 25460 toneladas aproximadamente, es bueno pensar que la capacidad de producción debiera ser un valor cercano a esta demanda, pero se tiene que considerar las empresas ya existentes, CELANESE MEXICANA y KIMEX, S.A., que tienen una capacidad instalada de casi 20 mil toneladas entre ambas. Estas empresas contemplan ampliaciones futuras en sus plantas; por parte de CELANESE MEXICANA con un proyecto de incrementar en un 30% su capacidad actual y KIMEX podría triplicar su capacidad total, con lo cual se tendría una producción de 45 mil toneladas aproximadamente, lo que hace pensar que con esto se cubriría la demanda insatisfecha. Pero se observa que la demanda de esta resina muestra una tendencia de crecimiento importante; se estima que durante el periodo 1991-1993 el índice de crecimiento fluctue entre 30 y 35% anual, aumentando este porcentaje en años posteriores por las nuevas presentaciones de los productos de diferentes empresas, por ejemplo en la industria embotelladora y la automotriz.

Se considera conveniente que la capacidad de producción de la nueva planta sea de 25 mil toneladas, que sumadas a la producción de las otras empresas cubrirán la demanda insatisfecha, las exportaciones y las alzas inesperadas que se presenten.

En el siguiente capítulo se desarrollará la Ingeniería Básica para una planta productora de PET, para la capacidad y proceso seleccionados en este capítulo.

CAPITULO V

INGENIERIA BASICA DE LA PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

En este capítulo, se realiza la Ingeniería Básica de la planta productora de PET. Desarrollándose puntos como la localización de la planta, las bases de diseño, donde se engloban aspectos generales del proyecto. Se realiza la descripción detallada del proceso, así, como su diagrama de flujo de proceso el cual involucra el balance de materia y energía y la lista de equipo, esta última contiene las características principales de cada equipo, generadas por el predimensionamiento de éste.

La Ingeniería Básica es la primer etapa en el desarrollo de proyectos de instalación industrial. Esta etapa, normalmente es en la que se sustentan las etapas subsecuentes e interrelación del diseño y adquisición del equipo, así como el manejo y operación de las instalaciones industriales. En esta etapa se generan los siguientes documentos:

- Diagrama de Flujo de Proceso (DFP).
- Balances de Masa y Energía (BME).
- Requerimiento de Servicios Auxiliares.
- Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI).
- Plano de Localización General de Equipo.
- Hojas de Datos de Equipos e Instrumentos.
- Criterios de Diseño.
- Filosofías Básicas de Operación.
- Especificación de Materiales de Tuberías.
- Descripción del Proceso.
- Plano de Simbología.

Con lo que respecta a este trabajo, en este capítulo sólo se tratarán los dos primeros puntos, además del predimensionamiento del equipo principal involucrado en el proceso; ya que esta información es suficiente para llevar a cabo la estimación del costo del equipo lo cual será la base para estimar la Inversión Fija.

5.1 LOCALIZACION DE LA PLANTA

La localización correcta de una planta es tan importante para su buen éxito como la selección del proceso. Debe estudiarse cuidadosamente no sólo la mayoría de los factores tangibles, como la disponibilidad de mano de obra y las fuentes de materia prima, sino también, un gran número de factores intangibles que son más difíciles de evaluar.

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 de Comunidad
- Control Ambiental

Estos factores contemplan diversas características que en conjunto hacen una buena selección del lugar para la localización de la planta. A continuación se darán algunas características o parámetros que debe cubrir cada uno de los factores antes mencionados.

MERCADO.— De acuerdo a las características que presente el producto, es necesario contemplar aspectos como la localización de los sectores de 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 la materia prima, disponibilidad, costo, importaciones y en algunos casos, productos sustitutos de ella.

ASPECTOS FISCALES.- Estos aspectos son la base del Plan Nacional de Desarrollo Industrial, el cual pretende la descentralización de la actividad económica, encaminando las inversiones hacia las costas, fronteras y otras localidades que puedan 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 por el Plan Nacional de Desarrollo Urbano, las zonas consideradas como prioritarias, presentan diferentes programas de estímulos.

En general se tienen clasificadas tres zonas como prioritarias.

ZONA I.- En ella están consideradas fronteras y costas; esta zona presenta los estímulos preferenciales y comprende cuatro puertos, un centro motriz y once ciudades.

ZONA II.- De prioridad estatal, la cual no tiene ventajas fiscales.

ZONA III.- De crecimiento controlado.

La zona I se divide en dos, zona I-A y zona I-B.

ZONA I-A.- (De prioridad para el desarrollo portuario-industrial) Cuenta con incentivos como un 30% de descuento en los siguientes servicios y productos básicos: energía eléctrica, combustóleo, gas natural y petroquímicos

básicos. Esta zona comprende los estados de Michoacán, Oaxaca, Tamaulipas y Veracruz.

ZONA I-B.- (De prioridad para el desarrollo urbano-industrial) Solo tiene un descuento del 10% en los productos básicos, mencionados anteriormente. Esta zona comprende los estados de Aguascalientes, Baja California Norte y Sur, Campeche, Coahuila, Colima, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Zacatecas.

ZONA II.- (De máxima prioridad estatal) Comprende los mismos estados que la zona I-B pero distintos municipios, además, comprende el Estado de México, Tabasco y Morelos.

ZONA III.- (De ordenamiento y regulación) Se divide en dos zonas.

ZONA III-A.- Area de crecimiento controlado. Comprende el Distrito Federal, Hidalgo y el Estado de México.

ZONA III-B.- Area de consolidación. Comprende el Estado de México, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Nuevo León, Puebla y Tlaxcala; Esta zona solo considera los municipios de máxima población.

AGUA.- Debe considerarse la disponibilidad y los tratamientos que deberán dársele a ésta; así como la calidad, confiabilidad y los costos que esto implica.

ENERGIA ELECTRICA Y COMBUSTIBLE.- Este factor es de suma importancia ya que la carencia de él imposibilitaría el

establecimiento de una planta; por lo que debe realizarse un estudio económico de confiabilidad y optimización de operación, para ver la disponibilidad de estos en la zona.

MEDIOS DE TRANSPORTE.- Es conveniente verificar la existencia de carreteras, vías férreas, aéreas, fluviales y marítimas; características, confiabilidad y costos de estas.

CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.- Este aspecto incluye condiciones de temperatura y humedad, frecuencia de temblores, vientos reinantes y vientos dominantes, así como la altura sobre el nivel del mar.

MANDO DE OBRA.- Se debe considerar la disponibilidad de los recursos humanos, su capacitación y costos que esto implica.

DESARROLLO DEL LUGAR.- Este punto considera las características del terreno, vías de comunicación y la posibilidad de futuras ampliaciones.

FACTORES DE LA COMUNIDAD.- Debe contemplarse la existencia o posible creación de servicios asistenciales para la comunidad como son: vivienda, centros de salud, educativos, recreativos y de seguridad.

CONTROL AMBIENTAL.- Implica la revisión y cumplimiento de las normas de salud como son: las normas para la prevención de la contaminación, control de desechos, etc.; así como también, el cumplimiento de la legislación local.

Para la localización de la planta productora de PET, los primeros factores a considerar son: la localización de los proveedores de materia prima y el sector consumidor.

En cuanto a productores de materia prima, se tiene empresas como son: PROVE-QUIM S.A. de C.V., QUIMIVAN S.A. de C.V., NEGOCIACIONES ALVI S.A., SOLVENTES Y PRODUCTOS QUIMICOS, S.A., QUIMICA HERCULES S.A. de C.V., CONSORCIO PETROQUIMICO S.A., etc.; Los cuales se localizan en los estados de Jalisco, Guanajuato, Nuevo León, Querétaro, Puebla, Coahuila, Sonora y Estado de México.

Por lo que respecta al sector consumidor, el mayor porcentaje se tiene en las zonas centro y norte del país. Por estas razones se considera que las zonas I-B, II, III-A y III-B, tienen mayores posibilidades para la localización de la planta.

Como ya se mencionó anteriormente, las zonas III-A y III-B, corresponden a la clasificación de ordenamiento y regulación, lo que imposibilita el establecimiento de la planta en estas zonas; quedando así, únicamente las zonas I-B y II; de las cuales, la zona I-B cuenta con un estímulo fiscal, por lo que se elige esta zona para el establecimiento de la planta.

Para los estados que comprende la zona I-B se realiza un análisis de los servicios con los que cuenta cada uno de ellos; este se presenta en la Tabla 5.1. Para la localización de la planta se toman en cuenta los estados comprendidos entre las zonas centro y norte del país; esto debido a la localización de los consumidores y proveedores de materia prima. Y dado que estos últimos se encuentran localizados en su mayoría en la zona centro, resultaría costoso el transporte de esta a la zona norte, por lo que solo se consideran los estados de la zona centro para elegir en cuál de ellos resulta conveniente el establecer la nueva planta.

TABLA 5.1 : CARACTERISTICAS DE LOS ESTADOS DE LA ZONA I-B

| ESTADO | PROVEEDOR | COM. CON PUERTOS Y EXT. | CD. CON MAYOR POBLACION | F.F.C.C. | AEROPUERTO | TELEX | CD. IND. | GAS NATURAL |
|-----------------|-----------|-------------------------|-------------------------|----------|------------|-------|----------|-------------|
| AGUAS CALIENTES | | | | | | | | |
| B. C. NORTE | | | | | | | | |
| B. C. SUR | | | | | | | | |
| CAMPECHE | | | | | | | | |
| COAHUILA | | | | | | | | |
| COLIMA | | | | | | | | |
| CHIAPAS | | | | | | | | |
| CHIHUAHUA | | | | | | | | |
| DURANGO | | | | | | | | |
| GUANAJUATO | | | | | | | | |
| GUERRERO | | | | | | | | |
| HIDALGO | | | | | | | | |
| JALISCO | | | | | | | | |
| NAYARIT | | | | | | | | |
| NUEVO LEON | | | | | | | | |
| OAXACA | | | | | | | | |
| PUEBLA | | | | | | | | |
| QUERETARO | | | | | | | | |
| QUINTANA ROO | | | | | | | | |
| SAN LUIS POTOSI | | | | | | | | |
| SINALOA | | | | | | | | |
| SONORA | | | | | | | | |
| TABASCO | | | | | | | | |
| TAMAULIPAS | | | | | | | | |
| VERACRUZ | | | | | | | | |
| YUCATAN | | | | | | | | |
| ZACATECAS | | | | | | | | |



SERVICIO EXISTENTE.

Por lo anterior tenemos que, de los estados que conforman la zona I-B, Hidalgo, Querétaro y Guanajuato, son los que presentan mejores perspectivas para el establecimiento de la planta. De ellos, Hidalgo no cuenta con proveedores de materia prima dentro de su territorio ni a sus alrededores; por lo que sólo se analizarán Querétaro y Guanajuato.

El análisis muestra que ambos estados cuentan con los mismos servicios, y además en los dos existe proveedores de materia prima; pero Guanajuato cuenta con una mayor población, lo que aseguraría la disponibilidad de mano de obra. Por otro lado, Querétaro cuenta con la existencia de una planta productora de PET; con lo cual resultaría inconveniente establecer una nueva planta para este producto. Por todo lo anterior se tiene que el estado de Guanajuato es el más propicio para el establecimiento de esta planta, con ello se abrirá un nuevo campo en el desarrollo tecnológico e industrial de este estado.

En la tabla 5.2 se presentan algunas características de las principales ciudades de Guanajuato, en las que se puede llevar a cabo el establecimiento de la planta. Con esta información se determinará el lugar más adecuado para establecer la planta.

De acuerdo a las características que presenta cada una de las ciudades, se determina que León es el lugar más conveniente para el establecimiento de la nueva planta.

5.2 BASES DE DISEÑO

En este documento se encuentra contenida toda la información necesaria para el desarrollo del proyecto. Esta

TABLA 5.2 : CARACTERISTICAS DE LAS PRINCIPALES CIUDADES DE GUANAJUATO

| CIUDAD | POBLACION (MILES DE HABIT) | SALARIO MINIMO | F.F.C.C. | AEROPUERTO | TELEX | CD. IND. | GAS NATURAL |
|------------|-------------------------------|-------------------|----------|------------|-------|----------|-------------|
| CELAYA | 233.41 | 13,570 | | | | | |
| GUANAJUATO | 66.40 | 13,570 | | | | | |
| IRAPUATO | 245.19 | 13,570 | | | | | |
| LEON | 1079.40 | 13,570 | | | | | EN CONST. |
| SALAMANCA | 147.20 | 13,570 | | | | | |

SERVICIO EXISTENTE.

FUENTE: TESIS E.N.E.P ZARAGOZA (Ref. 25)

información es proporcionada por el cliente y contempla aspectos relacionados con el proceso, como la capacidad de producción, flexibilidad, seguridad, etc.; así como lo relacionado con el lugar en el que se localizará la planta.

5.2.1 GENERALIDADES

5.2.1.1 FUNCION DE LA PLANTA

El principal objetivo de la planta es producir polietilentereftalato grado envase, empleando como materia prima, dimetil tereftalato (DMT) y etilenglicol.

5.2.1.2 TIPO DE PROCESO

La planta constará de cuatro secciones de proceso fundamentales, que son: transesterificación, prepolymerización, polimerización, separación de solvente y subproducto, terminado del polímero y formulación.

- SECCION DE TRANSESTERIFICACION

En esta etapa se lleva a cabo la siguiente reacción:



empleando acetato de zinc como catalizador.

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. Empleando presión atmosférica y una temperatura de 170°C al inicio de la reacción y cerca de 230°C al final de la misma.

- SECCION DE PREPOLIMERIZACION

La reacción de prepolimerización se conduce a una presión de 10 mm de Hg y una temperatura de 234°C; la reacción es la siguiente:



El etilenglicol formado se elimina como vapor conforme avanza la reacción.

- SECCION DE POLIMERIZACION

La polimerización final usualmente se hace a menos de un mm Hg y a 293°C.

5.2.2 CAPACIDAD, RENDIMIENTO Y FLEXIBILIDAD

5.2.2.1 FACTOR DE SERVICIO

La planta será diseñada para operar 350 días al año para un factor de servicio de 0.96.

5.2.2.2 CAPACIDAD

La planta tendrá una capacidad total de diseño de 25 mil toneladas por año.

La capacidad normal total será igual a la de diseño y la capacidad mínima total será igual al 60% de la de diseño.

5.2.2.3 FLEXIBILIDAD

- FLEXIBILIDAD BAJO CONDICIONES ANORMALES

La planta no continuara operando a falla de electricidad, de vapor y de gas combustible, por lo que debera de contar con facilidades para efectuar un paro ordenado.

5.2.2.4 PREVISION PARA FUTURAS AMPLIACIONES

No se contemplan futuras ampliaciones.

5.2.3 ESPECIFICACION DE LAS ALIMENTACIONES

| ALIM | EDO FISICO | TEMP (°C) | PRES (mm Hg) | PUREZA (%) |
|------|---------------|-----------|--------------|------------|
| DMT | SOLIDO | 19 | 595 | 100 |
| ETG | LIQUIDO | 19 | 595 | 98 |

5.2.4 CONDICIONES DE LAS ALIMENTACIONES EN LIMITES DE BATERIA

| ALIM | TEMP (°C) | PRES (mmHg) | EDO FISICO | FORMA RECIBO | PROCEDENCIA | CONSUMO POR TON DE PET |
|------|--------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|
| DMT | 19 | 595 | SOLIDO | FFCC | S L P Y GUADALAJARA | 1.001 |
| ETG | 19 | 595 | LIQUIDO | FFCC | GUANAJUATO Y GUADALAJARA | 0.3594 |

5.2.5 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

| PROD | EDO | TEMP (°C) | PRES (mm Hg) | PUREZA (%) |
|------|--------|-----------|--------------|--------------|
| | FISICO | | | |
| PET | SOLIDO | 19 | 595 | GRADO ENVASE |

5.2.6 CONDICIONES DEL PRODUCTO EN LIMITES DE BATERIA

| ALIM | TEMP | PRES | EDO | FORMA | DESTINO |
|------|------|--------|--------|-------|-------------------------|
| | (°C) | (mmHg) | FISICO | ENVID | |
| PET | 19 | 595 | SOLIDO | FFCC | ZONAS CENTRO Y NORTE |

5.2.7 AGENTES QUIMICOS

Acetato de zinc, trioxido de antimonio y oxido de titanio como catalizadores.

5.2.8 DESHECHOS

Los desechos generados en los diferentes pasos del proceso serán sometidos a una secuencia especial de operaciones para después disponer de ellos bajo especificaciones, con base a la legislación ecológica vigente.

5.2.8.1 NORMAS O CODIGOS

Se deberá cumplir con las normas Técnicas Ecológicas establecidas por la SEDUE, para el manejo de los desechos obtenidos en la planta.

5.2.9 INSTALACIONES REQUERIDAS DE ALMACENAMIENTO

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

5.2.10 ESPECIFICACION DE LOS SERVICIOS AUXILIARES EN LIMITES DE BATERIA

| SERVICIOS AUXILIARES | CONSUMO POR TON |
|----------------------|-------------------|
| AGUA DE ENFRIAMIENTO | 53 m ³ |
| VAPOR | 1.4 tons |
| ELECTRICIDAD | 165 KWh |
| GAS INERTE | 24 m ³ |
| GAS NATURAL | 994 Kcal |

5.2.11 ALIMENTACION DE ENERGIA ELECTRICA

La C.F.E. suministrara la energia electrica necesaria.

| | |
|--|-------------|
| FRECUENCIA | 60 ciclos/s |
| NUMERO DE FASES | 3 |
| TENSION | 440 voltios |
| CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE CORTO CIRCUITO | 30 mil A |
| MATERIAL DEL CONDUCTOR | cobre |
| ACOMETIDA | subterranea |

5.2.12 SISTEMAS DE SEGURIDAD

5.2.12.1 SISTEMAS CONTRA INCENDIO

- Normas de seguridad PEMEX A-I-1
- Normas de construcción de PEMEX de red contra incendio 2.607.21

5.2.12.2 PROTECCION DE PERSONAL POR:

- SAFETY CHEMICAL
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION
- DANGEROUS PROPERTIES OF INDUSTRIAL MATERIALS (IRVING SAX)

5.2.13 CONDICIONES CLIMATOLOGICAS

5.2.13.1 TEMPERATURA

| | |
|------------------------------------|------|
| MAXIMA EXTREMA | 35°C |
| PROMEDIO | 19°C |
| MINIMA EXTREMA | 7°C |
| TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO MAXIMA | 19°C |

5.2.13.2 ESTADISTICA PLUVIAL

| | |
|--------------------|----------|
| HORARIA MAXIMA | 42 mm/h |
| MAXIMA EN 24 HORAS | 100 mm/h |

5.2.13.3 VIENTOS

VELOCIDAD MAXIMA 140 Km/h
DIRECCION DE LOS
VIENTOS DOMINANTES NE/SO 70%
del tiempo.

5.2.13.4 HUMEDAD RELATIVA

NORMAL 80%

5.2.13.5 ATMOSFERA

PRESION MAXIMA 630 mm Hg
PRESION NORMAL 595 mm Hg

5.2.14 LOCALIZACION DE LA PLANTA

5.2.14.1 SITIO

La planta se localizará en el estado de Guanajuato, en el municipio de Leon, quedando pendientes las coordenadas finales.

5.2.14.2 ELEVACION

1786 m sobre el nivel del mar.

5.2.15 DISEÑO ELECTRICO

5.2.15.1 CODIGOS PARA LA CLASIFICACION DE AREAS:

NEC, API y NEMA.

5.2.15.2 CORRIENTES PARA ALUMBRADO:

120 volts, 1 fase.

5.2.15.3 CORRIENTES PARA INSTRUMENTOS DE CONTROL:

120 volts, 1 fase.

5.2.15.4 DISTRIBUCION DE CORRIENTES DENTRO DE L.B.

Subterranea.

5.2.16 BASES DE DISEÑO PARA TUBERIAS

5.2.16.1 DRENAJES

| TIPO DE DRENAJE | RECEPTOR | MATERIAL |
|-----------------|-----------------------|--------------------|
| PLUVIAL | FOSA DE SEDIMENTACION | CONCRETO REFORZADO |
| QUIMICO | FOSA QUIMICA | " |
| ACEITOSO | SEPARADORES API | " |
| SANITARIO | FOSA DE SEDIMENTACION | " |

5.2.17 BASES DE DISEÑO CIVILES

5.2.17.1 SOLICITACIONES POR VIENTO Y SISMOS

Se acepta el uso de manual de diseño de obras civiles de la C.F.E.

5.2.17.2 INFORMACION GENERAL DEL TIPO DE SUELO

El tipo de suelo es arenoso y compacto, de fácil excavación y sin elevaciones rocosas.

5.2.18 BASES DE DISEÑO PARA INSTRUMENTOS

5.2.18.1 TABLEROS

Se tendrá un tablero principal para los equipos de proceso, para los instrumentos y controles.

5.2.18.2 INSTRUMENTACION

La instrumentación será electrónica.

5.2.18.3 TOTALIZACION, REGISTRO Y MEDICION

- 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 servicios auxiliares.

5.2.18.4 CALIBRACION

La calibración de la instrumentación será en las siguientes unidades:

| | |
|-------------|--------------------|
| PRESION | Kg/cm ² |
| TEMPERATURA | °C |
| FLUJO | sistema métrico |
| NIVEL | sistema métrico |

5.2.19 BASES PARA DISEÑO DE EQUIPO

El sobrediseño será del 10%

5.2.20 NORMAS, CODIGOS Y ESPECIFICACIONES

| | |
|-----------------------|-----------------------------|
| MATERIALES | ASTM |
| RECIPIENTES | ASME |
| BOMBAS | API |
| EQUIPO ELECTRICO | NEMA,NEC |
| TUBERIAS Y ACCESORIOS | ANSI |
| DESHECHOS | NORMAS TECNICAS DE SEDUE |
| CONSTRUCCION | C.F.E. |

5.3 DESCRIPCION DEL PROCESO PARA LA OBTENCION DE PET A PARTIR DE DMT Y ETILENGLICOL

En la Figura 5.1 se muestra el diagrama de flujo del proceso, para la obtención de PET a partir de DMT y etilenglicol.

El DMT proveniente de almacén se introduce por medio de un alimentador de tornillo al fundidor BA-01, a una temperatura de 25°C y a presión atmosférica, este emplea vapor como servicio, de aquí se bombea con la GA-01 hasta el domo del reactor de intercambio de ester DC-01, esta corriente se encuentra a una temperatura de 170°C y a una presión de 595 mm Hg . El etilenglicol de almacenamiento se calienta hasta una temperatura de 170°C por medio del calentador EA-01, y se divide en dos corrientes, una de ellas se envía a la torre recuperadora de metanol DA-01 y la otra se alimenta al tanque de mezclado FA-01, el cual contiene acetato de zinc que se emplea como catalizador. El efluente de este se envía

al reactor DC-01 a una temperatura de 170°C y a una presión de 760 mm Hg.

La alimentación de etilenglicol : DMT es de 2 : 1 . El tiempo de residencia en el reactor DC-01 es de 2.5 horas y la conversión del DMT es del 99%, este opera a una temperatura de 170°C en el domo y 234°C en los fondos y a una presión de 595 mm Hg.

La corriente de salida en el domo del reactor DC-01, rica en metanol, se envía a la torre DA-01 a una temperatura y presión de 170°C y 595 mm Hg, respectivamente; y la corriente de fondos que contiene Bis(2-hidroxiethyl)tereftalato se envía al reactor de prepolimerización DC-02 a una temperatura de 234°C y una presión de 595 mm Hg.

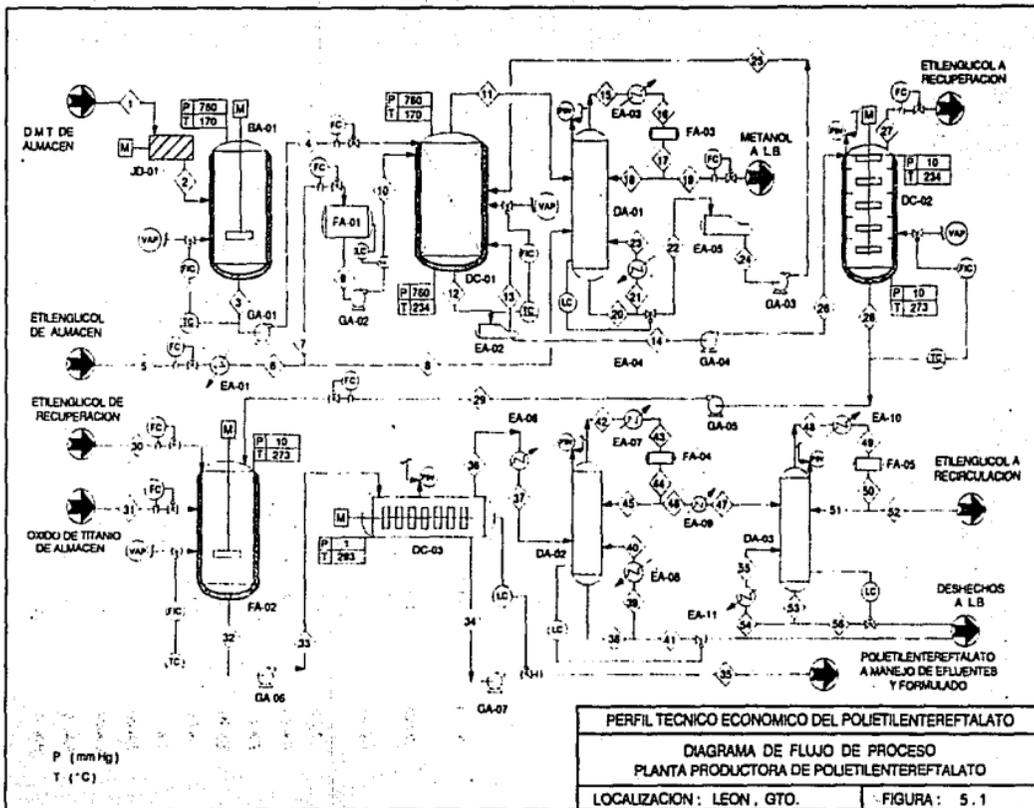
Por el domo de la torre DA-01 se recupera el metanol a una temperatura de 80°C y a una presión de 760 mm Hg, y por el fondo se obtiene una corriente que contiene principalmente etilenglicol y DMT a una presión y temperatura de 760 mm Hg y 95°C, respectivamente, la cual se envía al evaporador EA-10, para posteriormente retornarla al reactor DC-01 por medio de la bomba GA-04.

El reactor de prepolimerización DC-02 opera a 234°C en la parte superior y 273°C en la parte inferior y a una presión de 10 mm Hg, emplea como catalizador trióxido de antimonio; por el domo se obtiene etilenglicol, el cual se manda a la sección de recuperación para ser recirculado, la corriente del fondo contiene un prepolímero con un peso molecular de 6000, y se envía al mezclador FA-02, el cual contiene óxido de titanio en emulsión.

El efluente del mezclador FA-02 se bombea por medio de la GA-06 al reactor de polimerización DC-03, a una temperatura de 273°C.

La corriente superior del reactor DC-03 es rica en etilenglicol y se encuentra a 293°C y a 1 mm Hg; esta corriente se alimenta a la columna de destilación DA-02; el efluente de los fondos de la columna son deshechados, y la corriente del domo se calienta hasta 130°C y se envía a una segunda columna de destilación DA-03, obteniéndose por el domo de esta etilenglicol listo para reciclarse, y el efluente de los fondos se manda a deshechos.

La corriente inferior del reactor de polimerización DC-03 es rica en PET y es enviada a manejo de efluentes y formulado final.



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**LISTA
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION: LIBON, QTO.

HOJA: 1 DE 3

LISTA DE EQUIPO

| CLAVE | DESCRIPCION | CARACTERISTICAS |
|-------|--------------------------------------|---------------------------|
| BA-01 | FUNDIDOR DE DMT | L = 2883 mm ; D = 915 mm |
| DA-01 | COLUMNA RECUPERADORA DE METANOL | L = 4267 mm ; D = 762 mm |
| DA-02 | COLUMNA RECUPERADORA DE ETILENGLICOL | L = 3658 mm ; D = 762 mm |
| DA-03 | COLUMNA RECUPERADORA DE ETILENGLICOL | L = 3658 mm ; D = 762 mm |
| DC-01 | REACTOR DE ESTERIFICACION | L = 3048 mm ; D = 610 mm |
| DC-02 | REACTOR DE PREPOLIMERIZACION | L = 4877 mm ; D = 1829 mm |
| DC-03 | REACTOR DE POLIMERIZACION | L = 4877 mm ; D = 2438 mm |
| EA-01 | PRECALENTADOR DE ETILENGLICOL | Q = 26365150 BTU / hr |
| EA-02 | REHERVIDOR DEL DC-01 | Q = 185077 BTU / hr |
| EA-03 | CONDENSADOR DE LA DA-01 | Q = 4693480 BTU / hr |
| EA-04 | REHERVIDOR DE LA DA-01 | Q = 1706627 BTU / hr |
| EA-05 | EVAPORADOR DE DMT Y EG. | Q = 8028268 BTU / hr |
| EA-06 | CONDENSADOR DE EG. | Q = 9077120 BTU / hr |
| EA-07 | CONDENSADOR DE LA DA-02 | Q = 6193480 BTU / hr |
| EA-08 | REHERVIDOR DE LA DA-02 | Q = 195077 BTU / hr |
| EA-09 | ENFRIADOR DE ETILENGLICOL | Q = 9077120 BTU / hr |
| EA-10 | CONDENSADOR DE LA DA-03 | Q = 6193480 BTU / hr |
| EA-11 | REHERVIDOR DE LA DA-03 | Q = 195077 BTU / hr |

**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**LISTA
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON, GTO.

HOJA : 2 DE 3

LISTA DE EQUIPO

| <u>CLAVE</u> | <u>DESCRIPCION</u> | <u>CARACTERISTICAS</u> |
|--------------|--|---------------------------|
| FA-01 | MEZCLADOR DE ETILENGLICOL Y CATALIZADOR | L = 3658 mm ; D = 1067 mm |
| FA-02 | MEZCLADOR DE PREPOLIMERO Y CATALIZADOR EN EMULSION | L = 3658 mm ; D = 914 mm |
| FA-03 | ACUMULADOR DE METANOL | L = 2438 mm ; D = 1210 mm |
| FA-04 | ACUMULADOR DE ETILENGLICOL | L = 1829 mm ; D = 782 mm |
| FA-05 | ACUMULADOR DE ETILENGLICOL | L = 1829 mm ; D = 782 mm |
| GA-01 | BOMBA DE ALIMENTACION DE DIMETILTEREFTALATO FUNDIDO AL DC-01 | W = 2979.17 Kg/hr |
| GA-02 | BOMBA DE ALIMENTACION DE ETILENGLICOL Y CATALIZADOR AL DC-01 | W = 5362.50 Kg/hr |
| GA-03 | BOMBA DE RECIRCULACION DE ETILENGLICOL Y DIMETILTEREFTALATO AL DC-01 | W = 506.14 Kg/hr |
| GA-04 | BOMBA DE ALIMENTACION DE BIS (2-HIDROXIETIL) TEREFTALATO AL DC-02 | W = 2949.53 Kg/hr |
| GA-05 | BOMBA DE ALIMENTACION DE PREPOLIMERO AL FA-02 | W = 2949.46 Kg/hr |

**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**LISTA
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION: LIBON, QTO.

HOJA: 3 DE 3

LISTA DE EQUIPO

| <u>CLAVE</u> | <u>DESCRIPCION</u> | <u>CARACTERISTICAS</u> |
|--------------|---|------------------------|
| GA-06 | BOMBA DE ALIMENTACION DE PREPOLIMERO Y CATALIZADOR AL DC-03 | W = 2908.48 Kg/hrs |
| GA-07 | BOMBA DE ALIMENTACION DE POLIETILENTEREFTALATO A MANEJO DE EFLUENTES Y FORMULADO | W = 2979.19 Kg/hrs |
| JD-01 | EQUIPO TIPO TORNILLO ALIMENTADOR DE DIMETILTEREFTALATO AL BA-01 | |

5.4 PREDIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO PRINCIPAL

El principal código utilizado en México, Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, es el "CODIGO ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS) SECCION VIII DIVISION 1". Este código es publicado por la Asociación de Ingenieros Mecánicos, su edición es trimestral; sin embargo, la asociación antes mencionada emite adenda trimestrales las cuales modifican constantemente el código, manteniéndolo siempre actualizado.

Como una alternativa del código ASME sección VIII división 1, existe la división 2. La diferencia fundamental entre las dos divisiones radica en los factores de seguridad, los cuales son mayores en la división 1.

Para la evaluación del predimensionamiento de equipo, se requiere de las propiedades de los fluidos que estos manejan, dichas propiedades son la densidad y viscosidad, además de las condiciones de operación como presión y temperatura.

Como el dimetiltereftalato y el bis (2-hidroxiethyl) tereftalato son compuestos para los cuales no se dispone de todas sus propiedades químicas y físicas, fue necesario el uso de un simulador de procesos llamado PRO-II, el cual contiene en su base de datos a estos compuestos; por lo cual es capaz de generar las propiedades a las condiciones requeridas.

Para la evaluación de las columnas de destilación se realizó un estimado preliminar del número de platos, el cual fue hecho con el simulador de procesos SIMPROC del INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO (I.M.P.), este simulador emplea como métodos cortos el de Underwood para la evaluación de reflujo mínimo, Winn para el número de platos mínimo,

Van Winkletodd para el reflujo de operación, Kirkbride para determinar el plato de alimentación; y finalmente para el número de platos teóricos emplea el método de Gilliland.

El estimado preliminar del número de platos teóricos se tomó como punto de partida para el cálculo del número de platos reales, que se realizó de manera rigurosa con el mismo simulador utilizando el método de la matriz tridiagonal; obteniéndose para la DA-01 seis platos reales, para la DA-02 y DA-03 cinco platos reales y finalmente cuatro platos reales para el DC-01. Otros resultados como el plato de alimentación y condiciones de operación para cada columna, así como propiedades de los compuestos que se manejan, están reportados en las hojas de datos de equipo. Los listados generados por el simulador, se presentan en el APENDICE A.

El predimensionamiento de los recipientes se realizó en base al código ASME. Por último, para el predimensionamiento de los cambiadores de calor, se emplearon como parámetros de diseño la carga térmica, diferencia de temperaturas y el área de transferencia de calor evaluada a partir de una longitud y diámetro de tubo estimados.

Al igual que las columnas, los resultados obtenidos de estas evaluaciones, se encuentran reportados en las respectivas hojas de datos de equipo.

Una vez evaluadas las dimensiones del equipo principal se puede proceder a la estimación del costo del mismo, ya que éstas se emplearán como parámetros de evaluación. Lo cual se realizará en el capítulo siguiente.

**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE DATOS
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON, GTO.

EQUIPO : BA - 01

No. DE UNIDADES : 1

SERVICIO **FUNDIDOR DE DMT**

POSICION : **VERTICAL**

TIPO DE FLUIDO : LIQUIDO (l) FLUJO : 2.82 m³/hr; DENSIDAD 1.056 g/cm³

VAPOR O GAS — FLUJO : — m³/hr; DENSIDAD — g/cm³

TEMPERATURA : OPERACION 170 °C, MAXIMA 170 °C; DISEÑO 184 °C

PRESION : OPERACION 1.033 Kg/cm² man.; MAXIMA 1.033 Kg/cm² man.; DISEÑO 3.143 Kg/cm² man.

DIMENSIONES : LONGITUD T-T 2898 mm; DIAMETRO 915 mm; VOL. TOTAL T-T 1.175 m³

NIVEL : NORMAL 1838 mm; MAXIMO 2508 mm; MINIMO 152 mm

MATERIAL : CORAZA AC 8A-515 CABEZAS AC 8A-515 MALLA SEPAPADORA: ESPESOR — mm

TIPO CIRCULAR : DIAMETRO — mm; TIPO RECT. : LONG. — mm; ESPESOR 127 mm

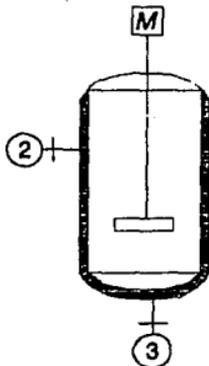
ESPESOR POR CORROSION : CORAZA 3.0 mm; CABEZAS 3.0 mm; RADIOGRAFIADO 80 %

BOQUILLAS

| No. | No. REQ. | SERVICIO |
|-----|----------|-------------------|
| 2 | 1 | ALIM. DEL JD - 01 |
| 3 | 1 | ALIM. AL DC - 01 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

NOTAS

I. DIMETILTEREFTALATO



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE DATOS
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON , GTO.

EQUIPO : DA - 01

No. DE UNIDADES : 1

SERVICIO COLUMNA RECUPERADORA DE METANOL

POSICION : VERTICAL

TIPO DE FLUIDO : DESTILADO (I) FLUJO : 3196 Kgr/hr

FONDOS (II) FLUJO : 597 Kgr/hr

TEMPERATURA OPERACION : SUPERIOR 80 °C ; INFERIOR 95 °C

PREMION : OPERACION 8 Kg/cm² man.

DIMENSIONES : LONGITUD T-T 4267 mm ; DIAMETRO 782 mm

PLATOS : NUMERO DE, 8 ESPACIAMIENTO : 609.6 mm ; NUMERO DE PASOS . 1

% FUNDACION : 75 MATERIAL CASCARON : AC SA-515

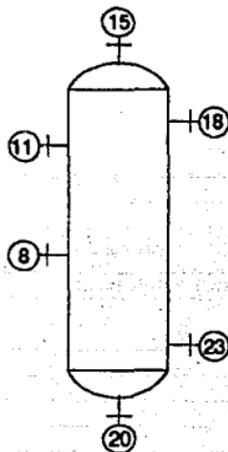
BOQUILLAS

| No. | No. SERVO. | SERVICIO |
|-----|------------|-----------------|
| 6 | 1 | ALIM. DEL EA-01 |
| 11 | 1 | ALIM. DEL DC-01 |
| 15 | 1 | ALIM. AL EA-03 |
| 18 | 1 | ALIM. DEL FA-03 |
| 20 | 1 | ALIM. AL EA-04 |
| 23 | 1 | ALIM. DEL EA-04 |
| | | |
| | | |

NOTAS

I. METANOL

II. ETILENGLICOL Y DMT



PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL POLIETILENTEREFTALATO

HOJA DE DATOS DE EQUIPO

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION: LEON, GTO.

EQUIPO: DA-02

No. DE UNIDADES: 1

SERVICIO: COLUMNA RECUPERADORA DE ETILENGLICOL

POSICION: VERTICAL

TIPO DE FLUIDO: DESTILADO (I) FLUJO: 724 Kg/hr

FONDOS (II) FLUJO: 38 Kg/hr

TEMPERATURA OPERACION: SUPERIOR 210 °C. INFERIOR 232 °C

PRESION OPERACION 8 Kg/cm² min.

DIMENSIONES: LONGITUD T-T 3658 mm; DIAMETRO 762 mm

PLATOS: NUMERO DE, 5 ESPACIAMIENTO: 609.6 mm; NUMERO DE PASOS 1

% INUNDACION: 75 MATERIAL CASCARON: AC SA-515

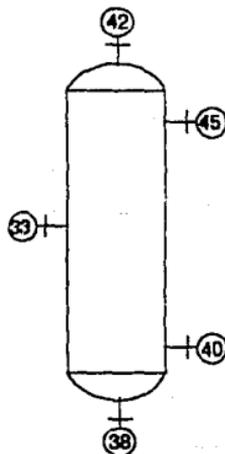
BOQUILLAS

| No. | No. REF. | SERVICIO |
|-----|----------|-----------------|
| 33 | 1 | ALIM. DEL EA-06 |
| 38 | 1 | ALIM. AL EA-06 |
| 40 | 1 | ALIM. DEL EA-06 |
| 42 | 1 | ALIM. AL EA-07 |
| 45 | 1 | ALIM. DEL FA-04 |
| | | |
| | | |
| | | |

NOTAS

I. ETILENGLICOL Y DESHECHOS

II. DESHECHOS



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE DATOS
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON , GTO.

EQUIPO : DA - 03

No. DE UNIDADES : 1

SERVICIO COLUMNA RECUPERADORA DE ETILENGLICOL

POSICION : VERTICAL

TIPO DE FLUIDO : DESTILADO (I) FLUJO : 688 Kghr

FONDOS (II) FLUJO : 35 Kghr

TEMPERATURA OPERACION : SUPERIOR 210 °C ; INFERIOR 232 °C

PRESION : OPERACION 8 Kg/cm² m.

DIMENSIONES : LONGITUD T-T 3858 mm ; DIAMETRO 762 mm

PLATOS : NUMERO DE 5 ESPACIAMIENTO : 609.6 mm ; NUMERO DE PASOS 1

% INUNDACION : 75 MATERIAL CARCARON : AC SA-515

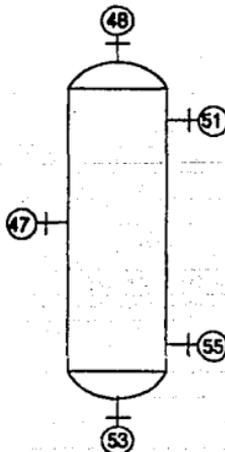
BOQUILLAS

| No. | No. REQD. | SERVICIO |
|-----|-----------|-----------------|
| 47 | 1 | ALIM. DEL EA-09 |
| 48 | 1 | ALIM. AL EA-10 |
| 51 | 1 | ALIM. DEL FA-05 |
| 53 | 1 | ALIM. AL EA-11 |
| 55 | 1 | ALIM. DEL EA-11 |
| | | |
| | | |
| | | |

NOTAS

I. ETILENGLICOL

II. DESHECHOS



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFALATO**

**HOJA DE DATOS
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFALATO

LOCALIZACION : LEBON , QTO.

EQUIPO : DC-01

No. DE UNIDADES : 1

SERVICIO **REACTOR DE ESTERIFICACION**

POSICION : **VERTICAL**

TIPO DE FLUIDO : DESTILADO (I) FLUJO : **3196** Kg/hr

FONDOS (II) FLUJO : **3039** Kg/hr

TEMPERATURA OPERACION : SUPERIOR **170** °C ; INFERIOR **234** °C

PRESION : OPERACION **8** Kg/cm² man.

DIMENSIONES : LONGITUD T-T **3048** mm ; DIAMETRO **610** mm

PLATOS : NUMERO DE **4** ESPACIAMIENTO : **609.6** mm ; NUMERO DE PASOS **1**

% INUNDACION : **70** MATERIAL CASCARON : **AC SA-515**

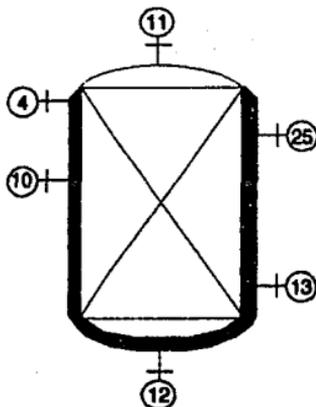
BOQUILLAS

| No. | No. REQ. | SERVICIO |
|-----|----------|-----------------|
| 4 | 1 | ALIM. DEL BA-01 |
| 10 | 1 | ALIM. DEL FA-01 |
| 11 | 1 | ALIM. AL DA-01 |
| 12 | 1 | ALIM. AL BA-02 |
| 13 | 1 | ALIM. DEL FA-06 |
| 28 | 1 | ALIM. DEL BA-06 |
| | | |
| | | |

NOTAS

I. METANOL Y DIMETILTEREFALATO

II. BIS (2-HIDROXIETIL) TEREFALATO



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE DATOS
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON , GTO.

EQUIPO : DC - 02

No. DE UNIDADES : 1

SERVICIO **REACTOR DE PREPOLIMERIZACION**

POSICION : **VERTICAL**

TIPO DE FLUIDO : LIQUIDO (I) FLUJO : **2.7074** m³/hr ; DENSIDAD **1.0894** g/cm³

VAPOR O GAS (II) FLUJO : **0.0541** m³/hr ; DENSIDAD **0.0011** g/cm³

TEMPERATURA : OPERACION **273** °C ; MAXIMA **273** °C ; DISEÑO **287** °C

PRENSION : OPERACION **0.0009** Kg/cm² man. ; MAXIMA **0.0009** Kg/cm² man. ; DISEÑO **0.0** Kg/cm² man.

DIMENSIONES : LONGITUD T-T **4877** mm ; DIAMETRO **1829** mm ; VOL. TOTAL T-T **8.1221** m³

NIVEL : NORMAL **3092** mm ; MAXIMO **4389** mm ; MINIMO **152** mm

MATERIAL : CORAZA **AC SA-515** CABEZAS **AC SA-515** MALLA REPARADORA : ESPESOR — mm

TIPO CIRCULAR : DIAMETRO — mm ; TIPO RECT. : LONG. — mm ; ESPESOR **19.05** mm

ESPESOR POR CORROSION : CORAZA **3.0** mm ; CABEZAS **3.0** mm ; RADIOGRAFIADO **100 %**

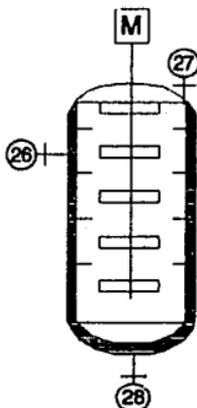
BOQUILLAS

| No. | No. REQD. | SERVICIO |
|-----|-----------|-------------------|
| 26 | 1 | ALIM. DEL EA - 02 |
| 27 | 1 | SALIDA A L.B. |
| 28 | 1 | ALIM. AL. FA - 02 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

NOTAS

I. PREPOLIMERO

II. ETILENGLICOL



PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL POLIETILENTEREFTALATO

HOJA DE DATOS DE EQUIPO

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON, GTO.

EQUIPO : DC-03

No. DE UNIDADES : 1

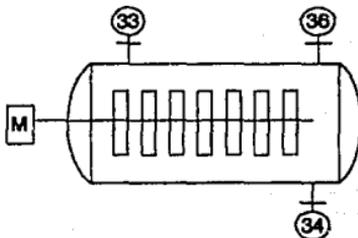
| SERVICIO | REACTOR DE POLIMERIZACION | POSICION | HORIZONTAL | |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------|
| TIPO DE FLUIDO : LIQUIDO (I) | FLUJO : 9.5691 | m ³ /v. DENSIDAD | 0.311 | gramo |
| VAPOR O GAS (II) | FLUJO : 714.3288 | m ³ /v. DENSIDAD | 0.00105 | gramo |
| TEMPERATURA . OPERACION | 293 °C. MAXIMA | 293 °C. DISEÑO | 307 °C | |
| PRESION . OPERACION | 0.014 Kg/cm ² min. MAXIMA | 0.014 Kg/cm ² min. DISEÑO | 0.0 | Kg/cm ² min. |
| DIMENSIONES : LONGITUD T-T | 4877 mm. DIAMETRO | 2438 mm. VOL. TOTAL T-T | 22.778 | m ³ |
| NIVEL . NORMAL | 1966 mm. MAXIMO | 2073 mm. MINIMO | 152 | mm |
| MATERIAL . CORAZA | AC SA-515 | CABEZAS | AC SA-515 | MALLA SEPARADORA. ESPESOR — mm |
| TIPO CIRCULAR . DIAMETRO | — mm. TIPO RECT. : LONG. | — mm. EDPEBOR | 19.05 | mm |
| ESPESOR POR CORROSION : CORAZA | 3.0 mm. CABEZAS | 3.0 mm. RADIOGRAFIADO | 100 % | |

BOQUILLAS

| No. | No. REQ. | SERVICIO |
|-----|----------|------------------|
| 33 | 1 | ALIM. DEL. FA-06 |
| 36 | 1 | ALIM. AL EA-06 |
| 34 | 1 | SALIDA A L.B. |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

NOTAS

- I. POLIETILENTEREFTALATO
- II. ETILENGLICOL Y DESHECHOS



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

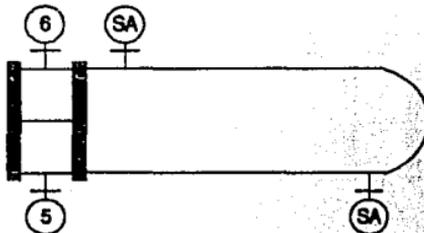
**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

| | | | |
|--|------------------|---|----------------------------------|
| PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO | | | |
| LOCALIZACION : LEON, GTO. | | | |
| EQUIPO : EA - 01 | | | |
| SERVICIO REHERVIDOR | | CARGA TERMICA : 28385150 | BTU / yr |
| TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE : | (I) | FLUJO : | 418405 Kg/yr |
| TIPO DE FLUIDO TUBOS | (II) | FLUJO : | 5959 Kg/yr |
| TEMPERATURA ENVOLVENTE | ENTRADA : | 211 °C ; SALIDA : | 158 °C |
| TEMPERATURA TUBOS | ENTRADA : | 25 °C ; SALIDA : | 170 °C |
| DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD : | 4877 | mm ; DIAMETRO : | 940 mm |
| DIMENSIONES TUBOS LONGITUD : | 4877 | mm ; DIAMETRO : | 19.05 mm ; NT. 580 |
| MATERIAL ENVOLVENTE : | AC SA-515 | TUBOS : | AC SA-515 |
| COEF. GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR : | 103 | BTU/yr °F° ; AREA DE TRANSF. DE CALOR : | 1814 m ² |

NOTAS

BOQUILLAS

| I. VAPOR DE MEDIA | No. | No. REQ. | SERVICIO |
|-------------------|-----|----------|-----------------|
| II. ETILENGLICOL | | | |
| | 5 | 1 | ALIM. DE L.B. |
| | 6 | 1 | ALIM. AL. FA-01 |
| | SA | 1 | SERV. AUX. |
| | SA | 1 | SERV. AUX. |



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON , GTO.

EQUIPO : EA - 02

No. DE UNIDADES : 1

SERVICIO REHERVIDOR

CARGA TERMICA 195077

BTU/hr

TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE (I) FLUJO 13873 Kcal/hr

TIPO DE FLUIDO TUBOS (II) FLUJO 3039 Kcal/hr

TEMPERATURA ENVOLVENTE ENTRADA : 248 °C ; SALIDA : 234 °C

TEMPERATURA TUBOS ENTRADA : 232 °C ; SALIDA : 240 °C

DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD : 3658 mm ; DIAMETRO : 387 mm

DIMENSIONES TUBOS LONGITUD : 3658 mm ; DIAMETRO 19.05 mm ; NT : 82

MATERIAL ENVOLVENTE : AC SA-515 TUBOS : AC SA-515

COEF. GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR : 170 BTU/hr °F , AREA DE TRANSF. DE CALOR : 186 m²

NOTAS

BOQUILLAS

I. VAPOR DE MEDIA

II. BHS (2-HIDROXIETIL) TEREFTALATO

No.

No.
ANQD.

SERVICIO

12

1

ALIM. DEL DC-01

13

1

ALIM. AL DC-01

SA

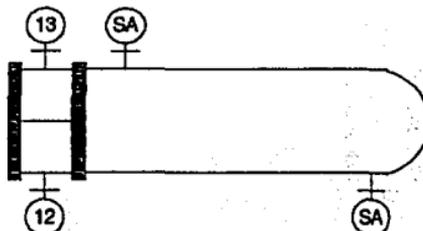
1

SERV. AUX.

SA

1

SERV. AUX.



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON , GTO.

EQUIPO : EA - 03

No. DE UNIDADES : 1

SERVICIO **CONDENSADOR** CARGA TERMICA **4893480** BTU/hr

TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE **(I)** FLUJO : **7990** Kg/hr

TIPO DE FLUIDO TUBOS **(II)** FLUJO : **152060** Kg/hr

TEMPERATURA ENVOLVENTE ENTRADA : **80** °C ; SALIDA : **74** °C

TEMPERATURA TUBOS ENTRADA : **32** °C SALIDA : **46** °C

DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD : **3658** mm , DIAMETRO : **387** mm

DIMENSIONES TUBOS LONGITUD : **3658** mm ; DIAMETRO : **19.05** mm ; NT : **82**

MATERIAL ENVOLVENTE : **AC SA-515** TUBOS : **AC 8A-515**

COEF GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR : **370** BTU/hr °F ; AREA DE TRANSF. DE CALOR : **186** m²

NOTAS

BOQUILLAS

I. METANOL

II. AGUA DE ENFRIAMIENTO

No.

No.
AFRO.

SERVICIO

15

1

ALIM. DEL DA-01

16

1

ALIM. AL FA-03

SA

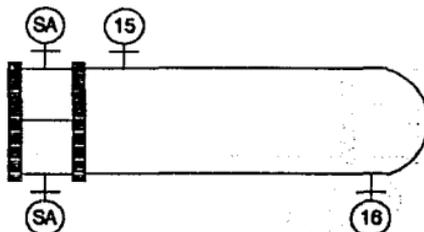
1

SERV. AUX.

SA

1

SERV. AUX.



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION: LEON, GTO.

EQUIPO: EA-04

No. DE UNIDADES: 1

SERVICIO: REHERVIDOR

CARGA TERMICA:

1706627

BTU/hr

TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE: (I)

FLUJO: 27020

Kg/yr

TIPO DE FLUIDO TUBOS: (II)

FLUJO: 745

Kg/yr

TEMPERATURA ENVOLVENTE

ENTRADA

149

°C. SALIDA

96

°C

TEMPERATURA TUBOS

ENTRADA:

95

°C. SALIDA

104

°C

DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD:

3658

mm; DIAMETRO

533

mm

DIMENSIONES TUBOS LONGITUD:

3658

mm; DIAMETRO

19.05

mm; NT. 168

MATERIAL ENVOLVENTE:

AC SA-515

TUBOS:

AC SA-515

COEF GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR:

200

BTU/hr °F°; AREA DE TRANSF. DE CALOR

403

ft²

NOTAS

BOQUILLAS

I. VAPOR DE MEDIA

II. ETILENGLICOL Y DMT

No.

No.
REQD.

SERVICIO

21

1

ALIM. DEL DA-01

23

1

ALIM. AL DA-01

SA

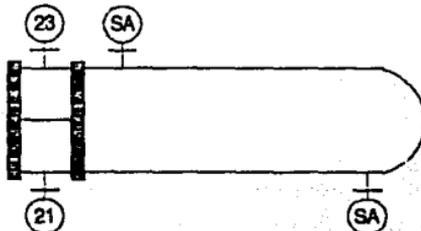
1

SERV. AUX.

SA

1

SERV. AUX.



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION: LEON, GTO.

EQUIPO: EA - 05

No. DE UNIDADES: 1

| | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| SERVICIO | REHERVIDOR | CARGA TERMICA | 8028288 | BTU/hr |
| TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE | (I) | FLUJO | 143834 | Kg/hr |
| TIPO DE FLUIDO TUBOS | (II) | FLUJO | 597 | Kg/hr |
| TEMPERATURA ENVOLVENTE | ENTRADA | 254 | °C SALIDA | 207 °C |
| TEMPERATURA TUBOS | ENTRADA | 95 | °C SALIDA | 171 °C |
| DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD | 3658 | mm | DIAMETRO | 438 mm |
| DIMENSIONES TUBOS LONGITUD | 3658 | mm | DIAMETRO | 19.05 mm; NT 110 |
| MATERIAL ENVOLVENTE | AC SA-515 | TUBOS | AC SA-515 | |
| COEF. GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR | 200 | BTU/hr ² F | AREA DE TRANSF. DE CALOR | 230 ft ² |

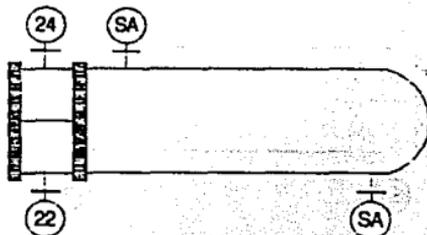
NOTAS

BOQUILLAS

I. VAPOR DE MEDIA

II. ETILENGLICOL Y DMT

| No. | No. BOQU. | SERVICIO |
|-----|-----------|-----------------|
| 22 | 1 | ALIM. DEL DA-01 |
| 24 | 1 | ALIM. AL DC-01 |
| SA | 1 | SERV. AUX. |
| SA | 1 | SERV. AUX. |



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION: LEBON, QTO.

GRUPO: **EA - 08**

No. DE UNIDADES: 1

SERVICIO **CONDENSADOR**

CARGA TERMICA: **9077120**

BTU/hr

TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE **(I)**

FLUJO: **750**

Kg/hr

TIPO DE FLUIDO TUBOS **(II)**

FLUJO: **294099**

Kg/hr

TEMPERATURA ENVOLVENTE

ENTRADA:

178

°C, SALIDA:

130

°C

TEMPERATURA TUBOS

ENTRADA:

32

°C, SALIDA

46

°C

DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD:

3658

mm, DIAMETRO

489

mm

DIMENSIONES TUBOS LONGITUD:

3858

mm, DIAMETRO:

19.05

mm, NT:

142

MATERIAL ENVOLVENTE:

AC SA-515

TUBOS:

AC SA-515

COEF. GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR:

150

BTU/ft² °F;

AREA DE TRANSF. DE CALOR: **295**

ft²

NOTAS

BOQUILLAS

I. ETILENGLICOL Y DESHECHOS

II. AGUA DE ENFRIAMIENTO

No.

No.
ANOD.

SERVICIO

36

1

ALIM. DEL DC-03

37

1

ALIM. AL DA-02

SA

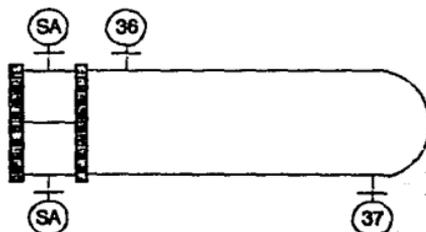
1

SERV. AUX.

SA

1

SERV. AUX.



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION: LEON, GTO.

EQUIPO: EA-07

No. DE UNIDADES: 1

| | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|---|------------------|-------------------|
| SERVICIO | CONDENSADOR | CARGA TERMICA | 6193480 | BTU/hr |
| TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE: | (I) | FLUJO: | 1867 | Kg/hr |
| TIPO DE FLUIDO TUBOS: | (II) | FLUJO: | 200669 | Kg/hr |
| TEMPERATURA ENVOLVENTE | ENTRADA: | 210 | °C; SALIDA | 191 °C |
| TEMPERATURA TUBOS | ENTRADA: | 32 | °C; SALIDA | 43 °C |
| DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD: | 3858 | mm; DIAMETRO: | 387 | mm |
| DIMENSIONES TUBOS LONGITUD: | 3858 | mm; DIAMETRO | 23,4 | mm; NT: 82 |
| MATERIAL ENVOLVENTE: | AC SA-515 | TUBOS: | AC SA-515 | |
| COEF. GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR: | 90 | BTU/hr m ² °F; AREA DE TRANSF. DE CALOR: | 237 | ft ² |

NOTAS

BOQUILLAS

I. ETILENGLICOL Y DESHECHOS

II. AGUA DE ENFRIAMIENTO

No.

No.
MROD.

SERVICIO

42

1

ALIM. DEL DA-02

43

1

ALIM. AL FA-04

SA

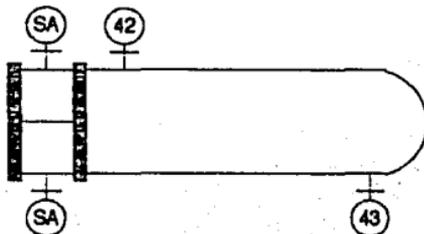
1

SERV. AUX.

SA

1

SERV. AUX.



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION: LIRON, QTO.

EQUIPO: EA-08

No. DE UNIDADES: 1

SERVICIO **REHERVIDOR**

CARGA TERMICA: **195077**

BTU/hr

TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE: **(I)**

FLUJO: **13673**

Kg/hr

TIPO DE FLUIDO TUBOS: **(II)**

FLUJO: **48**

Kg/hr

TEMPERATURA ENVOLVENTE

ENTRADA: **248**

°C; SALIDA

234

°C

TEMPERATURA TUBOS

ENTRADA: **232**

°C; SALIDA

240

°C

DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD.

3658

mm; DIAMETRO:

387

mm

DIMENSIONES TUBOS LONGITUD:

3658

mm; DIAMETRO:

19,05

mm; NT:

82

MATERIAL ENVOLVENTE:

AC SA-515

TUBOS:

AC SA-515

COEF. GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR:

170

BTU/hr °F;

AREA DE TRANSF. DE CALOR: **188**

m²

NOTAS

BOQUILLAS

I. VAPOR DE MEDIA

II. DESHECHOS Y ETILENGLICOL

No.

No.
ARGO.

SERVICIO

39

1

ALIM. DEL DA-02

40

1

ALIM. AL DA-02

SA

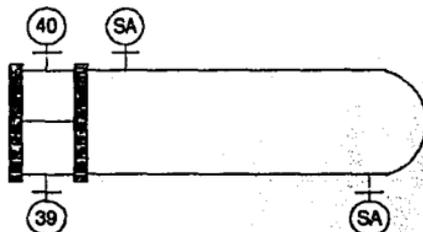
1

SERV. AUX.

SA

1

SERV. AUX.



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION: LEON, GTO.

EQUIPO: EA - 09

No. DE UNIDADES: 1

SERVICIO **ENFRIADOR**

CARGA TERMICA: **9077120**

STU / hr

TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE: **(I)**

FLUJO: **724**

Kg/hr

TIPO DE FLUIDO TUBOS: **(II)**

FLUJO: **294099**

Kg/hr

TEMPERATURA ENVOLVENTE

ENTRADA: **191**

°C; SALIDA: **130**

°C

TEMPERATURA TUBOS

ENTRADA: **32**

°C; SALIDA: **46**

°C

DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD:

3658

mm; DIAMETRO: **489**

mm

DIMENSIONES TUBOS LONGITUD:

3658

mm; DIAMETRO: **19.05**

mm; NT: **142**

MATERIAL ENVOLVENTE:

AC SA-515

TUBOS:

AC SA-515

COEF. GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR:

150

STU/hr °F; AREA DE TRANSF. DE CALOR:

295

ft²

NOTAS

BOQUILLAS

I. ETILENOLICOL Y DESHECHOS

II. AGUA DE ENFRIAMIENTO

No.

No.
AFIOZ.

SERVICIO

46

1

ALIM. DEL FA-04

47

1

ALIM. AL DA-03

SA

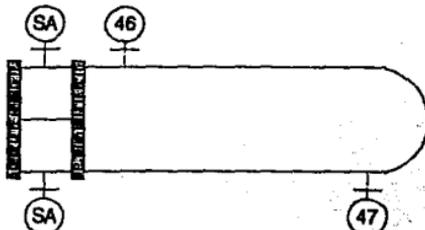
1

SERV. AUX.

SA

1

SERV. AUX.



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON , GTO.

EQUIPO : **EA - 10**

No. DE UNIDADES : 1

SERVICIO **CONDENSADOR**

CARGA TERMICA : **6193480**

BTU / hr

TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE : **(I)** FLUJO : **1774** Kgr/hr

TIPO DE FLUIDO TUBOS **(II)** FLUJO : **200869** Kgr/hr

TEMPERATURA ENVOLVENTE ENTRADA : **210** °C : SALIDA : **191** °C

TEMPERATURA TUBOS ENTRADA : **32** °C : SALIDA : **48** °C

DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD : **3658** mm , DIAMETRO **387** mm

DIMENSIONES TUBOS LONGITUD : **3658** mm ; DIAMETRO **25.4** mm ; NT : **82**

MATERIAL ENVOLVENTE : **AC SA-515** TUBOS : **AC SA-515**

COEF. GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR : **90** BTU/hr / °F ; AREA DE TRANSF. DE CALOR : **237** ft²

NOTAS

BOQUILLAS

I. ETILENOLICOL

II. AGUA DE ENFRIAMIENTO

No.

No.
/REG.

SERVICIO

48

1

ALIM. DEL DA-03

49

1

ALIM. AL FA-05

SA

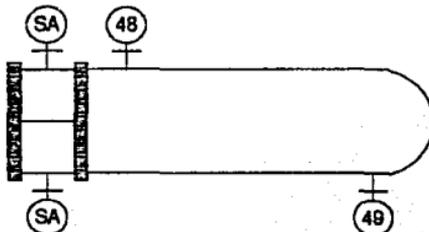
1

SERV. AUX.

SA

1

SERV. AUX.



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE
DATOS DE
CAMBIADORES
DE CALOR**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEBON, QTO.

EQUIPO : EA - 11

No. DE UNIDADES : 1

SERVICIO **REHEVADOR**

CAPACIDAD TERMICA : **195077**

BTU/hr

TIPO DE FLUIDO ENVOLVENTE : **(I)**

FLUJO : **13673**

Kcal/hr

TIPO DE FLUIDO TUBOS : **(II)**

FLUJO : **45**

Kcal/hr

TEMPERATURA ENVOLVENTE

ENTRADA : **246**

°C; SALIDA : **234**

°C

TEMPERATURA TUBOS

ENTRADA : **232**

°C; SALIDA : **240**

°C

DIMENSIONES ENVOLVENTE LONGITUD :

3658

mm; DIAMETRO :

387

mm

DIMENSIONES TUBOS LONGITUD :

3658

mm; DIAMETRO :

19.05

mm; NT :

82

MATERIAL ENVOLVENTE :

AC SA-515

TUBOS :

AC SA-515

COEF. GLOBAL DE TRANSF. DE CALOR :

170

BTU/hr °F; AREA DE TRANSF. DE CALOR :

186

m²

NOTAS

BOQUILLAS

I. VAPOR DE MEDIA

II. DESHECHOS

No.

No.
ABOQ.

SERVICIO

54

1

ALIM. DEL DA-03

55

1

ALIM. AL DA-03

SA

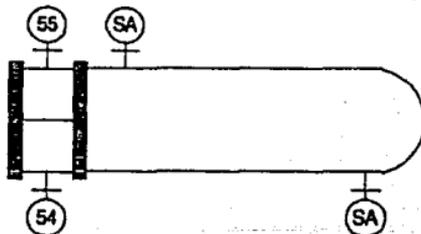
1

SERV. AUX.

SA

1

SERV. AUX.



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE DATOS
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION: LEON, GTO.

EQUIPO: FA-02

No. DE UNIDADES: 1

SERVICIO **MEZCLADOR**

POSICION: **VERTICAL**

TIPO DE FLUIDO: LIQUIDO (1) FLUJO: 2754 m³/hr; DENSIDAD 1.0894 g/cm³

VAPOR O GAS _____ FLUJO: _____ m³/hr; DENSIDAD _____ g/cm³

TEMPERATURA: OPERACION 273 °C; MAXIMA 273 °C; DISEÑO 287 °C

PRESION: OPERACION 0.0009 Kg/cm² man; MAXIMA 0.0009 Kg/cm² man; DISEÑO 0.0 Kg/cm² man.

DIMENSIONES: LONGITUD T-T 3658 mm; DIAMETRO 914 mm; VOL TOTAL T-T 1.2785 m³

NIVEL: NORMAL 984 mm; MAXIMO 3292 mm; MINIMO 152 mm

MATERIAL: CORAZA AC SA-515 CABEZAS AC SA-515 MALLA REPARADORA: ESPESOR _____ mm

TIPO CIRCULAR: DIAMETRO _____ mm; TIPO RECT.: LONG. _____ mm; ESPESOR 13 mm

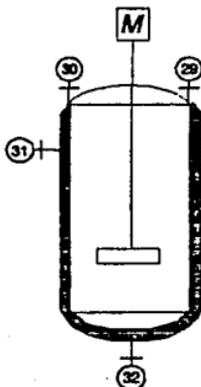
ESPESOR POR CORROSION: CORAZA 3.0 mm; CABEZAS 3.0 mm; RADIOGRAFIADO 100%

BOQUILLAS

| No. | No. REQ. | SERVICIO |
|-----|----------|-----------------|
| 29 | 1 | ALIM. DEL DC-02 |
| 30 | 1 | ALIM. DEL L.B. |
| 31 | 1 | ALIM. DE L.B. |
| 32 | 1 | ALIM. AL DC-03 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

NOTAS

L.B.S (2-HIDROXETIL) TEREFTALATO



**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**HOJA DE DATOS
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON , GTO.

EQUIPO : FA-04

No. DE UNIDADES : 1

SERVICIO TANQUE ACUMULADOR

POSICION : HORIZONTAL

TIPO DE FLUIDO : LIQUIDO (1) FLUIDO : 2.256 m³/hr; DENSIDAD 0.8273 g/cm³

VAPOR O GAS ----- FLUIDO : ----- m³/hr; DENSIDAD ----- g/cm³

TEMPERATURA : OPERACION 191 °C; MAXIMA 191 °C; DISEÑO 205 °C

PRESION : OPERACION 1.033 Kg/cm² man.; MAXIMA 1.033 Kg/cm² man.; DISEÑO 3.143 Kg/cm² man.

DIMENSIONES : LONGITUD T-T 1829 mm; DIAMETRO 732 mm; VOL TOTAL T-T 0.6268 m³

NIVEL : NORMAL 496 mm; MAXIMO 648 mm; MINIMO 152 mm

MATERIAL : CORAZA AC 8A-515 CABEZAS AC 8A-515 MALLA SEPARADORA: ESPESOR----- mm

TIPO CIRCULAR : DIAMETRO ----- mm; TIPO RECT. : LONG. ----- mm; ESPESOR 12.7 mm

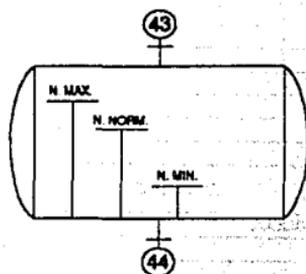
ESPEOR POR CORROSION : CORAZA 3.0 mm; CABEZAS 3.0 mm; RADIOGRAFIADO 80 %

BOQUILLAS

| No. | No. REGIS. | SERVICIO |
|-----|------------|-----------------|
| 43 | 1 | ALISE DEL EA-07 |
| 44 | 1 | ALIM. AL DA-02 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

NOTAS

I. ETILENOLICOL



CAPITULO VI

EVALUACION ECONOMICA

El costo de equipo es estimado para determinar la viabilidad económica, evaluar alternativas de inversión oportunas, seleccionar de entre varios diseños de proceso, el que prometa ser el más provechoso o lucrativo, determinar la asignación de capital a proyectos, dar presupuestos y llevar un control de gastos, o para considerar una oferta competitiva para la construcción de una nueva planta o reevaluar una ya existente. En este capítulo se evalúa la Inversión Fija de la planta, primeramente calculando el costo de los equipos, con estos y los resultados que genera el Método Guthrie (método de estimación económica de proyectos), se obtiene el valor de esta inversión para el año de 1968 y se actualiza finalmente en dólares y moneda nacional.

6.1 EVALUACION DE COSTO DE EQUIPO

En la evaluación del costo de equipo se emplearon modelos de estimación (15) los cuales se basan, para el caso de intercambiadores de calor, en el diámetro interno de la coraza, longitud de tubos, número de tubos, el área de transferencia de calor y el tipo de material; este modelo tiene un error global de +/- 2.74% y un coeficiente de correlación de 0.9986, generando valores para el año de 1990; para el caso de recipientes, involucra diámetro y longitud del recipiente, forma y espesor de las tapas, espesor del cilindro, posición del recipiente (horizontal o vertical), y tipo de material, los valores dados por el modelo presentan un error global de +/- 7.11%, generando valores para el año de 1989; y finalmente, para los internos de las columnas de destilación, se consideró el número de platos, diámetro y tipo de los mismos, el método empleado genera

valores para el año de 1989 (28). La estimación del costo de bombas se realizó con el método Guthrie, generando valores para el año de 1968.

El costo total por cambiadores de calor obtenido fue de \$ 846,670,916.00 M.N., para recipientes, columnas y reactores fue de \$ 213,789,990.90 M.N. por último el costo total de bombas fue de \$ 21,750,285.06 M.N., todos estos valores para el año de 1991. Estos resultados se encuentran reportados en la Tabla 6.1, así como el costo unitario de equipo en dólares y moneda nacional.

6.2 METODO DE GUTHRIE

Este es un método de estimación de tipo modular que fue desarrollado en base a datos de 42 proyectos diferentes de plantas de proceso. Fue presentado por Kenneth M. Guthrie, en el año de 1968.

La estructura de tipo "modular" del método le confiere a éste, una amplia flexibilidad que permite evaluar diferentes tipos de proyectos en forma por demás satisfactoria, obteniéndose resultados con un alto grado de exactitud.

Estas características son las que han permitido que este método sea aplicable aún en nuestros días y que sirva como base principal para el desarrollo de métodos más recientes.

El método de Guthrie agrupa todos los elementos que conforman la inversión fija para una planta de proceso, en seis distintos módulos (cinco de costos directos y uno de costos indirectos), siendo estos:

- Proceso Químico
- Manejo de Sólidos
- Desarrollo del Sitio
- Edificios Industriales
- Servicios Auxiliares
- Indirectos del Proyecto

Además del submódulo de:

- Tuberías y Válvulas

Cada módulo de costos directos contiene elementos tales como costos de equipo, material auxiliar, mano de obra para instalaciones, etc. Los módulos pueden ser integrados en un módulo "barra" mediante la aplicación de un factor que considera los costos indirectos para cada uno de los módulos. Y toma en cuenta el costo extra por material de aleación, internos, honorarios del contratista y contingencias, es posible estimar finalmente la inversión fija total requerida para un proyecto determinado.

A continuación se explicará la estructura de cada uno de los módulos que integran al Método Guthrie.

El Módulo de Proceso evalúa el costo por material auxiliar y mano de obra para la instalación del equipo de proceso requerido por el proyecto, tomando como base el costo del mismo en material de acero al carbón. Los equipos considerados en este módulo son bombas, intercambiadores de calor, recipientes (horizontales y verticales) e internos. El costo del equipo se consideró de forma global (por grupos de equipos similares).

| PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL POLIETILENTEREFTALATO | | | COSTO DE EQUIPO | |
|---|--------------------|---------------------|----------------------------|--------------------|
| PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO | | | | |
| LOCALIZACION : LEON, GTO. | | | TABLA: 6.1 ; HOJA : 1 DE 3 | |
| EQUIPO | COSTO M.N. 1989 | COSTO DLLS. 1989 | COSTO DLLS. 1991 | COSTO M.N. 1991 |
| BA-01 | 8356579.24 | 3118.71 | 3087.52 | 9371858.21 |
| DC-02 | 37153614.68 | 13865.88 | 13727.22 | 41667603.59 |
| DC-03 | 57890149.32 | 21604.83 | 21388.78 | 64923502.81 |
| FA-01 | 11954782.0 | 4461.57 | 4416.95 | 13407210.03 |
| FA-02 | 9828084.5 | 3667.88 | 3631.2 | 11022144.48 |
| FA-03 | 11413931.46 | 4259.72 | 4217.12 | 12800646.05 |
| FA-04 | 7029335.81 | 2623.38 | 2597.15 | 7883389.11 |
| FA-05 | 7029335.81 | 2623.38 | 2597.15 | 7883389.11 |
| | | | | |
| DA-01 | 8953846.47 | 4094.11 | 4150.99 | 12599915.05 |
| DA-02 | 7964925.72 | 3777.54 | 3844.41 | 11669322.11 |
| DA-03 | 7964925.72 | 3777.54 | 3844.41 | 11669322.11 |
| DC-01 | 5654865.0 | 2860.42 | 2929.32 | 8891657.93 |
| | | | | |
| TOTAL | 181194375.7 | 70734.96 | 70432.23 | 213789990.9 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

El Modulo de Indirectos evalua el costo de indirectos del proyecto tales como: fletes, impuestos (nacionales y aduanales), ingenieria y supervision de la construccion.

Para poder evaluar este módulo, es necesario estimar primero el modulo de proceso, especificar el tipo de proyecto manejado (considerandose para este caso como una planta compleja), además se requiere conocer el porcentaje de importación de los equipos utilizados (para Mexico este es del 50%).

El Modulo de Desarrollo del Sitio permite calcular los costos originados al inicio de la construccion de la planta, como son registro del terreno, limpieza, excavacion y nivelacion del terreno, cercado, desague y drenaje, piloteado, proteccion contra incendios, etc.

Para tener esta informacion, es necesario contar con el plano de localizacion, ya que permite conocer la cantidad de unidades requeridas para cada uno de los factores anteriores; esto implica disponer de la informacion que proporciona la Ingenieria de Detalle. Por este motivo no es posible evaluar este módulo directamente, de tal manera que su evaluacion es de forma indirecta, mediante un factor global de modulo proporcionado por el metodo de Guthrie ($F=3.48$), considerando como costo base el Modulo de Proceso.

El Modulo de Edificios Industriales estima el costo de edificios como almacenes, cafeteria, cuarto de control, laboratorios, talleres, etc. La informacion requerida para su evaluacion es la siguiente, Area del edificio, tipo de piso, tipo de techos, servicios (alumbrado, eléctrico, etc.) y niveles de éstos. Para la evaluacion de este modulo se empleara $F=1.3$ como factor, considerando como costo base los costos directos.

El Modulo de Manejo de Sólidos lleva a cabo la estimación del costo del equipo empleado en el manejo de sólidos, así como de equipo especial como basculas, mezcladores, molinos, secadores, etc. De los cuales es necesario conocer sus características principales (tipo, número, potencia, área, etc.). Se emplea $F=2.46$ como factor y el costo total de equipo como costo base.

El Modulo de Servicios Auxiliares estima los costos de los servicios requeridos en la planta como iluminación y comunicaciones, sistema de aire, generación de vapor, sistema general de agua etc. Por lo cual es necesario conocer los requerimientos de cada servicio necesario en la planta. Tomando para este modulo $F=1.34$ y los costos directos como base.

El Submódulo de Tuberías y Válvulas calcula los costos causados por el sistema de tubería que interconecta los equipos dentro de la planta y que no se incluyen en el módulo de proceso ni en el de manejo de sólidos. Los rubros que cubre este submódulo son: tubería recta de proceso y fuera de limites de batería; válvulas de compuerta, de control, de globo, de tapón y check. Para esto se requiere conocer la longitud, el diámetro y el material de construcción de las tuberías, así como el tipo, número, diámetro y material de construcción de las válvulas. Empleando $F=2.83$ del costo total del equipo.

Ya que los parámetros que considera el método de Guthrie, generan valores para el año de 1968, es necesario, que los costos de los equipos con los que se trabaje el método, correspondan a este mismo año. Por lo cual los costos reportados en la Tabla 6.1, para el año de 1991, son transformados a costos de 1968 y se reportan en la Tabla 6.2.

**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**COSTO
DE
EQUIPO**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON, GTO.

TABLA : 6.2

| EQUIPO | COSTO DLLS. 1991 | COSTO DLLS. 1968 |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| EA-01 | 3087.52 | 2253.89 |
| DA-01 | 4150.99 | 2945.94 |
| DA-02 | 3844.41 | 2716.28 |
| DA-03 | 3844.41 | 2716.28 |
| DC-01 | 2929.32 | 2054.40 |
| DC-02 | 13727.22 | 10020.87 |
| DC-03 | 21388.78 | 15613.81 |
| EA-01 | 73828.86 | 54111.15 |
| EA-02 | 17150.93 | 12570.46 |
| EA-03 | 17147.87 | 12568.22 |
| EA-04 | 28338.52 | 20770.20 |
| EA-05 | 20551.78 | 15063.04 |
| EA-06 | 24313.32 | 17820.00 |
| EA-07 | 17150.93 | 13128.51 |
| EA-08 | 17912.32 | 12570.46 |
| EA-09 | 17912.32 | 17020.00 |
| EA-10 | 24313.32 | 13128.51 |
| EA-11 | 17150.93 | 12570.46 |
| FA-01 | 4418.95 | 3224.37 |
| FA-02 | 3631.20 | 2650.78 |
| FA-03 | 4217.12 | 3078.50 |
| FA-04 | 2597.15 | 1895.92 |
| FA-05 | 2597.15 | 1895.92 |
| TOTAL | 348023.31 | 252597.02 |

Por esta razón la Inversión Fija que se obtenga será para 1968, la cual debe actualizarse para 1991, en dólares y moneda nacional.

6.3 EVALUACION DE LA INVERSION FIJA

Una de las fases más importantes dentro del proyecto de una planta de proceso es la estimación de la Inversión Fija que se requiere para instalar una nueva planta, o bien para ampliar una ya existente.

Es fundamental en esta etapa, contar con métodos que sean lo más exactos posibles y que además permitan evaluar y comparar diferentes alternativas del proyecto sobre las mismas bases.

El valor de la Inversión Fija generado por el método Guthrie es de \$ 5,700,754.00 DLLS para el año de 1968, este valor, junto con el valor de cada módulo del método se encuentran reportados en la Tabla 6.3.

En la Tabla 6.4 se reportan los valores de cada módulo y de la Inversión Fija, actualizados para el año de 1991 en dólares y moneda nacional. El valor actualizado de la Inversión Fija en moneda nacional, para una planta productora de polietilentereftalato, con una capacidad de producción de 25000 toneladas por año, es de \$ 23,818,846,000.00 M.N.

El listado generado por el Método de Guthrie se presentan en el APENDICE B.

Como el costo del equipo es la base para la evaluación del módulo de proceso y éste a su vez es la base para el desarrollo del módulo de indirectos en el Método Guthrie, el

**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO****METODO
GUTHRIE**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON, GTO.

TABLA : 6.3

EVALUACION DE LA INVERSION FIJA (1968)

| <u>MODULO</u> | <u>COSTO DLLS.</u> |
|----------------------------|--------------------|
| PROCESO | 572771.40 |
| INDIRECTOS | 297190.50 |
| DESARROLLO DEL SITIO | 893171.50 |
| EDIFICIOS INDUSTRIALES | 744802.82 |
| MANEJO DE SOLIDOS | 631379.70 |
| SERVICIOS | 767513.70 |
| TUBERIAS Y VALVULAS | 726344.00 |
| | |
| COSTO TOTAL DE LOS MODULOS | 4632973.62 |
| | |
| CONTINGENCIAS Y HONORARIOS | 1065583.93 |
| INTERNOS | 2196.18 |
| | |
| INVERSION FIJA TOTAL : | 5700754.00 |

**PERFIL TECNICO ECONOMICO DEL
POLIETILENTEREFTALATO**

**METODO
GUTHRIE**

PLANTA PRODUCTORA DE POLIETILENTEREFTALATO

LOCALIZACION : LEON , GTO.

TABLA : 6.4

EVALUACION DE LA INVERSION FIJA (1991)

| <u>MODULO</u> | <u>COSTO</u> | |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------|
| | <u>(DLLS.)</u> | <u>(M.N.)</u> |
| PROCESO | 778000.10 | 2303148800.00 |
| INDIRECTOS | 404179.08 | 1241718970.00 |
| DESARROLLO DEL SITIO | 1214713.24 | 3731842016.00 |
| EDIFICIOS INDUSTRIALES | 1012050.84 | 3111093500.00 |
| MANEJO DE SOLIDOS | 858678.39 | 2638025805.00 |
| SERVICIOS | 1043818.83 | 3208819505.00 |
| TUBERIAS Y VALVULAS | 087827.84 | 3034804000.00 |
| COSTO TOTAL DE LOS MODULOS | 6300844.12 | 1.9357453 E10 |
| CONTINGENCIAS Y HONORARIOS | 1449194.15 | 4452214268.00 |
| INTERNOS | 2966.80 | 9176046.96 |
| INVERSION FIJA TOTAL : | 7753026.00 | 2.3818846 E10 |

resultado obtenido en estos módulos tiene un alto grado de exactitud, ya que los métodos empleados en la estimación del costo de los equipos son métodos que dan resultados con un bajo porcentaje de error, en relación al valor real del equipo, como ya se indicó al inicio de este capítulo; lo que no se puede decir de la Inversión Fija, puesto que los módulos restantes dependen fundamentalmente de la Ingeniería de Detalle, la cual no se contempla dentro del alcance de este trabajo, por tal motivo se asignaron factores de estimación para llevar a cabo la evaluación de la Inversión Fija de la planta en cuestión.

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis comparativo realizado en los Capítulos II y III, se observó que el polietilentereftalato, hasta el momento, presenta un mayor potencial en cuanto a sus aplicaciones se refiere, en los diferentes sectores de la industria. Esto se ve reflejado en la proyección realizada para el polietilentereftalato, a nivel nacional, hasta el año 2000; dando un valor aparente de 44860 toneladas, valor que se ve alterado con el surgimiento de nuevos productos a base de PET. Tomando en cuenta la capacidad instalada, se tiene que la demanda insatisfecha que presentará será de 25460 toneladas; demanda que de no presentarse en el mercado un nuevo material que lo sustituya, esta tenderá a incrementarse.

La capacidad instalada de 25000 Ton/Año determinada en el Capítulo V, para una nueva planta productora de PET, resulta apropiada para cubrir la demanda insatisfecha que se tendrá; de esta manera se prevé que las pérdidas de capital invertido sean mínimas al presentarse bajas en la demanda, o por la presencia de un nuevo producto que sustituya al PET.

En cuanto al proceso elegido para la fabricación de PET, es el que parte de dimetiltereftalato y etilenglicol; aunque los diferentes procesos analizados generan un producto terminado de características similares, además de requerir de una inversión similar en límites de batería, para la capacidad de producción que se desea, este proceso es el que presenta un costo de producción menor, lo que implica un menor costo en la Inversión Fija para el diseño de la planta.

En lo relacionado al equipo principal involucrado en el proceso elegido, en su predimensionamiento se obtuvo un porcentaje bajo de error, salvo en los equipos DC-01, DC-02 y

DC-03, dado que se trata de equipos de reacción a los cuales se les dio un factor de sobrediseño en su predimensionamiento, lo cual repercute en el costo del equipo y se ve reflejado en la estimación de la Inversión Fija de la planta.

La Inversión Fija estimada para la planta productora de PET es de \$ 23,818,846,000.00 M.N., evaluada con el Método de Guthrie que en su módulo de proceso emplea como base el costo del equipo; los cuales fueron evaluados con métodos generados mediante la correlación de datos de costo de equipo existente, por lo que se obtienen valores confiables. El Método Guthrie emplea además módulos que requieren de información generada por la Ingeniería de Detalle, para los cuales se emplearon factores recomendados por el mismo método.

Si se desea un valor exacto de la Inversión Fija es recomendable realizar la Ingeniería de Detalle del diseño del proceso seleccionado, considerando el diseño de los reactores como tales, es decir, considerando su cinética de reacción, etc; y realizar con ello la evaluación de los módulos faltantes en la corrida del programa del Método de Guthrie.

Finalmente, se sugiere que esta nueva planta se localice en León Guanajuato, ya que este lugar corresponde a una zona de desarrollo urbano-industrial, además de contar con un 10% de descuento en servicios y productos básicos; aunado a esto la buena ubicación que presenta con respecto a las fuentes de materia prima y los sectores de consumo, lo que resultará muy rentable cuando la planta comience a producir.

B I B L I O G R A F I A

1. ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL PLASTICO A.C.
Plasticomunicación
" Qué son los plásticos?"
12 (12), 4 - 5 ,(1991).
2. ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUIMICA
"Directorio de Empresas, Productos, Servicios y
Distribuidores de la Ind. Quím. Mex."
1981.
3. BALLAST TRAY DESIGN MANUAL, GLITSCH.
Bulletin No. 4900 - Fourth Edition.
4. BANCO DE MEXICO
"Indicadores Económicos".
De 1976 a 1991.
5. BANCO DE MEXICO
"Indices de Precios".
Dirección de Investigación Económica
6. CLARKE AND DAVIDSON
"Manual for Process Engineering Calculations"
Mc Graw - Hill. Pag. 78 - 95, (1975)
7. CODIGO ASME SECCION VIII.
8. COMISION PETROQUIMICA MEXICANA
"Petroquímica '84 desarrollo histórico y análisis de la
situación actual de la Industria Petroquímica en México"
Mexico, 1985.

8. COMISION PETROQUIMICA MEXICANA
(SEMIP)
"Petroquímica '84 desarrollo histórico y análisis de la situación actual de la Industria Petroquímica en México" México, 1985.

9. COMISION PETROQUIMICA MEXICANA
(SEMIP)
"Petroquímica '85 desarrollo histórico y análisis de la situación actual de la Industria Petroquímica en México" México, 1986.

10. COMISION PETROQUIMICA MEXICANA
(SEMIP)
"Petroquímica '86 desarrollo histórico y análisis de la situación actual de la Industria Petroquímica en México" México, 1987.

11. ENCICLOPEDIA DE MEXICO
Tomos VI y VIII
1984.

12. ENGINEERING DATA BOOK, NGPSA.

13. ENGINEERING MATERIALS
"CHEMICAL ENGINEERING DESKBOOK". DECEMBER 4, 1972.

14. FACULTAD DE QUIMICA (UNAM)
"Perfiles Químicos-Tecnológicos"
Tercera Edición
México 1985.

15. GOMEZ M. J. S. & ZAMORA P. R. E.
" Estimación de Costos de Intercambiadores de calor,
Tanques y Bombas Centrifugas".
Tecnología y Ciencia Ed. (IMIQ)
Pag. 10-19, (1991); Mexico.

16. GUTHRIE M. KENNENT
"Process Plant Estimating Evaluation and Control".
Craftsman Book Co.
pag. 120 - 123 , 149 - 153. (1974).

17. GUTHRIE M. KENNENT
"The module approach to capital cost estimating".
Modern Cost-Engineering Techniques.
Popper and Chem. Eng. 1969.

18. INSTITUTO MEXICANO DEL PLASTICO INDUSTRIAL
"Anuario Estadístico del Plástico 1985".
Mexico, 1986.

19. INSTITUTO MEXICANO DEL PLASTICO INDUSTRIAL
"Anuario Estadístico del Plástico 1990".
Mexico, 1991.

20. INSTITUTO MEXICANO DEL PLASTICO INDUSTRIAL
"El mundo de los plásticos".
Mexico, 1987.

21. KIRK E.R. & OTHMER F.D.
"Encyclopedia of Chemical Technology".
Third Edition
New York Interscience.

22. LEON J. M.
"Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión".
Ingeniería León S.A.
1990.
23. LITOIMPRESORES S.A MEXICO
"Guía de la Industria Química y Productos Químicos".
México, 1984.
24. Mc KETTA J.J. & WILLIAM A.C.
"Encyclopedia of Chemical Processing and Design".
25. OLIVARES S. R.
"Desarrollo de la Ingeniería Básica de una Planta de
Producción de Acetona". Tesis Profesional E.N.E.P.
"ZARAGOZA", UNAM, 1990.
26. PERRY & CHILTON
"Chemical Engineers' Handbook".
Secc. 23. 5a Ed.
27. PETROLEOS MEXICANOS
"Normas para Proyectos de Obras
Diseño de Recipientes a Presión".
Norma No. 2.612.01
1ra. Edición 1975.
28. RICHARD S. HALL
"Estimating Process Equipment Cost".
Chemical Engineering
Pp: 66 - 75, Noviembre 21, 1988.

29. RUIZ C.
"Diseño de Recipientes a Presión".
Instituto Politecnico Nacional (ASIME)
Seccion de Graduados e Investigacion
1991.
30. SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO
Anuario Estadistico del Comercio Exterior de los E.U.M.
Instituto Nacional de Estadistica, Geografia e
Informática.
31. TECNOLOGIA DEL PLASTICO
"El Papel Cede Terreno al Plastico".
Pag. 5 - 6, No. 39 Octubre/Noviembre 1991
32. TECNOLOGIA DEL PLASTICO
"Nuevos Materiales y Tecnologias para Epaques".
Pag. 20 - 25, No. 13 Junio/Julio 1987
33. TECNOLOGIA DEL PLASTICO
"Nuevas Resinas de PET con Alta Viscosidad Intrínseca".
Pag. 19 - 22, No. 37 Junio/Julio 1991

F U E N T E S (INFORMACION DIRECTA)

34. ASOCIACION NACIONAL INDUSTRIAL.
35. ASOCIACION NACIONAL DE LA INDUSTRIA
DEL PLASTICO.
36. ASOCIACION NACIONAL DE INDUSTRIA
QUIMICA.
37. SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA
PARAESTATAL.

SIMULADORES EMPLEADOS

FLOWIMP I/II

Programa para el Cálculo de Sistemas Hidráulicos a una y dos Fases, Caída de Presión, Potencia, etc.

Instituto Mexicano del Petróleo.

PLATIMP

Programa para el Cálculo y Simulación del Comportamiento Hidráulico de Columnas de Platos Tipo Válvula

Instituto Mexicano del Petróleo.

PRO II

Simulation Program.

Simulation Sciences Inc.

SIMPROC

Simulador General de Procesos.

Instituto Mexicano del Petróleo.

PROGRAMA DE COMPUTO DEL METODO GUTHRIE

TESIS "Desarrollo de un Paquete de Cómputo para la Estimación de la Inversión Fija en Plantas de Proceso"

Rico V. P., Rodriguez T. G., Sandoval Y. L.

E.N.E.P. ZARAGOZA., U.N.A.M., MEXICO 1989.

A P E N D I C E A

LISTADO GENERADO POR EL
SIMULADOR GENERAL DE PROCESOS

S I M P R O C

*** Archivo de datos: A:HC-DA-01.COM

#20850 0 11
 PRODUCTORA DE PET SHAN S.A.S. LEON. GTO.
 S.A.S. - ZARAGOZA CAMPUS-II U.N.A.M.
 METODO CORTO PARA EL CALCULO DEL No. DE PLATOS DE LA DA-01
 Gaisiten Ident:103.240,nc=3,Acad
 Apsr nomh: " GC ",PU=62.669,API=-4.736,YDP=307.600,Yc=701.6.
 Pc=1116.896,N=1.104194,Acad
 Apsr nomh: " DMT ",PU=194.187,API=-14.804,YDP=550.400,Yc=819.786.
 Pc=483.839,N=0.68128,Acad
 Acamp sp:1045.10184,0.0.0.6519,Acad
 ADATOS Pata:11.5454,P=26.2014,Y=354.0,EX=0,XX=0,UD=0,NS=1,UCP=0,
 WTS=2,UCY=3,UDY=1,Acad
 20090 0 0
 Acamp sp:0.0,1319.8125,0.0.0,Acad
 ADATOS P=26.2014,Y=350.0,Acad
 5001 11 0 60
 2095 00 00 601 602
 1112M0 10 0 23 21 22 15 16
 ADATOS EL=1,EX=2,REL=0.95,REX=0.99,TEL=0.05,XX=0.01.
 TFC=110.0,VE=0.3,RE=0.2,P=26.2014,Acad

PLANTA PRODUCTORA DE PET CONTRATO SHAN
 LOCALIZACION LEON. GTO. FECHA DE FEB. 1992 16:13:00
 CLIENTE S.A.S. - ZARAGOZA CAMPUS-II U.N.A.M.

RECIBO POR C.A.P.
 AP. PCF

METODO CORTO PARA EL CALCULO DEL No. DE PLATOS DE LA DA-01

SIMPROC-11

ARCHIVO DE CONSTANTES FISICAS-ENERO 1991

| 8 IDENT NOMBRE | YDP GF | API | PU | E MATSON | WPD/LBN-E |
|----------------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| 103 ETANOL | 148.406 | 46.845 | 32.042 | 10.676 | 2.7678C |
| 0 GC | 307.600 | -4.736 | 62.069 | 0.477 | 3.8168B |
| 0 DMT | 550.400 | -14.804 | 194.187 | 0.331 | 11.05019 |

PLANTA PRODUCTORA DE PET CONTRATO SHAN
 LOCALIZACION LEON. GTO. FECHA DE FEB. 1992 16:13:00
 CLIENTE S.A.S. - ZARAGOZA CAMPUS-II U.N.A.M.

RECIBO POR C.A.P.
 AP. PCF

METODO CORTO PARA EL CALCULO DEL No. DE PLATOS DE LA DA-01

SIMPROC-11

METODOS DE CALCULO DE PROPIEDADES UTILIZADOS

| PROPIEDAD | METODO | IDENTIFICACION |
|----------------------|-------------------------|----------------|
| ESTALPIA | OHIFAC | 0 |
| CONST. DE EQUILIBRIO | OHIFAC | 0 |
| DENSIDAD | POLINOMIO VOLUMEN MOLAR | 6 |
| ENTROPIA | SOATE | 1 |
| CAPACIDAD CALORIFICA | YUAN-SYTEL-OHIFAC | 0 |

TERMINO SUPERFICIAL
CONDUCTIVIDAD TERMICA
DIFUSIVIDAD

SABORNO-RVANS
RODRIGOS-KINGMA
WINSHELDER

2
3
1

MODULO NO. 1 OPCION 2885
CORRIENTE 01 : 0
CORRIENTE 02 : 11
CORRIENTE 03 : 0
CORRIENTE 04 : 0
CORRIENTE 05 : 0

MODULO NO. 2 OPCION 2888
CORRIENTE 01 : 0
CORRIENTE 02 : 8
CORRIENTE 03 : 0
CORRIENTE 04 : 0
CORRIENTE 05 : 0

MODULO NO. 3 OPCION 5401
CORRIENTE 01 : 11
CORRIENTE 02 : 8
CORRIENTE 03 : 60
CORRIENTE 04 : 0
CORRIENTE 05 : 0
CORRIENTE 06 : 0
CORRIENTE 07 : 0
CORRIENTE 08 : 0

MODULO NO. 4 OPCION 2885
CORRIENTE 01 : 60
CORRIENTE 02 : 60
CORRIENTE 03 : 601
CORRIENTE 04 : 602
CORRIENTE 05 : 0

MODULO NO. 5 OPCION 1112
CORRIENTE 01 : 60
CORRIENTE 02 : 19
CORRIENTE 03 : 0
CORRIENTE 04 : 23
CORRIENTE 05 : 21
CORRIENTE 06 : 22
CORRIENTE 07 : 15
CORRIENTE 08 : 16

RECP. H2O DE RETAROL DONOS = 0.95000
RECP. H2O DE EC FONDOS = 0.90000
FRAC. MOL MAX. DE RETAROL FONDOS = 0.65000
FRAC. MOL MAX. DE EC DONOS = 0.61000
TEMPERATURA DE CONDENSACION = 110.00 GF.
VAP. BOLIV EN EL RESERVIVOR = 0.30000

PRESION DE OPERACION DONOS = 26.20 PSIA.
TEMPERATURA ALIMENTACION = 338.00 GF.
VAP. BOLIV ALIMENTACION = 1.00000
REFLUJO NITRO = 0.18022
NO. DE PLATOS NITRO = 1.36
REFLUJO DE OPERACION = 0.20000
NO. DE PLATOS TEORICOS = 6.4
CALOR DEL CONDENSADOR = -421496.0 BTU/H.
CALOR DEL RESERVIVOR = 209626.6 BTU/H.
PLATO DE ALIMENTACION = 5.2

(P. ATH = 11.5054 PSIA)

| | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| PRES MOLECULAR*WATSON | 60.725 | 0.530 | 60.725 | 0.530 | 60.725 | 0.530 | 62.079 | 0.478 | 57.565 | 0.661 |
| DENS RELATIVA A 60 F*API | 1.10550 | -3.504 | 1.10550 | -3.504 | 1.10550 | -3.504 | 1.11616 | -4.726 | 1.07856 | -0.429 |
| SPD A 60 F | | 82.7 | | 347.3 | | 347.3 | | 246.2 | | 101.2 |
| HRPCSD 60F.1 KG*60F.1ATH | | 0.210 | | 0.882 | | 0.882 | | 0.617 | | 0.285 |
| DENS A PTT LB/FT3*G/CMB | 65.5648 | 1.05025 | 65.5648 | 1.05025 | 65.5648 | 1.05025 | 66.0655 | 0.86216 | 65.0655 | 0.86216 |
| CPW A P T T | | 2.5 | | 10.7 | | 10.7 | | 0.3 | | 2.507 |
| FT3/SGC A P T T | | | | | | | | | | |
| VAPORIZACION MOLAR*PRESO | | | | | 0.30000 | 0.28439 | | | | |
| CALOR ESP A PTT BTU/LB-F | | 0.1754 | | 0.1754 | | | | 0.2846 | | 0.3037 |
| CP/CP | | 0.8080 | | 0.8080 | | | | 0.8080 | | 1.1486 |
| COND. TERMIC BTU/H-FT-F | | 0.8585 | | 0.8585 | | | | 0.8530 | | 0.8110 |
| FACTOR COMPRESIBILIDAD | | 0.0036 | | 0.0036 | | | | 0.0030 | | 0.0031 |
| TEMS. SUPERFICIAL DIW/CH | | | | | 14.2928 | | 14.2928 | | | |
| DIFUSIVIDAD CUZ/SGC | | | | | 0.1381 | | | | | |
| ENTALPIA ESP. BTU/LB-HOL | -1898.09 | | -1898.09 | | 373.91 | | -568.51 | | | 2572.88 |
| ENTALPIA HBTO/H | -41.7 | | -175.1 | | 34.5 | | -36.7 | | | 71.2 |
| NUMERO | 1112 | | 1112 | | 1112 | | 1112 | | | 1112 |

PLANTA PRODUCTORA DE PET
 LOCALIZACION LION. GTO.
 CLIENTE E.N.H.P. - ZARAGOZA

CONTRATO OREN
 FECHA 06 FEB. 1992 16:13:00
 U.N.A.H.

HECHO POR L.A.H.
 A.P. POR

ESTADO CORTO PARA EL CALCULO DEL NO. DE PLATOS DE LA DE-01

SIMPLOC-11

| CORRIENTE NO. (FASE) | 15 VSAT | | 16 LSAT | | 16 LSAT | | 16 VSAT | |
|--------------------------|----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|----------|---------|
| COMPONENTE | LB-HOL/H | % MOL | LB-HOL/H | % MOL | LB-HOL/H | % MOL | LB-HOL/H | % MOL |
| ETANOL | 262.648 | 99.303 | 262.648 | 99.303 | 262.648 | 99.303 | 0.000 | 99.303 |
| EG | 0.254 | 0.097 | 0.254 | 0.097 | 0.254 | 0.097 | 0.000 | 0.009 |
| DHT. | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| TOTAL LB-HOL/H | 262.902 | 100.000 | 262.902 | 100.000 | 262.902 | 100.000 | 0.000 | 100.000 |
| FLUJO TOTAL LB/H * EG/H | 8432. | 3824. | 8432. | 3824. | 8432. | 3824. | 0. | 0. |
| TEMPERATURA P * C | 176.33 | 80.18 | 165.43 | 74.13 | 165.43 | 74.13 | 165.43 | 74.13 |
| PRESION PSIG*KG/CM2 MAN. | 14.70 | 1.833 | 9.70 | 0.682 | 9.70 | 0.682 | 9.70 | 0.682 |
| (P. ATH = 11.5054 PSIA) | | | | | | | | |
| PRES MOLECULAR*WATSON | 32.371 | 10.674 | 32.371 | 10.674 | 32.371 | 10.674 | 32.345 | 10.678 |
| DENS RELATIVA A 60 F*API | 0.79384 | 46.749 | 0.79384 | 46.749 | 0.79384 | 46.749 | 0.79345 | 46.836 |
| SPD A 60 F | | 727.9 | | 727.9 | | 727.9 | | 0.0 |
| HRPCSD 60F.1 KG*60F.1ATH | 2.512 | 2.394 | 2.512 | 2.394 | 2.512 | 2.394 | 0.000 | 0.000 |
| DENS A PTT LB/FT3*G/CMB | 0.1259 | 0.00202 | 46.3671 | 0.74273 | 46.3671 | 0.74273 | 0.1032 | 0.00165 |
| CPW A P T T | | | | 22.7 | | 22.7 | | |
| FT3/SGC A P T T | 18.601 | | | | | | | |
| CALOR ESP A PTT BTU/LB-F | 0.3681 | | 0.3553 | | 0.3553 | | 0.3635 | |
| CP/CP | 1.2336 | | 0.0000 | | 0.0000 | | 1.2320 | |
| COND. TERMIC BTU/H-FT-F | 0.0095 | | 0.1092 | | 0.1092 | | 0.0081 | |
| FACTOR COMPRESIBILIDAD | 0.9778 | | 0.0022 | | 0.0022 | | 0.9812 | |
| TEMS. SUPERFICIAL DIW/CH | | | | | 16.3433 | | | |
| ENTALPIA ESP. BTU/LB-HOL | 5355.39 | | -10676.45 | | -10676.45 | | 5249.92 | |
| ENTALPIA HBTO/H | 1407.9 | | -2806.9 | | -2806.9 | | 0.0 | |
| NUMERO | 1112 | | 1112 | | 1112 | | 1112 | |

ver Archivo de datos: ar-da-01.com

020850 0 11

PRODUCTORA DE PET UMAN L.A.H. LEON, GTO.

U.N.R.P. - ZARAGOZA CAMPUS-II U.N.A.H.

METODO RIGOROSO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE DA-01

Asisten Ident:103.249.ac:3.6end

Apaq numb: EG PM:62.069.API:-4.736.TDP:307.600.Yc:701.6,

Pc:1116.036,N:1.194194.6end

Apaq numb: DDT PM:194.107.API:-14.004.TDP:550.400.Yc:919.790,

Pc:403.030,N:0.63120.6end

Accomp xp:7045.10104.0.0.0.6560.6end

ADATOS Pata:11.5054.P:26.2014.Y:330.0.HB:0.HE:0.HD:6.HS:1.UCP:0.

HTS:2.HCT:3.HDF:1.6end

20800 0 0

Accomp xp:0.0.1313.0125.0.0.6end

ADATOS P:26.2014.Y:330.0.6end

10091311 10 0 23 0

ADATOS HP:4.Hmax:170.HSL:210.005.HES7:0.0.FOWD:21.957.HR:0.339,

P:26.2014.DPC:0.0.RPP:0.2.TP:110.0.YB:423.76.HPA:3.2.YB:0.3.6end

AperZil t:165.611.176.11.177.056.179.06.107.496.109.502.613.776.6end

2080223 24 241 242

ADATOS P:26.2014.Y:0.930.Y:330.0.6end

F

PLANTA PRODUCTORA DE PET CONTRATO UMAN
 LOCALIZACION LEON, GTO FECHA 11 FEB. 1992 00:53:15
 CLIENTE U.N.R.P. - ZARAGOZA CAMPUS-II U.N.A.H.

RECIBO PCR L.A.H.
AP. PCR

METODO RIGOROSO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE DA-01

SINPROC-1.

ARCHIVO DE CONSTANTES FISICAS-RECIBO 1991

| R IDENT | NOMBRE | TDP GF | API | PH | K WATSON | DPD/L2H-E |
|---------|--------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| 103 | ETANOL | 140.400 | 46.045 | 32.042 | 10.678 | 2.7678C |
| 0 | EG | 307.600 | -4.736 | 62.069 | 0.477 | 3.0100H |
| 0 | DDT | 550.400 | -14.004 | 194.107 | 0.331 | 11.05029 |

PLANTA PRODUCTORA DE PET CONTRATO UMAN
 LOCALIZACION LEON, GTO FECHA 11 FEB. 1992 00:53:15
 CLIENTE U.N.R.P. - ZARAGOZA CAMPUS-II U.N.A.H.

RECIBO PCR L.A.H.
AP. PCR

METODO RIGOROSO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE DA-01

SINPROC-1.

METODOS DE CALCULO DE PROPIEDADES UTILIZADOS

| PROPIEDAD | METODO | IDENTIFICACION |
|----------------------|-------------------------|----------------|
| ENTALPIA | CHIFAC | 0 |
| CONST. DE EQUILIBRIO | DRIFAC | 0 |
| DENSIDAD | POLINOMIO VOLGHEB NOLAR | 6 |
| ENTROPIA | SOAYE | 1 |

CAPACIDAD CALORIFICA
 TENSION SUPERFICIAL
 CONDUCTIVIDAD TERMICA
 DIFUSIVIDAD

TOAN-STYL-8017AC
 SUREPAC-PLATE
 HIRSAPELDO

0
 3
 1

MODULO NO. 1 OPCION 2005
 CORRIENTE #1 = 0
 CORRIENTE #2 = 11
 CORRIENTE #3 = 0
 CORRIENTE #4 = 0
 CORRIENTE #5 = 0

MODULO NO. 2 OPCION 2000
 CORRIENTE #1 = 0
 CORRIENTE #2 = 0
 CORRIENTE #3 = 0
 CORRIENTE #4 = 0
 CORRIENTE #5 = 0

MODULO NO. 3 OPCION 10001
 CORRIENTE #1 = 11
 CORRIENTE #2 = 19
 CORRIENTE #3 = 0
 CORRIENTE #4 = 23
 CORRIENTE #5 = 0
 CORRIENTE #6 = 0
 CORRIENTE #7 = 0
 CORRIENTE #8 = 0
 CORRIENTE #9 = 0

NUMERO DE PLATOS TEORICOS: 4
 PRESION DE OPERACION = 26.201 PSIA
 RELACION DE REFLUJO = 0.3390
 CAIDA DE PRESION DEL CONDENSADOR = 5.0000
 CAIDA DE PRESION POR PLATO = 0.2000
 ALIMENTACION CORR. 11 219.874 LBHOL/W EN EL PLATO 3
 DEST. LIQU. CORR. 19 219.805 LBHOL/W EN EL PLATO 0
 DEST. VAPOR CORR. 0 0.000 LBHOL/W EN EL PLATO 0
 ALIMENTACION CORR. 8 21.167 LBHOL/W EN EL PLATO 2
 PROD. FONDOS CORR. 23 21.956 LBHOL/W EN EL PLATO 5
 FRACCION MOLAR VAP. EN REBENVIDOR = 0.3000
 TEMPERATURA EFLUENTE REBENVIDOR = 300.63
 FLOJO ALIMENTACION REBENVIDOR LB-MOL/W = 184.613
 NUMERO DE ITERACIONES = 30
 ERROE EN TERS./WP = 0.8607E-04
 CARGA TERMICA DEL CONDENSADOR -4693480.00 BTU/HR
 CARGA TERMICA DEL REBENVIDOR 702626.00 BTU/HR

| PLATO NO | TEMP. GP | L. LB-MOL/W | V. LB-MOL/W | GPS | CFS | DL. LB/FT3 | DT. LB/FT3 | PBL | PBY | PSIA |
|----------|----------|-------------|-------------|--------|---------|------------|------------|---------|---------|--------|
| 0 | 163.568 | 293.355 | 0.000 | 25.326 | 0.0000 | 46.4473 | 0.1032 | 32.1625 | 32.0536 | 21.201 |
| 1 | 177.054 | 76.191 | 293.355 | 6.777 | 20.8072 | 47.1541 | 0.1260 | 33.3794 | 32.1625 | 26.201 |
| 2 | 185.109 | 91.253 | 295.876 | 9.216 | 21.0712 | 52.2921 | 0.1267 | 39.7446 | 32.4704 | 26.401 |
| 3 | 186.615 | 67.650 | 295.172 | 6.468 | 20.9107 | 53.5726 | 0.1275 | 41.4555 | 32.5159 | 26.601 |
| 4 | 187.818 | 67.060 | 45.894 | 6.472 | 3.1723 | 53.5724 | 0.1284 | 41.4717 | 32.5170 | 26.801 |
| 5 | 188.633 | 21.956 | 45.104 | 2.503 | 3.1573 | 65.3980 | 0.1291 | 59.1966 | 32.5307 | 27.001 |

COMPOSICIONES

| | L 0 | V 0 | L 1 | V 1 | L 2 | V 2 | L 3 | V 3 | L 4 | V 4 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| METANOL | 0.995986 | 0.996619 | 0.955650 | 0.995986 | 0.743487 | 0.985460 | 0.686721 | 0.384219 | 0.686101 | 0.904101 |
| EG | 0.004014 | 0.003381 | 0.044350 | 0.004014 | 0.256512 | 0.014532 | 0.313228 | 0.015781 | 0.313769 | 0.015899 |

PLANTA PRODUCTORA DE PTT
 LOCALIZACION LEON, GTO.
 CLIENTE S.N.R.P. - XARAGOJA CAMPUS-11

CONTRATO GRAN
 FECHA 11 FEB. 1992 00:59:15
 U.N.A.M.

HECHO POR S.A.M.
 AP. POR

METODO RIGUROSO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE DA-01

SIMPLOC-11

| CORRIENTE NO. (FASE) | 241 LSAT | | 242 TSAT | |
|---|----------|---------|----------|---------|
| COMPONENTE | LB-MOL/H | % MOL | LB-MOL/H | % MOL |
| METANOL | 0.000 | 0.030 | 1.676 | 7.639 |
| EG | 0.022 | 93.583 | 20.265 | 92.346 |
| DST | 0.000 | 0.387 | 0.003 | 0.015 |
| TOTAL LB-MOL/H | 0.022 | 100.000 | 21.945 | 100.000 |
| FLUJO TOTAL LB/H + EG/H | 1. | 1. | 1312. | 595. |
| TEMPERATURA P = C | 426.45 | 219.14 | 426.45 | 219.14 |
| PRESION PSIG+KG/CM2 HAB. (P. ATM = 11.5854 PSIA) | 14.70 | 1.833 | 14.70 | 1.833 |
| PESO MOLECULAR* WATSON | 62.572 | 0.476 | 59.795 | 0.567 |
| DENS RELATIVA A 60 F/60 F | 1.11716 | -4.839 | 1.09690 | -2.829 |
| WPD A 60 F | | 0.1 | | 81.9 |
| WPCSD 687.1 EG/607.1ATH | 0.000 | 0.000 | 0.210 | 0.200 |
| DENS A PTT LB/FT3+G/CM3 | 60.0524 | 0.96195 | 0.1675 | 0.00289 |
| GPH A P T T | | 0.0 | | |
| FT3/SEG A P T T | | | | 2.176 |
| CALOR ESP A PTT BTU/LB-F | 0.2850 | | 0.2983 | |
| CP/CT | 0.0000 | | 1.1452 | |
| COND. TERMIC BTU/H-FT-F | 0.0529 | | 0.0115 | |
| FACTOR COMPRESIBILIDAD | 0.0029 | | 0.9935 | |
| TENS. SUPERFICIAL DIN/CM | 14.1711 | | | |
| ENTALPIA ESP. BTU/LB-MOL | -590.54 | | 2105.77 | |
| ENTALPIA WBTU/H | | 0.0 | | 46.2 |
| MODULO | 2066 | | 2006 | |

*** Archivo de datos: A:BC-DC-01.COM

020050 0 01
 PRODUCTORA DE PET UMAN S.A.S. LEON, GTO.
 S. N. E. P. - SARAGOZA CAMPOS-11 U. N. A. N.
 METODO CORTO PARA EL CALCULO DEL No. DE PLATOS DE LA DC-01
 Asistem Ident:103,240,ac:3,Acad
 Apce nomb: BIS-T ,PB:250.0,TBP:635.0,API:-16.004,W:0.4587,Acad
 Apce nomb: DNT ,PB:174.187,API:-14.004,TBP:550.400,Tc:919.700,
 Pc:403.830,W:0.69120,Acad
 Acomp ap:7410.8267,6580.0425,0.853125,Acad
 ADATOS Pat:11.5054,P:26.2014,T:453.2,RT:0,RE:9,ND:6,NS:1,
 WTS:2,NDP:1,Acad
 1112001 11 0 14 12 15 02 63
 ADATOS KL:1,KN:2,REL:0.95,REN:0.99,IKL:0.05,IKN:0.01,
 TRC:110.0,VR:0.3,RR:0.1,P:26.2014,Acad

PLANTA PRODUCTORA DE PET CONTRATO UMAN
 LOCALIZACION LEON, GTO. FICHA 11 FEB. 1992 12:28:43
 CLIENTE S. N. E. P. - SARAGOZA CAMPOS-11 U. N. A. N.

RECIBO POR S. N. E. P.
AP. POR

METODO CORTO PARA EL CALCULO DEL No. DE PLATOS DE LA DC-01

SINPROC-11

ARCHIVO DE CONSTANTES FISICAS-FEBRO 1991

| R | IDENT | NOBRX | TOP | GF | API | PR | K | WATS6H | WPO/LBN-R |
|-----|---------|-------|---------|----|---------|---------|---|--------|-----------|
| 103 | RETABOL | | 140.186 | | 46.045 | 32.042 | | 10.478 | 2.26700 |
| 0 | BIS-T | | 635.000 | | -16.004 | 250.000 | | 0.412 | 13.86495 |
| 0 | DNT | | 550.400 | | -14.004 | 194.187 | | 0.331 | 11.95069 |

PLANTA PRODUCTORA DE PET CONTRATO UMAN
 LOCALIZACION LEON, GTO. FICHA 11 FEB. 1992 12:28:43
 CLIENTE S. N. E. P. - SARAGOZA CAMPOS-11 U. N. A. N.

RECIBO POR S. N. E. P.
AP. POR

METODO CORTO PARA EL CALCULO DEL No. DE PLATOS DE LA DC-01

SINPROC-11

METODOS DE CALCULO DE PROPIEDADES UTILIZADOS

| PROPIEDAD | METODO | IDENTIFICACION |
|----------------------|-------------------------|----------------|
| ENTALPIA | UNIFAC | 8 |
| CONST. DE EQUILIBRIO | UNIFAC | 8 |
| DENSIDAD | POLIBONIO VOLZHEM NOLAN | 6 |
| ENTROPIA | SOAVE | 1 |
| TENSION SUPERFICIAL | SARBORN-EVANS | 2 |
| DIFUSIVIDAD | HINSWYKLEDER | 1 |

MODULO NO. 1 OPCION 2005
 CORRIENTE B1 = 0
 CORRIENTE B2 = 61
 CORRIENTE B3 = 0

| | | |
|--------------------------|---------|---------|
| PESO MOLECULAR* KATSON | 32.044 | 10.678 |
| DENS RELATIVA A 60 °F/15 | 0.79343 | 46.840 |
| SPD A 60 °F | | 0.0 |
| WPCSD 60F:1 KG/60F.147H | 0.000 | 0.000 |
| DENS A 15 °C/59 °F/CM3 | 0.1032 | 0.00163 |
| FACTOR COMPRESIBILIDAD | | 0.9812 |
| ENTALPIA WSP: BTU/LB-KOL | | 5250.59 |
| ENTALPIA WBTU/LB | | 0.0 |
| KODWLO | | 1112 |

see Archive de datos: 8-28-01.COM

02085D 0 61

PRODUCTORA DE PET UMAN L.A.M. LEON, GTO.

K.M.S.P. - XARAGOZA CARPUS-II U.M.A.M.

METODO RIGUROSO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA DC-01

Asisten Ident:103,249,ac:3,Acad

Appe aob: BIS-Y , Pz:250 0,TBP:635 0,API:-14.004,V:0.4587,Acad

Appe aob: DMT , Pz:194.187,API:-14.004,TBP:550.400,Vc:0.919.786,

Pc:483 830,W:0.69120,Acad

Accep ap:7415.6967,6567.8625,0.853125,Acad

ADATOS Pata:11.5054,P:26.2014,V:453.2,MR:0,MR:0,ND:6,NS:1,

RTS:2,DF:1,Acad

10001061 0 31 14

ADATOS 0P:3,Max:173,RESL:0.0,DESV:220.0,00:0.2,P:26.2014,

0PP:0.2,0PA:2,VR:0.3,Acad

APRIVIL t:174.905,176.059,249.3,249.661,231.789,Acad

P

| | | | | | |
|--------------|---------------------|-----------|--------------|----------|--|
| PLANTA | PRODUCTORA DE PET | CONTRATO | UMAN | | |
| LOCALIZACION | LEON, GTO. | FECHA | 11 FEB. 1992 | 15:55:40 | |
| CLIENTE | U.M.A.M. - XARAGOZA | CARPUS-II | U.M.A.M. | | |

HECHO POR L.A.M.
AP. POR

METODO RIGUROSO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA DC-01

SINPROC-11

ARCHIVO DE CONSTANTES FISICAS-ENERO 1991

| IDENT | NOMBRE | TBP GF | API | PZ | K WATSON | DPN/LEU-Z |
|-------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| 103 | METANOL | 140.406 | 46.845 | 32.042 | 10.678 | 2.76780 |
| 0 | BIS-Y | 635.000 | -14.004 | 250.000 | 8.412 | 13.80495 |
| 0 | DMT | 550.400 | -14.004 | 194.187 | 6.331 | 11.85889 |

| | | | | | |
|--------------|---------------------|-----------|--------------|----------|--|
| PLANTA | PRODUCTORA DE PET | CONTRATO | UMAN | | |
| LOCALIZACION | LEON, GTO. | FECHA | 11 FEB. 1992 | 15:55:40 | |
| CLIENTE | U.M.A.M. - XARAGOZA | CARPUS-II | U.M.A.M. | | |

HECHO POR L.A.M.
AP. POR

METODO RIGUROSO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA DC-01

SINPROC-11

METODOS DE CALCULO DE PROPIEDADES UTILIZADOS

| PROPIEDAD | METODO | IDENTIFICACION |
|----------------------|-------------------------|----------------|
| ENTALPIA | UNIFAC | 8 |
| CONST. DE EQUILIBRIO | UNIFAC | 8 |
| DENSIDAD | POLYMERIO VOLUMEN MOLAR | 6 |
| ENTROPIA | SOAVE | 1 |
| TENSION SUPERFICIAL | SANBORN-RYANS | 2 |
| DIFUSIVIDAD | BIENSTADLER | 1 |

MODELO NO. 1 OPCION 2005
 CORRIENTE M1 = 0
 CORRIENTE M2 = 61

| | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| TOTAL LB-MOL/H | 257.724 | 100.000 | 220.033 | 100.000 | 37.691 | 100.000 |
| FLUJO TOTAL LB/H = KG/H | 13986. | 6344. | 7450. | 3188. | 6930. | 3146. |
| TEMPERATURA P = C | 453.20 | 236.00 | 338.30 | 170.10 | 453.27 | 236.76 |
| PRESION PSIG/KG/CM2 BAR. (P. ATM = 11.3454 PSIA) | 14.70 | 1.033 | 9.70 | 0.682 | 15.20 | 1.075 |
| PESO MOLECULAR K WATSON | 54.287 | 8.614 | 32.042 | 10.070 | 104.011 | 0.532 |
| DENS RELATIVA A 60 °F/API | 0.85800 | 17.321 | 0.70341 | 40.045 | 1.18000 | -12.601 |
| KPO A 60 °F | 1000.1 | | 600.0 | | 300.1 | |
| HEPCSD 60F.1 EG+00F.1ATW | 2.463 | 2.347 | 2.103 | 2.004 | 0.360 | 0.343 |
| DENS A PTT LB/FT3/CG/CM3 | 0.1554 | 0.03249 | 0.1274 | 0.02020 | 0.1536 | 1.000 |
| GVN A P T T | | | | | | 12.0 |
| FT3/SEG A P T T | | | 10.975 | | | |
| VAPORIZACION MOLAR/PESO | 0.94240 | 0.73690 | | | | |
| FACTOR COMPRESIBILIDAD | | | 0.9012 | | 0.0103 | |
| TRANS. SUPERFICIAL DIM/CM | 24.7794 | | | | | |
| DIFUSIVIDAD CM2/SEG | 0.0916 | | | | | |
| ENTALPIA ESP. BTU/LB-MOL | 0766.72 | | 5250.00 | | -8058.30 | |
| ENTALPIA KBTU/H | 2264.5 | | 1155.2 | | -337.6 | |
| BOBULO | 2805 | | 10001 | | 10001 | |

A P E N D I C E B

LISTADO GENERADO
POR EL PROGRAMA DEL
METODO GUTHRIE

METODO GUTHRIE

M E N U P R I N C I P A L

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1) MODULO DE PROCESO | 6) MODULO DE SERVICIOS |
| 2) MODULO DE INDIRECTOS | 7) SUBMODULO DE TUBERIAS |
| 3) MODULO DE DESARROLLO DEL SITIO | 8) CALCULO DE TODOS LOS MODULOS |
| 4) MODULO DE EDIFICIOS INDUSTRIALES | 9) CALCULO DE LA INVERSION FIJA TOTAL |
| 5) MODULO DE MANEJO DE SOLIDOS | 10) EFECTUAR OTRO CALCULO |
| 11) FINALIZAR LA SESION DE CALCULO | |

6 DIGITE SU OPCION -

PERFIL TECNICO-ECONOMICO PET

 n RESULTADOS DEL MODULO n
 n DE PROCESO n

 COSTOS TOTALES POR MATERIAL AUXILIAR

BOMBAS

| | DOLARES | PESOS |
|---|----------|-----------|
| ACERO | .00 | .00 |
| AISLAMIENTO | 130.14 | 1626.77 |
| CONCRETO | 208.23 | 2602.83 |
| ELECTRICO | 1613.76 | 20171.97 |
| INSTRUMENTACION | 156.17 | 1952.13 |
| PINTURA | 41.65 | 520.57 |
| TUBERIA | 1572.11 | 19651.40 |
| MATERIALES EN CAMPO, m | 3722.05 | 46525.68 |
| COSTO DIRECTO POR MATERIAL, E + m - M | 8927.72 | 111596.50 |
| COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA EN CAMPO, L | 3628.35 | 45354.33 |
| COSTO DIRECTO M&L | 12556.08 | 156950.90 |

COSTOS TOTALES POR MATERIAL AUXILIAR

INTERCAMBIADORES DE CALOR

| | DOLARES | PESOS |
|---|-----------|------------|
| ACERO | 6063.63 | 75795.38 |
| AISLAMIENTO | 9701.81 | 121272.60 |
| CONCRETO | 10106.05 | 126325.60 |
| ELECTRICO | 4042.42 | 50530.25 |
| INSTRUMENTACION | 20414.22 | 255177.80 |
| PINTURA | 1010.61 | 12632.56 |
| TUBERIA | 91156.58 | 1139457.00 |
| MATERIALES EN CAMPO, m | 142495.30 | 1781192.00 |
| COSTO DIRECTO POR MATERIAL, E + m = M | 344616.30 | 4307705.00 |
| COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA EN CAMPO, L | 123698.10 | 1546226.00 |
| COSTO DIRECTO M&L | 431932.60 | 5399158.00 |

COSTOS TOTALES POR MATERIAL AUXILIAR

RECIPIENTES VERTICALES

| | DOLARES | PESOS |
|---|----------|-----------|
| ACERO | 1852.98 | 23162.22 |
| AISLAMIENTO | 1852.98 | 23162.22 |
| CONCRETO | 2316.22 | 28952.78 |
| ELECTRICO | 1158.11 | 14476.39 |
| INSTRUMENTACION | 2663.66 | 33295.69 |
| PINTURA | 301.11 | 3763.86 |
| TUBERIA | 13897.33 | 173716.70 |
| MATERIALES EN CAMPO, m | 24042.39 | 300529.80 |
| COSTO DIRECTO POR MATERIAL, E + m = M | 47204.61 | 590057.60 |
| COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA EN CAMPO, L | 22976.92 | 287211.50 |
| COSTO DIRECTO M&L | 70181.53 | 877269.10 |

COSTOS TOTALES POR MATERIAL AUXILIAR

RECIPIENTES HORIZONTALES

| | DOLARES | PESOS |
|---|----------|-----------|
| ACERO | .00 | .00 |
| AISLAMIENTO | 1336.84 | 16710.54 |
| CONCRETO | 1593.93 | 19924.10 |
| ELECTRICO | 1336.84 | 16710.54 |
| INSTRUMENTACION | 1593.93 | 19924.10 |
| PINTURA | 128.54 | 1606.78 |
| TUBERIA | 10566.20 | 132077.50 |
| MATERIALES EN CAMPO, m | 16582.00 | 207275.00 |
| COSTO DIRECTO POR MATERIAL, E + m = M | 42290.51 | 528631.40 |
| COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA EN CAMPO, L | 15810.74 | 197634.20 |
| COSTO DIRECTO M&L | 58101.25 | 726265.60 |

COSTOS TOTALES POR MATERIAL AUXILIAR

COSTO TOTAL

| | DOLARES | PESOS |
|---|-----------|------------|
| ACERO | 7916.61 | 98957.60 |
| AISLAMIENTO | 13021.77 | 162772.10 |
| CONCRETO | 14224.43 | 177805.30 |
| ELECTRICO | 8151.13 | 101889.10 |
| INSTRUMENTACION | 24827.98 | 310349.70 |
| PINTURA | 1481.90 | 18523.78 |
| TUBERIA | 117192.20 | 1464903.00 |
| MATERIALES EN CAMPO, m | 186841.80 | 2335522.00 |
| COSTO DIRECTO POR MATERIAL, E + m = M | 443039.20 | 5537990.00 |
| COSTO DIRECTO POR MANO DE OBRA EN CAMPO, L | 166114.10 | 2076426.00 |
| COSTO DIRECTO M&L | 572771.40 | 7159643.00 |

| | | |
|---|------------------|-------------------|
| INGENIERIA | 93095.98 | 1163700.00 |
| SUPERVISION DE LA CONSTRUCCION | 123240.40 | 1540505.00 |
| IMPUESTO TOTAL | 68044.26 | 850553.30 |
| COSTO TOTAL DEL MODULO | 297190.50 | 3714881.00 |