



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

01149

6  
2g.

---

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DE OPORTUNIDADES DE PREVENCIÓN DE  
LA CONTAMINACIÓN EN UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RESINAS  
POLIÉSTER

*Tesis*  
*que para obtener el grado de*  
*Maestro en Ingeniería*  
*presenta*  
Arturo Rodríguez Abitia

Director: Dra. Georgina Fernández Villagómez

México, D.F. 1999



---

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# CONTENIDO

	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS	1
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	3
GLOSARIO DE TÉRMINOS	7
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABLAS	11
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
1.1 Objetivo y limitaciones del estudio	17
1.1.1 Objetivo general	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
1.1.3 Limitaciones	18
1.2 Metodología	18
<b>2 ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA EN MÉXICO</b>	<b>23</b>
2.1 Importancia de la Industria Química en México	24
2.2 Producción de resinas sintéticas	25
<b>3 PROCESOS DE FABRICACIÓN DE RESINAS SINTÉTICAS</b>	<b>29</b>
3.1 Antecedentes históricos	29
3.2 Fabricación de resinas sintéticas	30
3.3 Química de las resinas poliéster insaturadas	31
3.4 Procesos de fabricación de resinas poliéster	33
<b>4 PRODUCCIÓN DE RESINAS POLIÉSTER EN UNA PEQUEÑA EMPRESA</b>	<b>39</b>
4.1 Ciclo de vida de la resina de poliéster en la empresa	39
4.2 Descripción de las instalaciones	40
4.3 Producción	43
4.3.1 Descripción del proceso en la empresa	43
4.3.2 Balance de materiales	49
4.3.3 Balance de energía	53
4.3.4 Efectos sobre la salud e impactos ambientales durante el proceso	61
4.3.5 Costos asociados al proceso de producción	71
4.4 Productividad e inventarios	73
4.4.1 Productividad de la empresa	73
4.4.2 Inventarios	74
<b>5 OPORTUNIDADES DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN</b>	<b>77</b>
5.1 Sustitución de materiales	77
5.1.1 Sustitución de monoetilenglicol por dietilenglicol	77
5.1.2 Sustitución de dietilenglicol por monoetilenglicol	77
5.1.3 Sustitución de anhídridos por ácidos di o policarboxílicos	78
5.1.4 Sustitución de anhídrido maléico por ácido fumárico	78
5.1.5 Sustitución de CO <sub>2</sub> por N <sub>2</sub> como gas inerte	78
5.1.6 Sustitución de tolueno por xileno	78
5.1.7 Sustitución de estireno por alfa-metilestireno	79
5.1.8 Sustitución de estireno por vinil-tolueno	79

5.1.9	Sustitución de estireno por ftalato de dialilo	80
5.1.10	Sustitución de hidroquinona por quinona	80
5.1.11	Sustitución de hidroquinona por <i>terbutilcatecol</i>	80
5.1.12	Sustitución de <i>thinner</i> por vapor	80
<b>5.2</b>	<b>Mejoras en la eficiencia del proceso de producción</b>	<b>82</b>
5.2.1	Corrección de la relación estequiométrica	82
5.2.2	Sistema de enfriamiento y uso de glicoles como refrigerante	82
5.2.3	Equipamiento para el control del proceso	83
5.2.4	Uso de tambores reciclados	83
5.2.5	Uso de recipientes con mayor capacidad para el producto	83
<b>5.3</b>	<b>Mejores prácticas operativas y administrativas</b>	<b>84</b>
5.3.1	Corrección de fugas en válvulas y bridas	84
5.3.2	Limpieza de equipo	85
5.3.3	Reducción de la distancia de recorrido del aceite térmico	85
5.3.4	Corrección del aislamiento térmico en el sistema de calentamiento	86
5.3.5	Sustitución de bombas	86
5.3.6	Envasado del producto terminado	87
5.3.7	Control del proceso	87
5.3.8	Manejo de inventarios	88
<b>5.4</b>	<b>Reuso, reciclado y recuperación</b>	<b>89</b>
5.4.1	Uso de glicoles como refrigerante	89
5.4.2	Recuperación de tambores sin el uso de <i>thinner</i>	89
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS</b>	<b>91</b>
6.1	Análisis técnico de las alternativas	91
6.2	Evaluación económica de las alternativas	95
<b>7</b>	<b>COMENTARIOS COMPLEMENTARIOS</b>	<b>103</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>109</b>
8.1	Conclusiones	109
8.2	Recomendaciones	109
	LITERATURA CONSULTADA	111
	ANEXO 1: LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD AMBIENTAL	115
	ANEXO 2: MEMORIA DE CÁLCULO	123
	ANEXO 3: CERTIFICACIÓN DE LA EMPRESA EN ISO 9000 e ISO 14000	135
	ANEXO 4: MEMORIA FOTOGRÁFICA	141

## AGRADECIMIENTOS

"No hay pasajeros en la Nave Espacial Tierra; todos somos tripulantes" dijo en una ocasión Marschall McLuhan, un famoso comunicólogo canadiense. No cabe duda de que la búsqueda de una forma de pensar y de actuar que nos ofrezca la posibilidad de trascender como especie durante nuestra breve estancia en el universo es una tarea de todos los habitantes de este hermoso planeta. Cuando en 1962 se publicó por primera vez el famoso libro de Rachel Carson *Primavera Silenciosa* la autora alertó al mundo sobre los peligros del uso indiscriminado de plaguicidas; a partir de entonces la consideración de los aspectos ambientales ha venido creciendo de manera significativa tanto en la actividad gubernamental como en los ámbitos social y empresarial. Como tripulantes de la nave Tierra compartimos una responsabilidad sobre nuestro destino, una responsabilidad que demanda una actitud comprometida de cada uno de nosotros, en nuestras esferas de influencia, para garantizar un mejor futuro para nuestros hijos.

Mi incursión en la disciplina ambiental ha sido fruto de la convicción de que la búsqueda de un mejor futuro compete a todos nosotros, de que es necesario un compromiso en nuestros actos para alcanzar dicho objetivo, y de que nuestro entorno es una parte primordial de la calidad de vida.

Este trabajo no pretende ser nada más que una pequeña contribución a un mejor mañana para Andrea.

Quiero hacer patente mi agradecimiento a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron al desarrollo de este trabajo. Sería para mí una tarea ardua e interminable citar a todas esas personas ya que siempre he estado convencido de que hasta el más pequeño detalle tiene un valor incalculable en el logro de una meta. Sin embargo y de manera especial quiero manifestar mi gratitud a las siguientes personas:

*Dra. Georgina Fernández Villagómez, por su atinada dirección.*

*Fulvio Mendoza Rosas, por creer en mi proyecto, su apoyo y comprensión.*

*Ade, cuya alegría es tan importante para mí.*

*Andrea, esa pequeña criatura que alegra mi corazón.*

*"La necesidad de lo maravilloso es la llave del mundo de los sueños"*  
Lacassin, Francis

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACAAN	<i>Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte. Mejor conocido como acuerdo paralelo en materia ambiental del TLCAN.</i>
ANIQ	<i>Asociación Nacional de la Industria Química</i>
BTU	<i>Unidad térmica inglesa (British thermal unit). Es la cantidad de energía necesaria para aumentar un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua, lo que corresponde a 1054.8 joules.</i>
Canacindra	<i>Cámara Nacional de la Industria de Transformación</i>
CAS	<i>Servicio de Resúmenes Químicos (Chemical Abstracts Service)</i>
CCA	<i>Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte</i>
CERCLA	<i>Acta sobre Responsabilidad, Compensación y Respuesta Ambiental de los Estados Unidos. (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act). El Acta entró en vigor en 1980 con el fin de restaurar sitios contaminados con residuos peligrosos y es mejor conocida como Superfund.</i>
CO	<i>Monóxido de carbono</i>
CO <sub>2</sub>	<i>Dióxido de carbono</i>
Concamín	<i>Confederación de Cámaras Industriales de México</i>
COV's	<i>Compuestos orgánicos volátiles</i>
DOF	<i>Diario Oficial de la Federación</i>
EP3	<i>Proyecto de Prevención de la Contaminación Ambiental (Environmental Pollution Prevention Project). Es un programa de cinco años financiado por la USAID para promover el enfoque de prevención de la contaminación en países en desarrollo. El programa terminó en 1998 en México.</i>
Fiprev	<i>Fondo para Proyectos de Prevención de la Contaminación</i>
ft <sup>2</sup>	<i>Pie cuadrado. Unidad de superficie del sistema inglés de unidades.</i>
GATT	<i>Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (General Agreement on Trade and Tariffs)</i>
HC	<i>Hidrocarburos</i>

Hp	<i>Caballo de potencia. Unidad de potencia equivalente a 745.7 watts</i>
INE	<i>Instituto Nacional de Ecología</i>
ISO	<i>Organización Internacional de Normas (International Standards Organisation)</i>
IUPAC	<i>Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (International Union of Pure and Applied Chemistry)</i>
LGEEPA	<i>Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente</i>
lp	<i>Liculado de Petróleo (Gas)</i>
MJ	<i>Megajoule. Un joule es una unidad de energía del sistema internacional de unidades equivalente a 0.239 calorías</i>
N <sub>2</sub>	<i>Nitrógeno</i>
Nafin	<i>Nacional Financiera</i>
NFPA	<i>Agencia Nacional de Protección contra Incendios de los Estados Unidos (National Fire Protection Agency)</i>
NMX	<i>Norma Mexicana</i>
NOM	<i>Norma Oficial Mexicana</i>
NOx	<i>Oxidos de nitrógeno</i>
NTE	<i>Norma Técnica Ecológica</i>
OMC	<i>Organización Mundial de Comercio</i>
ONUDI	<i>Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial</i>
PC	<i>Prevención de la contaminación</i>
PET	<i>Tereftalato de Polietileno</i>
PIB	<i>Producto Interno Bruto. Equivale al valor de todos los bienes y servicios producidos en un año determinado</i>
PNUMA	<i>Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente</i>
ppm	<i>Partes por millón</i>
PRI	<i>Periodo de recuperación de la inversión</i>

psig	<i>Unidad de presión del sistema inglés que corresponde a libras por pulgada cuadrada. En el sistema internacional de medidas un Pascal (<math>1 \text{ N/m}^2</math>) = <math>1.4504 \times 10^{-4} \text{ lb/in}^2</math>.</i>
PVC	<i>Policloruro de vinilo, más conocido como Cloruro de polivinilo</i>
SARA	<i>Ley de Reforma y Ratificación del Fondo Extraordinario de los Estados Unidos (Superfund Amendment and Reauthorization Act). El acta entró en vigor en 1986 con el fin de modificar algunas disposiciones del Superfund (CEACLA)</i>
Secofi	<i>Secretaría de Comercio y Fomento Industrial</i>
Semarnap	<i>Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca</i>
STPS	<i>Secretaría del Trabajo y Previsión Social</i>
TFE	<i>Tetra fluoroetileno</i>
TLCAN	<i>Tratado de Libre Comercio de América del Norte</i>
USAID	<i>Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (United States Agency for International Development). Depende del Departamento del Interior de ese país.</i>
U.S. EPA	<i>Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (United States Environmental Protection Agency)</i>



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aforo	<i>nivel. Medición del volumen de líquido que lleva una corriente en una unidad de tiempo.</i>
Amina	<i>derivado orgánico del amoníaco en el que uno, dos o tres hidrógenos son reemplazados por grupos alquilo o arilo. Se clasifican en primarias, secundarias y terciarias según el número de átomos de hidrógeno del amoníaco que han sido sustituidos.</i>
Anhídrido	<i>el término significa "sin agua". Es una forma reactiva de un ácido carboxílico que contiene un monómero al que se ha removido una molécula de agua.</i>
Cianosis	<i>coloración azulada de la piel y de las mucosas.</i>
Condensación	<i>proceso de polimerización en el que la unidad de repetición tiene diferente composición que el monómero.</i>
Conductividad térmica	<i>capacidad de los materiales para dejar pasar calor a través de su masa. Esta propiedad se mide por el coeficiente de conductividad térmica que se define como la cantidad de calor que pasa por unidad de tiempo a través de una unidad de superficie, una unidad de espesor y con una diferencia de un grado entre la cara caliente y la cara fría.</i>
Costo de oportunidad de capital	<i>es el costo de no utilizar el dinero en alguna alternativa de inversión segura.</i>
Destilación azeotrópica	<i>destilación en donde la mezcla mantiene una composición constante.</i>
Disnea	<i>dificultad de la respiración.</i>
Enlace covalente	<i>enlace químico formado entre dos átomos que comparten un par de electrones.</i>
Epóxido	<i>compuesto caracterizado por constituir un anillo de tres eslabones que contiene un átomo de oxígeno. También se conoce como oxirano y se produce de la reacción de un perácido con un alqueno.</i>
Ester	<i>derivado alcohólico de ácidos carboxílicos. Son comunes en la naturaleza y los que son volátiles generalmente poseen un aroma perfumado y afrutado. Las grasas y las ceras son ésteres. Son insolubles en agua pero solubles en alcohol.</i>

Estequiometría	<i>área de la química que se ocupa de las relaciones cuantitativas entre reactivos y productos.</i>
Esterificación	<i>proceso mediante el cual se produce un éster.</i>
Exotérmico	<i>proceso de reacción en el que se libera calor.</i>
Gelación	<i>proceso que adopta una materia en dispersión coloidal cuando el movimiento browniano de las partículas se detiene, formando un semisólido llamado gel.</i>
Glicol	<i>denominación que se le da comúnmente a los dioles. Se les nombra a partir del alqueno correspondiente seguido de la palabra glicol.</i>
Insaturado	<i>no saturado. Compuesto orgánico cuyas moléculas contienen uno o más enlaces covalentes dobles o triples.</i>
Isomerización	<i>fenómeno en el que dos compuestos tienen la misma fórmula pero distintas estructuras moleculares.</i>
Isótopos	<i>átomos de un elemento que tienen el mismo número atómico pero diferente masa atómica. Los isótopos solo varían en el número de neutrones en su núcleo.</i>
Metal alcalino	<i>elementos pertenecientes al grupo IA de la tabla periódica, con excepción del hidrógeno (Li, Na, K, Rb, Cs y Fr)</i>
Metal alcalinotérreo	<i>elementos pertenecientes al grupo IIA de la tabla periódica (Be, Mg, Ca, Sr, Ba y Ra)</i>
Mol	<i>cantidad de una sustancia que contiene el mismo número de unidades fórmula (<math>6.022 \times 10^{23}</math>) que hay en exactamente 12 g de carbono 12. Un mol es igual al peso molecular en gramos de cualquier sustancia.</i>
Monómero	<i>molécula pequeña a partir de la cual se constituye un polímero.</i>
Mutagénico	<i>propiedad de un compuesto para producir un cambio permanente en la información genética de un organismo.</i>
Número ácido	<i>volumen de hidróxido de potasio (en mg) requerido para neutralizar los ácidos libres contenidos en un gramo de resina.</i>
Ortoftálico	<i>compuesto derivado del anhídrido ftálico caracterizado por constituir un anillo de seis eslabones con dos grupos funcionales contiguos.</i>

Peso atómico	<i>masa relativa promedio de los isótopos de un elemento basada en un valor de la masa atómica del carbono 12 exactamente igual a 12 unidades de masa atómica..</i>
Poliéster	<i>polímero constituido por moléculas de éster y producido mediante un proceso de condensación.</i>
Polimerización	<i>proceso mediante el cual se produce un polímero.</i>
Polímero	<i>macromolécula constituida por un gran número de pequeñas moléculas repetidas. Se clasifican en tres grupos generales: elastómeros, fibras y plásticos.</i>
Prevención de la contaminación	<i>utilización de materiales, procesos o prácticas con el fin de reducir o eliminar la generación de contaminantes o residuos en la fuente de su origen.</i>
Reacción exotérmica	<i>reacción química en la que se libera calor.</i>
Reactivo limitante	<i>reactivo en una reacción química que limita la cantidad de producto que se forma. La limitación se presenta debido a que en la reacción se emplea una cantidad insuficiente de reactivo en comparación con las cantidades de los demás reactivos.</i>
Resina poliéster	<i>polímero de moléculas éster diluido en un monómero vinílico.</i>
Resina sintética	<i>compuesto químico artificial análogo a la resina natural.</i>
Tasa de descuento	<i>es la pérdida de valor del dinero en un periodo determinado de tiempo. Su valor puede equipararse a la tasa de interés ofrecida por otras alternativas de inversión comparables.</i>
Tasa de retorno	<i>es la relación obtenida entre las ganancias obtenidas y la inversión realizada.</i>
Teratogénico	<i>propiedad de un compuesto para producir alteraciones en el desarrollo de un embrión o un feto.</i>
Termofijo	<i>tipo de polímero que no se suaviza notoriamente al calentarse. Generalmente estos polímeros poseen enlaces cruzados.</i>
Termoplástico	<i>tipo de polímero que se suaviza y derrite por la acción del calor y se solidifica al enfriarse. Generalmente tiene una estructura lineal o ramificada.</i>
Tinnitus	<i>tintineo, zumbido del oído.</i>
Valor presente neto	<i>valor actual de una inversión tomando en consideración una tasa de descuento y una serie de ingresos y desembolsos futuros.</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Cambio en el énfasis de prioridades en el manejo de residuos	14
Figura 2 Relación entre el producto, el proceso y las actividades administrativas en la empresa	19
Figura 3 Método usado en la realización del estudio	20
Figura 4 Evolución histórica de la producción de resinas sintéticas en México	25
Figura 5 Índice de productividad total para el sector manufacturero, la industria química y la producción de resinas sintéticas	26
Figura 6 Participación de las resinas poliéster en la producción de resinas sintéticas (1996)	27
Figura 7 Participación de las resinas poliéster en el volumen de producción de resinas sintéticas	28
Figura 8 Exportaciones e importaciones de resinas poliéster en el periodo 1991-1996 (Ton)	28
Figura 9 Origen y destino de la resina poliéster	40
Figura 10 Arreglo general de la planta y flujos mas importantes de materiales	41
Figura 11 Diagrama de bloques del proceso e identificación de corrientes	46
Figura 12 Diagrama de bloques del proceso (equipo electromecánico)	47
Figura 13 Secuencia de operaciones del proceso de producción de resina poliéster	48
Figura 14 Manejo de tambores hacia, en y desde la empresa	49
Figura 15 Balance de materiales del proceso (kg)	52
Figura 16 Descripción del sistema de estudio para el balance de energía	53
Figura 17 Evolución de la temperatura de la mezcla de reacción durante el proceso	56
Figura 18 Contribución de las distintas fases de calentamiento del reactor al total de la energía proporcionada durante la esterificación	57
Figura 19 Contribución de los distintos componentes del equipo al consumo eléctrico	60
Figura 20 Principales impactos ambientales en la producción de resinas poliéster	67
Figura 21 Contribución de los distintos costos de insumos a los costos de producción	72
Figura 22 Contribución de los distintos materiales en el costo total de los insumos básicos	72
Figura 23 Contribución de los distintos materiales y energía en el costo total de los insumos secundarios	73

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Diferencias entre los enfoques de prevención y control de la contaminación	16
Tabla 2 Exportaciones de la Industria Química en millones de dólares	24
Tabla 3 Balance de materiales del proceso (kg)	51
Tabla 4 Energía utilizada durante el proceso de calentamiento de la mezcla de reacción	57
Tabla 5 Contribución de las distintas fases de calentamiento del reactor al balance de calor (MJ)	57
Tabla 6 Balance de calor (MJ)	59
Tabla 7 Consumo eléctrico durante el proceso de producción	59
Tabla 8 Características generales de los principales insumos utilizados en el proceso de producción	66
Tabla 9 Contaminantes generados durante la producción de un lote de resina poliéster	70
Tabla 10 Resumen de costos de producción para un lote de resina poliéster	71
Tabla 11 Resumen de alternativas de sustitución de materias primas	81
Tabla 12 Resumen de alternativas para hacer más eficiente el proceso	84
Tabla 13 Resumen de alternativas sobre mejores prácticas operativas	88
Tabla 14 Resumen de alternativas para el reuso y reciclado de insumos de producción	89
Tabla 15 Materiales de empaque para válvulas y bridas	93
Tabla 16 Comparación entre distintas formulaciones de resina poliéster	96
Tabla 17 Costos de indicadores de nivel para el reactor y el tanque de corte	96
Tabla 18 Evaluación económica del uso de tanques de mayor capacidad	97
Tabla 19 Costos de válvulas de control y periodo esperado de recuperación de la inversión	98
Tabla 20 Pérdidas de calor en la tubería del sistema de calentamiento y costos asociados	99

<i>Tabla 21 Costos del material aislante para la tubería del sistema de calentamiento</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 22 Comparación de bombas de circulación de aceite</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 23 Comparación de bombas de alimentación de glicoles</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 24 Comparación de costos entre distintos manejos de inventario de materias primas</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 25 Resumen de alternativas de prevención de la contaminación</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 26 Areas de reducción de pérdidas y de oportunidades de prevención de la contaminación</i>	<i>105</i>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

La naturaleza de la actividad industrial implica la utilización de materias primas para ser transformadas en productos mediante procesos que consumen energía y en los cuales se generan residuos, emisiones y descargas a distintos medios. La capacidad del medio ambiente para asimilar dicha contaminación es limitada y los recursos del planeta son claramente finitos si se atiende a la capacidad tecnológica disponible hasta ahora. Uno de los retos del desarrollo sustentable es utilizar los recursos de una manera racional, así como proteger su permanencia y disponibilidad para las generaciones futuras.

La industria de fabricación de resinas sintéticas es un sector de la industria química que ha experimentado un crecimiento importante en los últimos años, presumiblemente debido a su vinculación con las actividades de exportación que han sido fuertemente promovidas por la política de apertura económica que ha caracterizado al país desde su entrada al GATT<sup>1</sup> en 1986 y muy especialmente a partir de su ingreso al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994<sup>2</sup>. La producción de éstas incluye la fabricación de resinas acrílicas, epóxicas, alquidálicas, fenólicas y poliéster entre otras. Las actividades que implica su producción incluyen el uso de sustancias peligrosas y la generación de una variedad de contaminantes que son emitidos, descargados y dispuestos en los distintos medios y entre los que se encuentran muchos de naturaleza peligrosa.

Las nuevas exigencias de competitividad que la industria mexicana enfrenta como consecuencia de la apertura comercial requieren de un esfuerzo para hacer a las empresas más eficientes económica y ambientalmente. En este sentido, los enfoques tradicionales en los que se recurre a tecnologías de control de la contaminación no son suficientes para enfrentar esta problemática dado que no permiten nada más que cumplir con la normatividad ambiental.

El uso de tecnologías de control y tratamiento ha sido la estrategia tradicional para contender con los problemas ambientales de la industria. Aunque ha probado ser más o menos efectiva en algunos casos, es claro que no ha sido suficiente para alcanzar los objetivos de protección ambiental que se desean, y que ha sido una forma cara para cumplir con la normatividad ambiental. Actualmente está ocurriendo un cambio en la

---

<sup>1</sup> El Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio se convirtió en la ahora Organización Mundial de Comercio.

<sup>2</sup> Al firmarse el TLCAN se firmaron también dos acuerdos paralelos, uno en materia laboral y otro en materia ambiental: el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte. El TLCAN es el primer y único acuerdo comercial en todo el mundo que incluye provisiones de carácter ambiental.

percepción de la forma en que se debe atender la problemática ambiental (Figura 1) de la industria y en vez de tratar o disponer la mayor parte de los residuos se busca ahora evitar su creación en la fuente de su origen.

Desde 1976 la política ambiental de los Estados Unidos incluye una jerarquía de manejo de residuos (U.S. EPA, 1976) que ha sido adoptada en muchos otros países, incluyendo México (Poder Ejecutivo Federal, 1996).

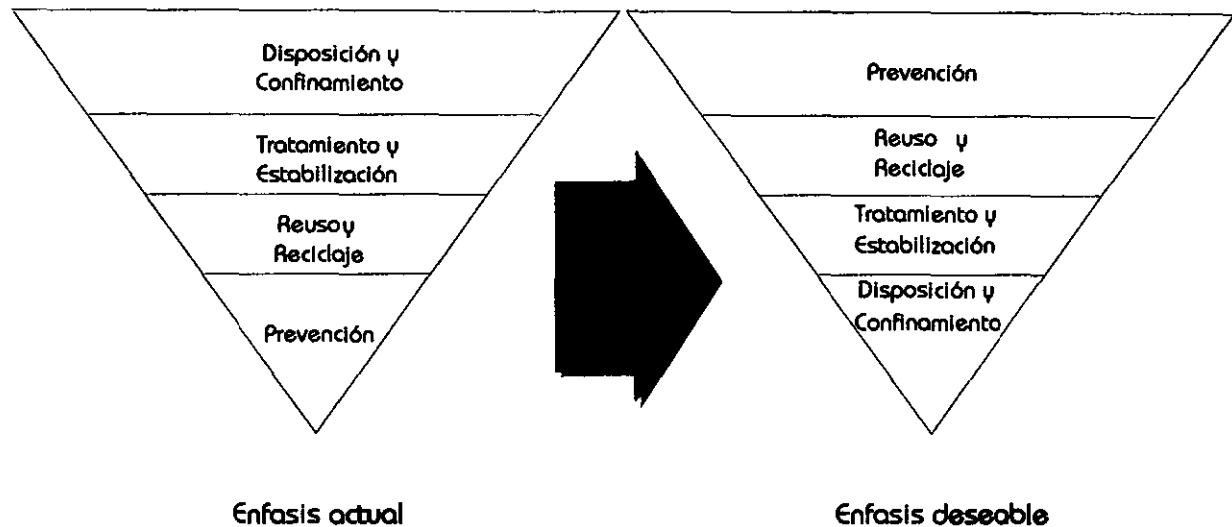


Figura 1 Cambio en el énfasis de prioridades en el manejo de residuos

Bajo esta relativamente nueva perspectiva, mientras mayor énfasis es puesto en la parte superior de la jerarquía más cerca se está de un enfoque sustentable. Aún cuando pueden obtenerse beneficios en todas las categorías, las oportunidades para reducir los riesgos a la salud y al ambiente son mayores en la parte superior, al tiempo que los costos económicos generalmente son menores. Las categorías son complementarias, por lo que cuando una opción no es viable para evitar un impacto a la salud o al ambiente se considera la siguiente alternativa hacia abajo.

La estrategia de prevención adquiere entonces la mayor relevancia. El término de "prevención de la contaminación" fue acuñado y definido en 1990<sup>3</sup> por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S. EPA) como la "utilización de materiales, procesos o prácticas con el fin de reducir o eliminar la generación de contaminantes o residuos en la fuente de su origen". Con este enfoque es posible obtener una mejora en la

<sup>3</sup> El concepto es definido en el Acta de Prevención de la Contaminación de los Estados Unidos aprobada por el congreso de ese país en octubre de 1990 (Freeman, 1992). Un concepto sumamente similar es el de Producción más Limpia, el cual fue acuñado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en mayo de 1989 (Huisingsh y Baas, 1991).

eficiencia de los procesos a través del uso más eficiente de las materias primas y de la energía que deriva en beneficios económicos para la empresa.

La prevención de la contaminación vincula metas económicas y ambientales en una forma que el comportamiento empresarial es acorde con el desarrollo sustentable al integrar el crecimiento económico con el mejoramiento del desempeño ambiental de las empresas. La dimensión económica implícita en el concepto de prevención de la contaminación lo hace atractivo para la industria y otras actividades productivas, ya que es más razonable dejar de producir residuos que gastar dinero y recursos en el tratamiento y disposición final de éstos. Este es un aspecto sumamente importante desde el punto de vista de sustentabilidad debido a que un programa de prevención de la contaminación bien establecido representa una alternativa que no es considerada un obstáculo para la operación de la empresa, sino un estímulo para mejorar la posición de la misma haciéndola más limpia, eficiente y competitiva.

La prevención de la contaminación no es una actividad estática ni solamente ligada al avance tecnológico. De hecho, en la mayoría de los casos la puesta en marcha de simples cambios operativos conduce a avances significativos en el desempeño de las industrias. Estos cambios pueden estar relacionados con la capacitación y motivación del personal en ciertos aspectos, un mejor manejo de los inventarios, mejor planificación e instrumentación de los programas de mantenimiento, o la modificación de las estructuras y procedimientos administrativos. La prevención de la contaminación es una actividad constante y no se limita a la instrumentación de algunas medidas identificadas como benéficas para la empresa, sino que implica la revisión constante de las prácticas administrativas y operacionales de la misma en un proceso de mejora continua. Típicamente las actividades de prevención de la contaminación incluyen cambios en:

- Las materias primas que entran al proceso. La utilización de materias primas de mayor calidad y pureza evita la generación de residuos no deseados, incrementa la eficiencia de los procesos y aumenta la vida útil de los equipos. También la sustitución de materias primas por otros materiales menos contaminantes o peligrosos redundará en la generación de residuos menos contaminantes y reducirá los costos de tratamiento o disposición de los mismos.
- Los productos. Muchos beneficios pueden obtenerse mediante el rediseño de los productos: es posible reducir la cantidad de materiales utilizados con las consecuentes ventajas económicas y ambientales al reducir la demanda por recursos naturales, además de disminuir los impactos ambientales que se generan durante su proceso de producción y durante su utilización y consumo. Otros cambios en los productos pueden incluir la sustitución misma de éste por otro que pueda satisfacer mejor las necesidades para las que fue diseñado, al mismo tiempo que reduce los impactos al ambiente; modificaciones en la composición del producto para incluir materiales menos contaminantes y en menores cantidades, y el rediseño del producto para prolongar su vida útil y garantizar el reuso o reciclamiento de sus componentes.



- Buenas y mejores prácticas operativas que incluyen medidas administrativas y procedimentales para disminuir la generación de contaminantes como son el desarrollo e instrumentación de programas de producción limpia, sistemas de incentivos para los trabajadores, capacitación continua a los trabajadores para el manejo eficiente de materiales y equipos, programas eficientes de mantenimiento de equipos e instalaciones, sistemas de administración ambiental, manejo eficiente de inventarios, separación de residuos y programación de la producción entre otras.
- Cambios tecnológicos orientados a modificaciones en el producto, el proceso o el equipo para aumentar la eficiencia en el uso de materias primas y energía para así reducir la generación de residuos y emisiones.
- Reuso y reciclamiento tanto del producto y/o sus componentes, como de los distintos residuos que se generan durante el proceso de su producción, ya sea en éste mismo o en otros procesos.

De esta manera, las diferencias entre el enfoque tradicional de control de la contaminación y el más reciente enfoque preventivo se hacen más patentes, como puede observarse en la Tabla 1 a continuación:

*Tabla 1 Diferencias entre los enfoques de prevención y control de la contaminación*

Prevención de la contaminación	Control de la contaminación
Anticipativo (producto y proceso) Precautorio (evita la generación de residuos) Proactivo (mejoramiento continuo) Soluciones de largo plazo Atiende a todos los medios simultáneamente (multimedia) Puede realizarse en cualquier parte del ciclo de vida Considera más que sólo los aspectos técnicos Costo efectivo Genera ahorros al evitar responsabilidades futuras por daños a la salud y el ambiente Es una estrategia universal que depende de los recursos locales disponibles Normalmente no requiere expertos externos Su objeto es hacer más competitiva a la empresa	Genera residuos secundarios Reactivo Soluciones de corto plazo Atiende a un medio específico (transferencia entre medios) Implica la adición de equipos, generalmente al final del proceso (final del tubo) Considera sólo aspectos técnicos Requiere capital, energía y trabajo Puede generar responsabilidades futuras por daños a la salud y el ambiente Existen intereses creados para su aplicación  Requiere expertos Su objeto es cumplir con la normatividad

Fuente: Rodríguez Abitia, 1998

Por lo anteriormente expuesto, en este trabajo se llevó a cabo un estudio de oportunidades de prevención de la contaminación en una pequeña empresa cuyo principal producto es resina poliéster para usos diversos. El estudio proporciona información útil para la mejor comprensión del proceso y sus operaciones unitarias en términos de eficiencia y desempeño ambiental. También se presenta información útil sobre el contexto regulatorio aplicable a la producción de resinas poliéster, así como sobre los requerimientos mínimos para la obtención de los certificados ISO 9001 e ISO 14001 sobre sistemas de administración de la calidad y ambientales por parte de la empresa estudiada.

El trabajo fue financiado por la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA)<sup>4</sup> como parte de las actividades que desarrolla en México en su programa de desarrollo de capacidades para la gestión ambiental. La CCA busca con esto dar el primer paso para el desarrollo de un estudio de caso que sirva para demostrar los beneficios ambientales y económicos que este tipo de enfoques puede tener en pequeñas y medianas empresas de México.

Como resultado se describen una serie de alternativas, algunas de inversión, para incrementar la eficiencia del proceso involucrado con las consecuentes ventajas ambientales asociadas. Dichas alternativas fueron analizadas bajo consideraciones de carácter técnico y financiero para permitir la toma de decisiones por parte de la empresa en la selección de las mejores opciones de inversión en un contexto de productividad y competitividad.

## *1.1 Objetivo y limitaciones del estudio*

### 1.1.1 Objetivo general

El propósito general del estudio es demostrar las bondades del enfoque preventivo de la contaminación mediante la identificación de medidas aplicables en una pequeña empresa de producción de resinas poliéster que permitan la reducción de emisiones en sus procesos, y que sean económicamente competitivas y atractivas para la empresa.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Proponer alternativas para el mejoramiento del desempeño ambiental de una empresa productora de resinas poliéster al tiempo que se incrementa su productividad y competitividad sin el uso de tecnologías de control de la contaminación.

---

<sup>4</sup> La CCA es un organismo emanado de la firma del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN). Su función es ayudar a los países integrantes a avanzar en la agenda ambiental regional según las prioridades mutuamente acordadas. Uno de los objetivos del ACAAN es promover prácticas y políticas de prevención de la contaminación. En su artículo 10.2 se autoriza a la CCA para que desarrolle recomendaciones relativas a las estrategias y técnicas de prevención de la contaminación necesarias para dar cumplimiento al acuerdo.

2. Identificar oportunidades de prevención de la contaminación para el proceso mediante la determinación de balances de materia y energía para el mismo.
3. Determinar la factibilidad técnica y económica de las oportunidades más prometedoras a través de la revisión de los aspectos de instrumentación involucrados en cada una de ellas, y con la ayuda de herramientas de evaluación financiera de inversiones.
4. Desarrollar recomendaciones de instrumentación de medidas de prevención de la contaminación en la empresa considerando los resultados del trabajo.

### 1.1.3 Limitaciones

Este trabajo se limita al estudio del proceso de producción de resinas poliéster insaturadas ortoftálicas de uso general en una pequeña empresa<sup>5</sup>. Se hace una revisión del proceso en la planta de dicha empresa y se derivan recomendaciones a ser instrumentadas en las instalaciones de una nueva planta, con mayor capacidad de producción.

Ninguna estimación es hecha respecto a cargas contaminantes generadas fuera de los límites físicos de la planta estudiada. El trabajo se restringe a la búsqueda de alternativas para mejorar el desempeño ambiental y económico de la empresa que se relacionen con la prevención de la contaminación en la fuente de su origen y no una vez que ésta se ha generado en alguna parte del proceso. Por ello no se consideran en este trabajo alternativas para el control o tratamiento de las emisiones, descargas o residuos que se generan como resultado de las operaciones de la empresa. Tampoco se hacen evaluaciones de factibilidad técnica o económica respecto de alternativas que requieren el diseño de equipos.

Finalmente debe destacarse que no se pretendió hacer un estudio exhaustivo respecto a las potenciales oportunidades de prevención de la contaminación.

## 1.2 Metodología

Con base en las prioridades establecidas por la CCA para la realización de este tipo de proyectos en México se buscaron empresas de la industria química que pudiesen estar interesadas en desarrollar estudios de prevención de la contaminación en sus plantas. Con este fin se estableció contacto con la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) y

---

<sup>5</sup> La definición de pequeña empresa en México es variable: la definición de la Secofi, vigente desde el 3 de diciembre de 1993, considera a la pequeña empresa como aquella que tiene entre 16 y 100 empleados y cuyas ventas anuales van de 901 mil hasta 9 millones de pesos; por su parte Nafin incluye en esta definición a las empresas con ese mismo número de empleados pero cuyas ventas anuales se encuentran entre los 2 y los 21 millones de pesos. La empresa estudiada aquí responde mejor a la primera definición.

con el Centro Mexicano de Producción más Limpia<sup>6</sup>, quienes ya desarrollan proyectos de esta naturaleza; además de esto también se establecieron contactos directamente con empresarios por parte de la CCA. Una vez identificado el candidato se llevó a cabo una entrevista entre representantes de la empresa y de la CCA para establecer los términos en los que se llevaría a cabo el estudio.

La satisfacción de la empresa con los resultados del estudio fue una prioridad del trabajo. Por esta razón fue necesario entender la visión de la compañía para poder conciliar sus intereses con los de este proyecto. La visión de la empresa está orientada básicamente a la fabricación de un producto para cubrir una demanda insatisfecha. La elaboración del producto implica la operación de un proceso y de una serie de actividades asociadas para promover el producto, facilitar su producción y garantizar su distribución y venta. En este sentido el proceso de producción y las actividades administrativas de la empresa giran alrededor del producto y además están íntimamente relacionados entre sí (Figura 2).

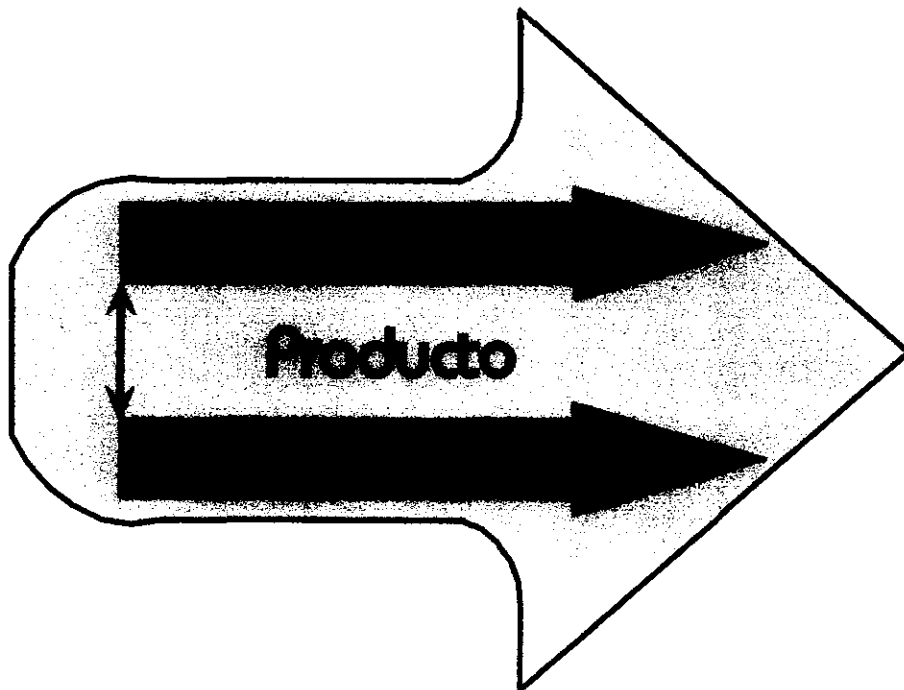


Figura 2 Relación entre el producto, el proceso y las actividades administrativas en la empresa

<sup>6</sup> El Centro está alojado en el Instituto Politécnico Nacional y pertenece a la red de Centros Nacionales de Producción más Limpia de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). El Centro inició operaciones en diciembre de 1995 y desarrolla y ha desarrollado proyectos de demostración en forma coordinada con el programa EP3 de la USAID en varias ramas industriales entre las que se encuentran las de galvanoplastia, fundición y química. Como resultado de estas actividades el Centro ha elaborado manuales de prevención de la contaminación para algunas de estas ramas industriales.

La relación de la empresa con los aspectos ambientales asociados a sus actividades ha sido tradicionalmente confrontacional, es decir, la protección ambiental es percibida únicamente como un problema para la operación de la compañía principalmente debido a dos factores: la vigilancia ejercida por las autoridades ambientales y los costos en que se incurre para poder cumplir con la normatividad ambiental vigente.

El propósito principal de este trabajo fue demostrar en la empresa que la protección ambiental puede mejorar el desempeño económico de la misma mediante iniciativas de prevención de la contaminación. Esta no sólo tiene que ver con los aspectos técnicos y tecnológicos del proceso involucrado, sino que también con las prácticas operativas y administrativas que llegan a afectar el desempeño de las empresas. En este trabajo se buscó complementar el estudio técnico del proceso con algunos aspectos de administración y de evaluación de proyectos. Dado que se buscaron alternativas que en algunos casos requieren de inversiones, también se hizo uso de algunas herramientas de análisis financiero para poder evaluar económicamente dichas alternativas.

A continuación se muestra de manera esquemática, en la figura 3, el procedimiento seguido para la realización del estudio:

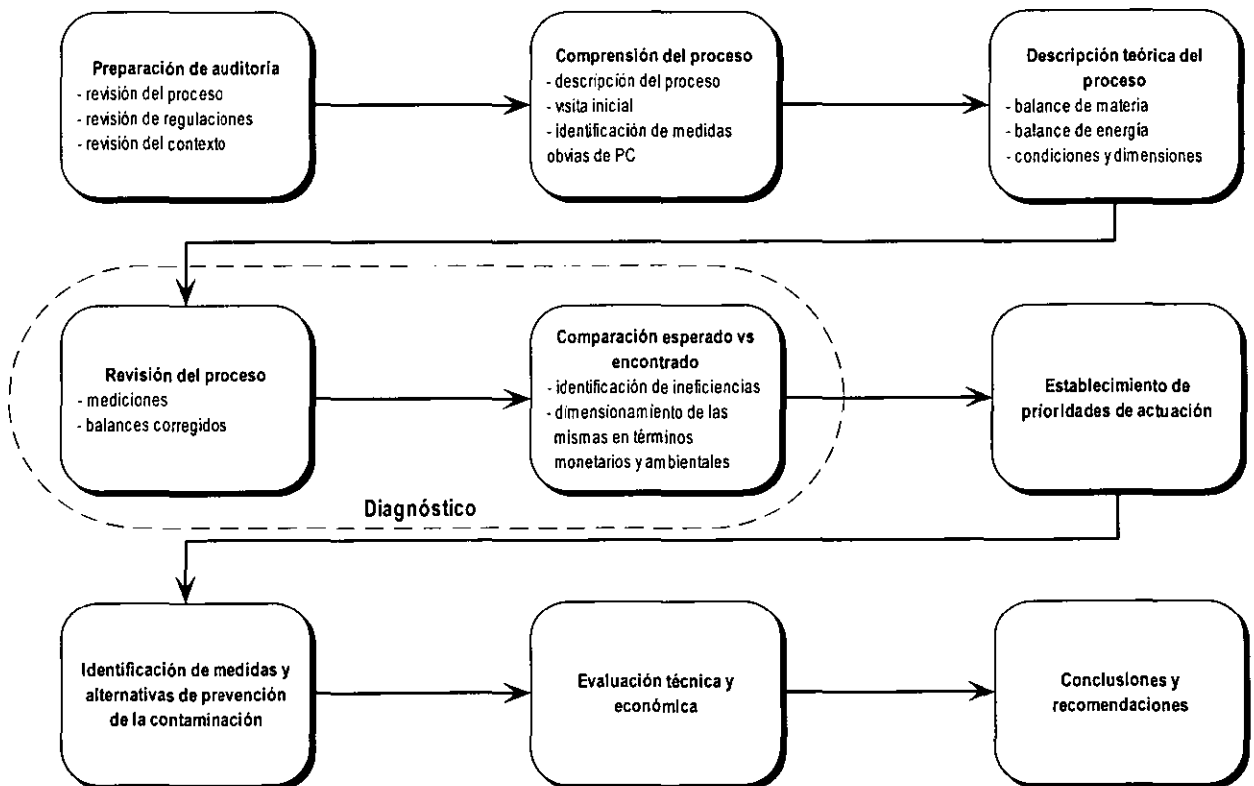


Figura 3 Método usado en la realización del estudio

La preparación de la auditoría contempló la revisión de la literatura disponible sobre el proceso involucrado, las tecnologías asociadas a éste, y los impactos ambientales generados por las actividades de la empresa. Asimismo, se investigaron los efectos que las sustancias utilizadas pueden tener en la salud, especialmente de los trabajadores, y se incluyó una revisión de la normatividad ambiental aplicable, de la información disponible sobre el contexto en el que desarrolla sus actividades la empresa y de los requerimientos para obtener las certificaciones ISO 9002 e ISO 14001.

Se llevaron a cabo varias visitas de campo para la revisión inicial del proceso y de las actividades de la empresa. En esta parte se buscó identificar ineficiencias obvias que pudiesen ser solucionadas mediante medidas simples. Además de las entrevistas con el personal de producción para entender el proceso utilizado en la empresa y recoger información sobre el mismo, en esta etapa se revisaron facturas de adquisición de materias primas y de consumo de energía, hojas de seguridad de las sustancias utilizadas en el proceso y la licencia de funcionamiento de la empresa.

Con la información obtenida en el paso anterior se hizo una descripción general del proceso incluyendo las entradas de materias primas y las salidas de productos, residuos, emisiones y descargas a los distintos medios, las condiciones de operación y los balances teóricos de materiales y energía. En dicha descripción se incluyó información sobre las condiciones de operación y la dimensión de las mismas, así como los costos aproximados de producción sin incluir los asociados con el personal y la operación de la estructura administrativa de la empresa.

Con el fin de comparar la teoría con la realidad se levó a cabo un estudio más detallado de campo en el que se hicieron mediciones de algunos parámetros en partes seleccionadas del proceso y así estar en condiciones de elaborar los balances reales de materiales y energía. Con dicha información fue posible identificar y cuantificar ineficiencias en el proceso, así como determinar los costos asociados a éstas.

Las alternativas de prevención de la contaminación fueron entonces identificadas y se hizo un breve análisis sobre las ventajas y desventajas que cada una pudiera tener desde las perspectivas económica, ambiental, de riesgo, del producto y del proceso.

Una vez hecho esto se llevó a cabo un análisis de factibilidad técnica y económica de dichas alternativas con el fin de poder comparar las inversiones requeridas con otras inversiones dentro de la empresa, y así ofrecer elementos de información para la toma de decisiones por parte de los empresarios. Con la información económica y ambiental se establecieron entonces prioridades para las alternativas de prevención de la contaminación de conformidad con los intereses de la empresa y se generaron recomendaciones concretas de instrumentación.

## CAPÍTULO 2

### ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA EN MÉXICO

El desarrollo y el crecimiento de la industria química en México no han sido ajenos a los experimentados por todo el sector industrial del país. A partir de las décadas de los años treinta y cuarenta la política gubernamental comenzó a propiciar el desarrollo industrial del país mediante una serie de políticas dirigidas hacia el fomento y la protección de la planta industrial con el objeto de desarrollarla y de sustituir importaciones. La política de fomento incluyó el cierre de las fronteras a los productos provenientes del exterior para generar un mercado cautivo que asegurase la demanda por los productos nacionales, así como la concesión de diversos subsidios (e.g. agua, energía, impuestos) y de incentivos financieros que privilegiaron a la industria sobre otras actividades económicas.

No obstante y aún cuando el esquema de protección propició el desarrollo industrial del país, también promovió el estancamiento tecnológico, la poca productividad y la falta de competitividad, especialmente en las pequeñas y medianas empresas, ante un mercado interno cautivo. Los subsidios ofrecidos al consumo de varios recursos naturales como el agua y la energía propiciaron el dispendio de éstos<sup>7</sup> y la generación de impactos ambientales significativos asociados a ello. Por otra parte, en México no existió ninguna consideración de tipo ambiental en la actividad industrial sino hasta la introducción de la primera legislación ambiental en 1971<sup>8</sup>.

Con la incorporación de México al GATT en julio de 1986 se inició formalmente el proceso de apertura económica del país, el cual ha alcanzado su punto más importante a partir de la entrada en vigor del TLCAN en 1994. La liberalización comercial ha venido acompañada de un proceso de desregulación de la industria y de una serie de nuevas exigencias para las empresas del país, principalmente asociadas con la eficiencia de las mismas y con su productividad y competitividad en un mercado abierto, tanto interno como externo.

Este proceso de apertura y liberalización ha significado un cambio radical para los industriales en México pues deben enfrentarse a un conjunto de reglas completamente nuevas que han hecho que la estructura industrial del país se transforme significativamente, contrayéndose las actividades industriales en las cuales no se cuenta

---

<sup>7</sup> De 1950 a 1970, el consumo de gas aumentó 33 veces, el de diesel 8.2, el de lubricantes 40, el de gasolinas cuatro y el de electricidad casi siete veces, al tiempo que la cantidad de vehículos automotores se sextuplicó en ese mismo período. (INE, 1996)

<sup>8</sup> La Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, expedida en marzo de 1971, estuvo orientada básicamente hacia los aspectos sanitarios relacionados con la contaminación ambiental. Dos años más tarde, en 1973, se expidió un nuevo Código Sanitario que contempló aspectos más específicos sobre emisiones atmosféricas, descargas de aguas residuales y disposición de residuos.

con ventajas competitivas e induciéndose una expansión en otras en las que dichas ventajas si existen (Jaime *et al*, 1993). Por otra parte, la reestructuración productiva de finales del período sustitutivo de importaciones hizo que cambiara el panorama en cuanto a las ramas más contaminantes y riesgosas. En general, la producción eléctrica, química y de derivados del petróleo se colocaron como las más dinámicas. A ello se sumó la producción de fibras sintéticas, resinas, fertilizantes, plásticos, pinturas, pigmentos y gases industriales. (INE, 1996)

Las nuevas condiciones de competencia a las que se enfrenta el sector industrial exigen un desempeño mucho más eficiente de las empresas, e incluyen al desempeño ambiental como un factor relevante de competitividad debido a las cada vez más estrictas normas ambientales y principalmente a los requerimientos exigidos por los clientes en el extranjero.

### 2.1 Importancia de la Industria Química en México

Dentro de la contribución al Producto Interno Bruto en 1994 de la industria manufacturera, las ramas de actividad más importantes en cuanto a su participación económica resultaron ser la de alimentos, bebidas y tabaco con el 25.7%, seguida de la correspondiente a los productos metálicos, maquinaria y equipo con el 24.0% y finalmente la rama de los químicos, derivados del petróleo, caucho y plástico con el 18.0%. (INE, 1996)

En 1996 la industria química contribuyó con el 3.1% del PIB Nacional y el 14.2% del PIB manufacturero total. En ella se ocuparon más de 331,000 personas que representaron el 1.2% del personal ocupado nacional y el 10.1% del ocupado en la industria de manufacturas. (INEGI, 1998)

La industria química es una de las ramas con un alto nivel de participación en el volumen total de las exportaciones del sector manufacturero en México (Tabla 2), ocupando el tercer lugar según cifras a septiembre de 1997, con una participación del 5.44%, y un valor de 3,771 millones de dólares, la cual ha venido manteniendo desde 1994 y que indica su potencial exportador. Su participación en las exportaciones manufactureras totales fue de 4.9% en 1996. (Esparza, 1997)

Tabla 2 Exportaciones de la Industria Química en millones de dólares

1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
2,119.9	2,298.3	2,343.9	2,756.4	3,972.1	4,011.3	4,501.6 e)

Fuente: Esparza, 1997. e) estimaciones

Los principales productos exportados en 1996 fueron: materias plásticas y resinas sintéticas (16.4%), ácidos policarboxílicos (7.5%), abonos químicos y preparados (6.7%), y otros productos farmacéuticos (7.5%). A septiembre de 1997 dos de ellos mostraron



tendencia a la baja siendo su participación 16.4%, 4.3%, 5% y 8.2% respectivamente. (Esparza, 1997)

Aún cuando las exportaciones han crecido en los últimos años, las importaciones han crecido más rápidamente, lo que se ha traducido en un mayor déficit de la balanza comercial de esta industria, el cual ascendió a 1,548 millones de dólares en 1995 y a 2,872.7 en 1996. (Esparza, 1997)

### 2.2 Producción de resinas sintéticas

La producción de resinas sintéticas es relativamente reciente. En México las estadísticas de producción muestran un aumento sostenido en la producción a partir de 1965 (Figura 4), llegando en 1996 a casi 1.4 millones de toneladas que representaron el 12.6% del PIB de la industria química (INEGI, 1985 y 1998). Es notorio que este crecimiento ha sido sumamente veloz y que la producción se ha más que cuadruplicado entre 1976 y 1996.

Año	Miles de Toneladas
1965	53.43
1966	70.66
1967	92.69
1968	119.88
1969	133.30
1970	147.32
1971	171.19
1972	221.59
1973	252.13
1974	274.76
1975	296.83
1976	335.02
1977	341.28
1978	402.54
1979	565.04
1980	591.20
1981	641.67
1982	643.47
1983	638.37

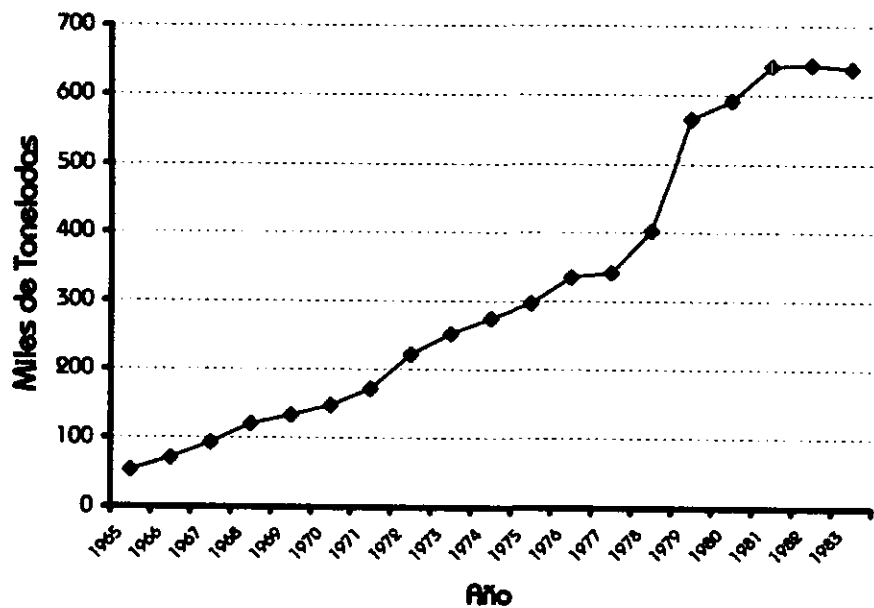


Figura 4 Evolución histórica de la producción de resinas sintéticas en México  
Fuente: INEGI, 1985

Esta actividad de la industria química ocupó en 1996 a 22,664 personas, de las cuales 16,351 fueron obreros y 6,313 empleados. La capacidad instalada en ese año fue de casi 1.6 millones de toneladas y la producción representó el 86.4% de dicha capacidad. En ese mismo año se exportaron 447,600 toneladas y se importaron 992,700 (INEGI, 1997), lo que es indicativo del potencial existente en el mercado nacional.

No cabe duda que el desarrollo de la industria de producción de resinas sintéticas ha sido más rápido que el de la mayoría de las ramas industriales del país. Este hecho puede constatarse no únicamente por el crecimiento de la producción de esta industria sino por el incremento en su productividad, el cual ha sido mayor que el de la industria química en general que a su vez ha mejorado más rápidamente que el del sector manufacturero del país (Figura 5).

Base 1993 = 100

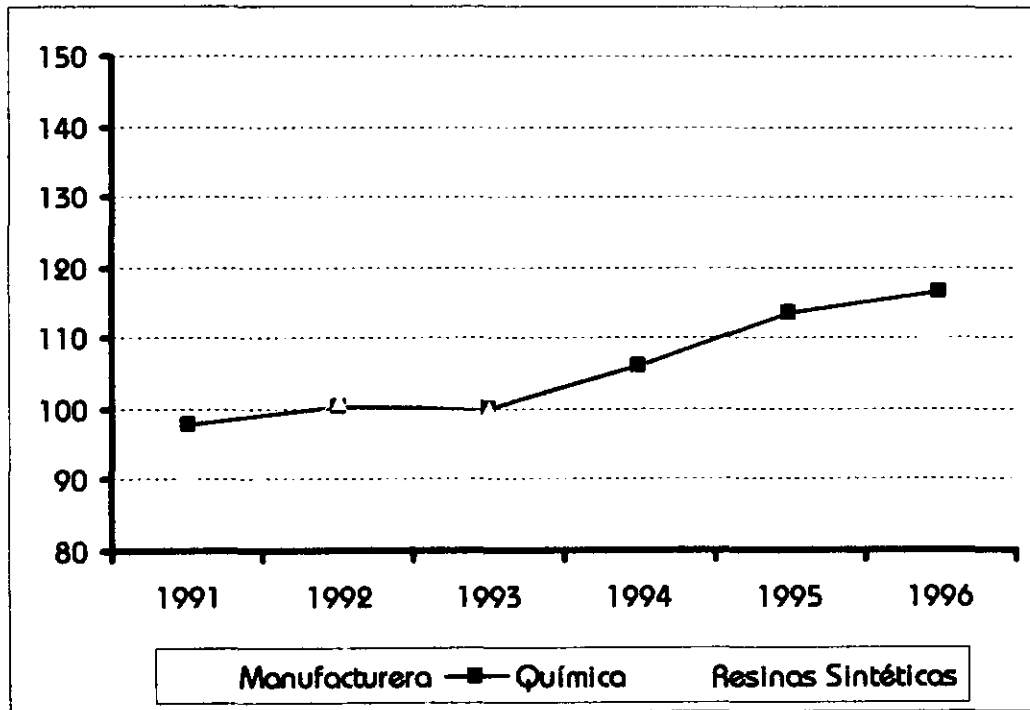


Figura 5 Índice de productividad total para el sector manufacturero, la industria química y la producción de resinas sintéticas

Fuente: INEGI, 1998

Los principales productos de la industria de resinas sintéticas son el cloruro de polivinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET<sup>9</sup>) y poliestireno, los cuales contribuyen con cerca de la mitad del volumen y el valor de la producción del país.

La contribución de las distintas resinas a la producción total en este rubro se presenta en la Figura 6 donde puede observarse que la participación de las resinas poliéster no es de mucha significación.

<sup>9</sup> Por sus siglas en inglés

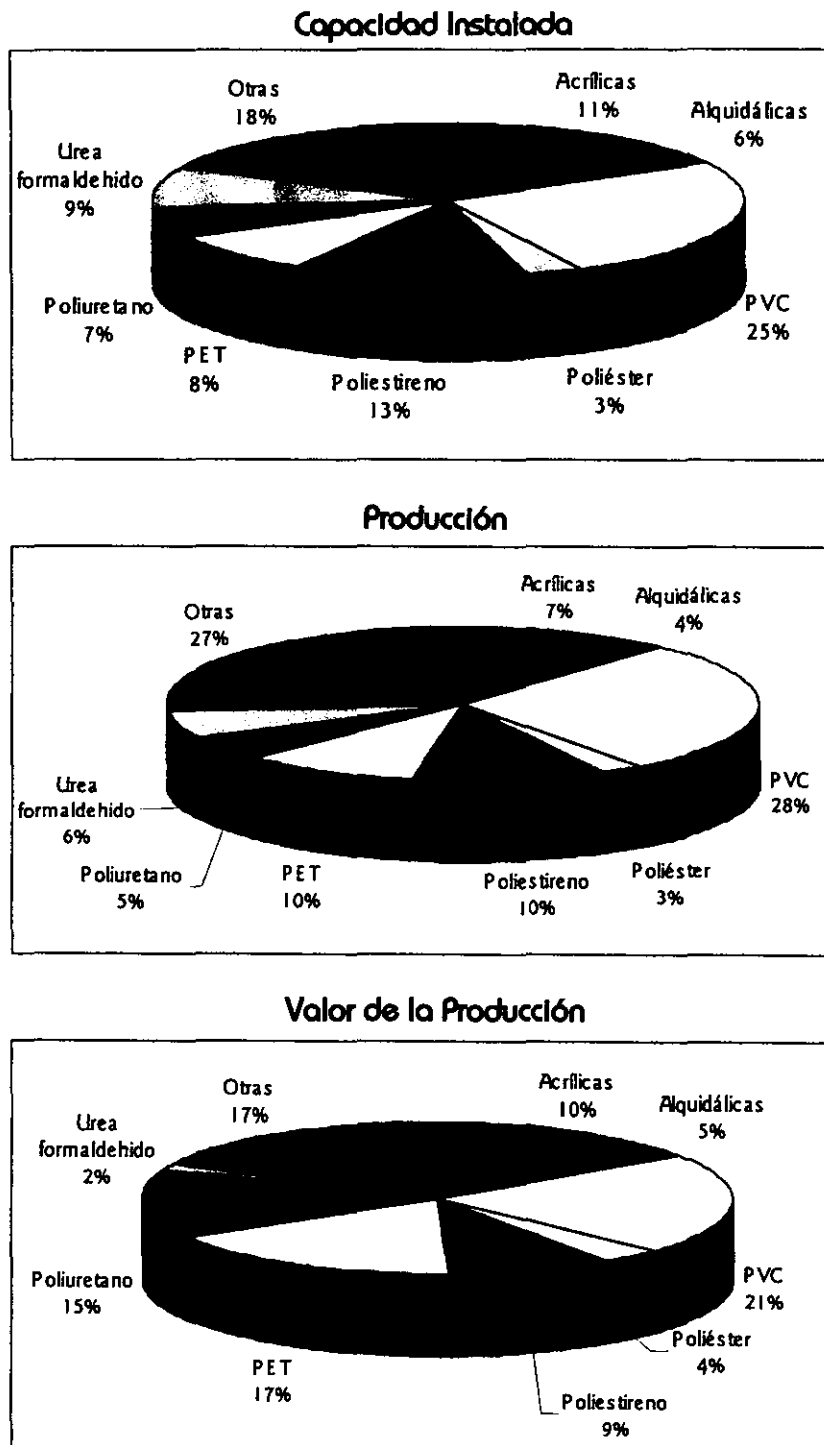


Figura 6 Participación de las resinas poliéster en la producción de resinas sintéticas (1996)

Fuente: INEGI, 1998

Por otro lado y aún cuando la producción de resinas poliéster no es significativa respecto de la producción total de resinas sintéticas, en los últimos años su participación ha venido en aumento como puede observarse en la Figura 7 a continuación:

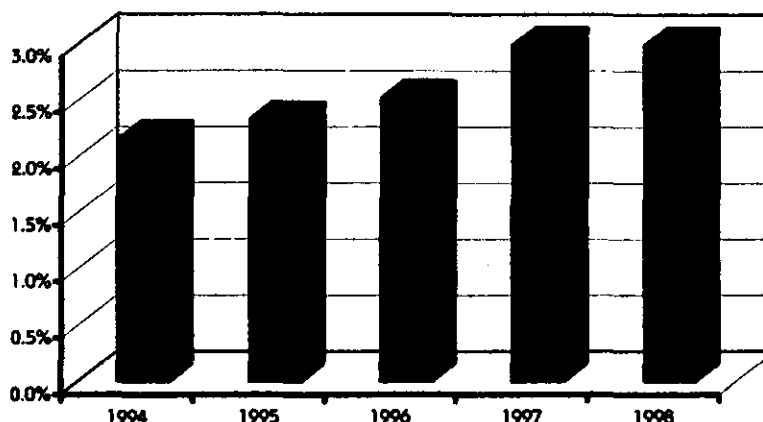


Figura 7 Participación de las resinas poliéster en el volumen de producción de resinas sintéticas

Fuente: INEGI, 1999

La capacidad instalada en México para la producción de resinas poliéster en 1996 fue de 47,200 toneladas y su producción alcanzó las 36,300 toneladas (76.9%). Por otro lado y como puede observarse en la Figura 8, ha sido notoria la evolución de la balanza comercial de las resinas poliéster en la que se observa un crecimiento mucho más veloz de las exportaciones, aún cuando la diferencia en términos absolutos sigue siendo enorme.

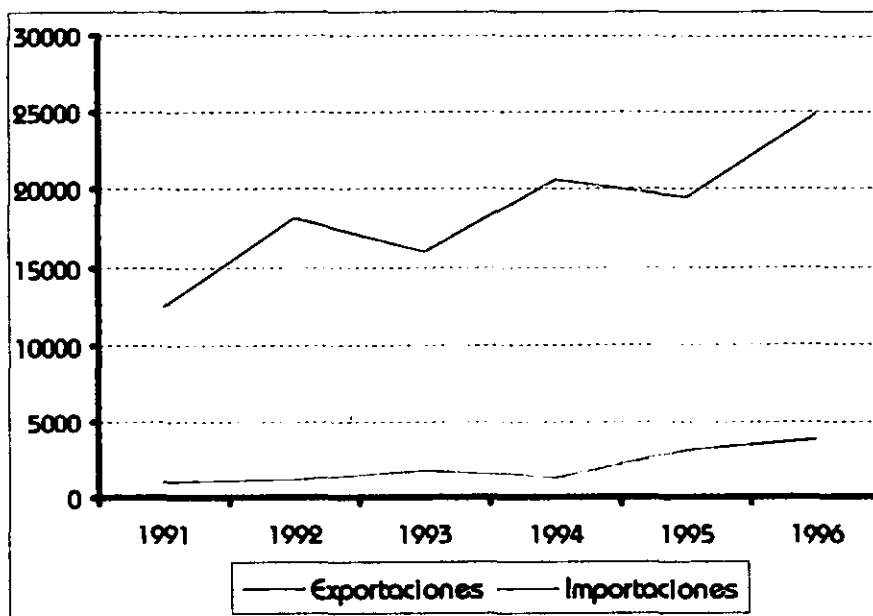


Figura 8 Exportaciones e importaciones de resinas poliéster en el periodo 1991-1996 (Ton)

Fuente: INEGI, 1998

## CAPÍTULO 3

### PROCESOS DE FABRICACIÓN DE RESINAS SINTÉTICAS

#### 3.1 Antecedentes históricos

El primer plástico hecho por el hombre data de 1862. El nitrato de celulosa o celuloide fue desarrollado por Alexander Parkes en esa fecha a partir de la celulosa, una materia prima natural. Pasaron más de cuarenta años para que se empezara a fabricar el primer plástico sintético, la baquelita o fenol formaldehído, por Leo Baekeland y James Swinburne en 1907. Durante el periodo transcurrido entre ambos descubrimientos se desarrollaron algunos otros plásticos a partir de materias primas naturales como el acetato de celulosa en 1894 y la caseína en 1895. En 1902 Watson Smith desarrolló las reacciones entre el glicerol y el anhídrido ftálico que dieron como resultado una variedad de productos resinosos que denominó "gliptales" y que posteriormente se llamaron "alquidálicos"<sup>10</sup>. Estas resinas pueden considerarse como los primeros poliésteres. (Miles y Briston, 1965)

Durante la década de los años 1930's se inició el desarrollo intensivo de materiales plásticos. En esos años se desarrollaron el nylon y el polietileno, además se logró un entendimiento más claro de la naturaleza de los plásticos, especialmente por el químico alemán Staudinger, quien propuso el término de macromolécula para denominar estos compuestos. Staudinger describió las relaciones entre la viscosidad de las soluciones de polímeros y el peso molecular del polímero disuelto. A este científico también se le asocia con el poliestireno, ya que fue el primero en sugerir la verdadera naturaleza de la reacción que ocurre cuando el estireno es calentado para formar el poliestireno, cuyas moléculas se unen por grupos vinílicos. (Miles y Briston, 1965)

Respecto de los poliésteres, en 1937 Carlton Ellis descubrió que el tiempo de curado de estas resinas podía reducirse significativamente si se mezclaban monómeros insaturados con los poliésteres insaturados, lo que hizo que estas resinas adquirieran un enorme potencial comercial. (Miles y Briston, 1965)

Con el inicio de la Segunda Guerra Mundial en 1939 la demanda por los materiales plásticos aumentó considerablemente y se desarrollaron entonces nuevos productos. En Alemania se desarrolló el poliuretano entre 1939 y 1941, en el Reino Unido se fabricó el PET en 1941, y en los Estados Unidos se desarrolló el silicón en 1944 (Miles y Briston, 1965). Desde entonces el desarrollo de nuevos materiales poliméricos ha continuado en forma significativa hasta nuestros días.

---

<sup>10</sup> El término alquidálico se deriva de las palabras *alkohol* y *ácido* (*Alkud*) y fue acuñado por el científico A.H. Kienle.

### 3.2 Fabricación de resinas sintéticas

La industria de resinas sintéticas o plásticas produce resinas que son posteriormente tratadas para ser usadas en otras industrias como la de empaques y embalajes, construcción, automotriz y transporte entre otras. Con frecuencia se utilizan formulaciones específicas para distintas aplicaciones que en muchos casos son consideradas como secretos industriales ya que la competitividad de las compañías depende generalmente de su capacidad para producir resinas con ciertas características como son dureza, flexibilidad, resistencia, etc.

La industria de resinas sintéticas produce polímeros<sup>11</sup> que son moléculas orgánicas muy grandes cuyo peso molecular va de  $10^4$  a  $10^7$  (U.S. EPA, 1997). En algunos casos estos polímeros son obtenidos mediante reacciones de polimerización en las que se utiliza un solo tipo de monómero. En algunas ocasiones se usa también un comonómero para producir un copolímero. A los polímeros que contienen más de un solo tipo de monómero se les conoce como copolímeros. Los comonómeros pueden usarse ya sea para obtener polímeros con características al azar o polímeros con características definidas, también llamados copolímeros de impacto.

La estructura primaria de las cadenas poliméricas corresponde a la composición química de la misma, mientras que la disposición de la cadena con respecto a sí misma y a otras cadenas se conoce como estructura secundaria.

Las características de los polímeros pueden obtenerse manipulando las condiciones de operación durante el proceso de fabricación (e.g. tiempo de reacción, temperatura, viscosidad, número ácido, etc.). Las propiedades de estas macromoléculas tienen mucho que ver con el tamaño de la molécula y menos con los grupos terminales, los cuales con frecuencia son desconocidos y se originan generalmente de impurezas presentes en la mezcla de reacción. Lo mismo que la estructura primaria, la estructura secundaria de los polímeros también tiene un efecto importante en las propiedades de los mismos. (Fessenden, 1983)

Las resinas sintéticas generalmente se dividen en dos grandes grupos: termoplásticas y termofijas. Las resinas termoplásticas pueden ser calentadas y moldeadas en la forma que se desee y la operación puede hacerse repetidas veces. Las resinas termofijas solo pueden calentarse y moldearse una sola vez. Las resinas termoplásticas son más comunes, aún cuando las resinas termofijas tienen sus propias ventajas para ciertas aplicaciones<sup>12</sup>.

Los termoplásticos más comunes incluyen al polietileno (en todas su formas), PVC, polipropileno y poliestireno. Estos termoplásticos son considerados de uso general ya que

---

<sup>11</sup> La palabra polímero se deriva del término griego "polumeres" que significa "de muchas partes"

<sup>12</sup> La diferencia entre la formación de las resinas termoplásticas y las termofijas se explica mediante la teoría de funcionalidad de R.H. Kienle, en la cual la funcionalidad de una molécula depende del número de grupos funcionales presentes en la misma y determina la evolución de la reacción que origina las resinas (Miles y Briston, 1965).

generalmente son utilizados en la manufactura de una gran variedad de productos, se elaboran en grandes cantidades con tecnologías bien definidas y establecidas, y sus compradores son solo unas cuantas grandes empresas.

Las resinas termofijas se agrupan en tres sistemas principales con importancia económica significativa: las resinas poliéster, las resinas fenólicas y las resinas epóxicas. Pueden obtenerse en estado líquido y sólido; sin embargo las primeras son más comunes.

Como su nombre lo indica, las resinas poliéster son polímeros de moléculas de éster<sup>13</sup>. Las hay de dos tipos:

1. Poliésteres saturados (películas, fibras, plastificadores, espumas de poliuretano)
2. Poliésteres insaturados (resinas de moldeo)

A las soluciones de poliésteres insaturados en monómeros vinílicos como el estireno se les conoce como resinas poliéster insaturadas.

Las resinas líquidas se utilizan con distintos valores de viscosidad, a temperatura ambiente, que oscilan entre valores tan bajos como el del agua hasta los de tipo asfáltico; esto es una ventaja ya que las propiedades de la resina pueden obtenerse al hacer la mezcla y utilizando diversas viscosidades de acuerdo con las necesidades del moldeo.

### 3.3 Química de las resinas poliéster insaturadas

Dentro de la química orgánica, la reacción entre un ácido y un alcohol produce un éster y una molécula de agua. Esta reacción es llamada de esterificación o reacción de condensación<sup>14</sup>; y puede expresarse de la siguiente manera:



En la esterificación son posibles dos mecanismos:



<sup>13</sup> Desde un punto de vista estrictamente químico, las resinas poliéster deben incluir también a las alquídicas; sin embargo, debido a razones comerciales éstas últimas se clasifican por separado.

<sup>14</sup> Los procesos de polimerización pueden ser de dos tipos: si la unidad de repetición tiene la misma composición que el monómero del cual procede, el proceso se denomina de adición (e.g. polietileno); si la unidad de repetición tiene diferente composición que el monómero, el proceso se denomina de condensación (e.g. poliéster).

Entre los principales ácidos orgánicos utilizados en las resinas líquidas de poliéster se encuentran los anhídridos maléico y ftálico, ácidos fumárico, isoftálico y adípico; mientras que los glicoles más comúnmente utilizados son los de etileno, propileno, dietileno y dipropileno.

Es importante destacar que en el caso de los anhídridos las reacciones antes mencionadas pueden tomar otras características de acuerdo a la siguiente secuencia de reacciones, la cual se ilustra para el caso del uso de anhídrido maléico y etilenglicol para la obtención de un éster y agua (Morgan, 1957):



De continuar la reacción con otra molécula de alcohol se tendría entonces la formación de un éster y agua:



Donde los grupos terminales de las moléculas de éster pueden formar agua al polimerizarse. El resultado final es un polímero con una estructura aproximada a la siguiente:



Sin embargo debe considerarse también que las reacciones de polimerización se desarrollan al azar y que la formación del éster puede llevarse a cabo por varios mecanismos. En la práctica y a través de la experimentación sobre estas reacciones a nivel industrial, Oleesky y Mohr (1975) encontraron que una mol de anhídrido maléico y una mol de anhídrido ftálico reaccionaban con dos moles de dietilenglicol para producir una mol de agua por cada mol de anhídrido, y que si se utilizaban ácidos en vez de anhídridos se formaban dos moles de agua por cada mol de ácido.

Para obtener un buen rendimiento del éster en la reacción es muy importante extraer el agua formada, de modo que se evite el sentido inverso de la reacción o saponificación. En este caso la esterificación se realiza con ácidos monobásicos y alcoholes monohídricos, y la reacción termina con la formación de un éster simple. Cuando las moléculas tienen dos o más grupos funcionales pueden reaccionar para formar moléculas complejas o polímeros. A los ésteres poliméricos lineales que se obtienen de la reacción entre ácidos orgánicos no saturados y saturados que contienen dos grupos carboxilos y glicoles no saturados que contienen dos o más grupos hidroxílicos se les conoce también como resinas de poliéster no saturadas. (Enciclopedia de la Química Industrial, 1978). La reacción es como sigue:

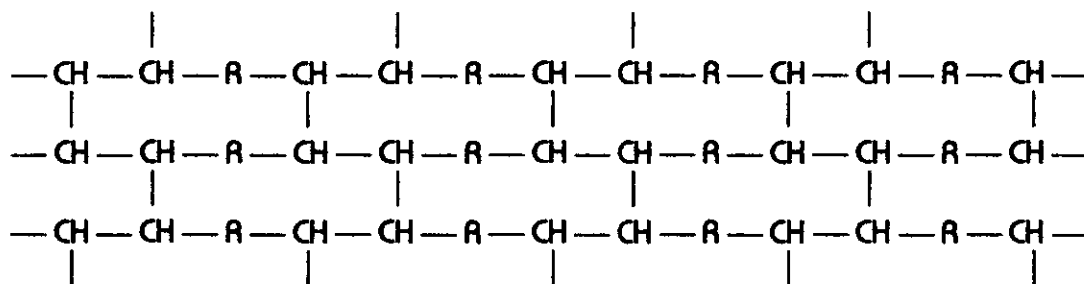


donde R y R' son radicales alquilenos.



Esta resina poliéster obtenida se diluye a una consistencia adecuada para sus diferentes aplicaciones y manejo con estireno, metil-metacrilato u otros monómeros de vinilo.

La reacción de copolimerización o reticulación de las resinas poliéster con monómeros de vinilo se realiza para hacer termofija la resina en su aplicación final. Dicha reacción es iniciada por radicales libres mediante un catalizador y procede por un mecanismo de adición que involucra a las dobles ligaduras de poliéster y monómero, dando estructuras altamente reticuladas:



Lo anterior permite la copolimerización rápida produciendo sólidos, cuya rigidez dependerá de las materias primas empleadas.

### 3.4 Procesos de fabricación de resinas poliéster

Los poliésteres se caracterizan por una gran variedad de formulaciones, no solo según la clase de resina producida, como: poliésteres modificados por aceites (alquídálicos), poliésteres insaturados (laminados y compuestos para moldeo) y poliésteres lineales (películas y fibras), sino también dentro de cada grupo.

Las características del producto final dependen en gran medida de la estructura de la resina, su peso molecular, los grupos terminales presentes, el tipo de insaturación y de la relación ácidos-glicoles que se haya utilizado. Por lo general conforme aumenta el peso molecular y hasta llegar a un valor constante los productos curados tienen también una mayor resistencia al calor, son más duros y presentan una mayor fuerza tensil. También conforme aumenta el peso molecular la influencia de los grupos terminales en las propiedades del producto es menor. Todo esto hace que los productores adapten sus procesos para obtener resinas de características muy específicas para cumplir con la demanda de sus clientes, y que exista una gran variedad de productos para aplicaciones específicas disponibles en el mercado. No obstante la fabricación de resinas poliéster es muy similar en la mayoría de los casos.

El proceso de fabricación de la resina poliéster se basa fundamentalmente en dos fases: una de esterificación para producir un monoéster y otra de polimerización para producir el poliéster. El éster es capaz de formar polímeros por medio de procesos de crecimiento químico, por el cual muchas unidades moleculares pequeñas se unen para formar una larga cadena macromolecular que posteriormente se mezcla y se copolimeriza con un monómero y un catalizador en el proceso de curado. La resina es entonces una mezcla de éster disuelto en un monómero polimerizable que proporciona las unidades de entrecruzamiento para unir las cadenas tridimensionalmente.

Al realizarse la esterificación y la polimerización lineal, esto es cuando reaccionan los ácidos y glicoles, se añaden agentes formadores de enlaces cruzados que son principalmente el monómero de estireno, monómeros de estireno sustituidos y otros compuestos no saturados tales como el ftalato de dialilo. El ácido fumárico<sup>15</sup> y el anhídrido maléico<sup>16</sup> son los más comúnmente usados para obtener insaturaciones en las estructuras poliéster. Durante el curado de la resina los dobles enlaces insaturados se abren por la acción de radicales libres y se unen con otros grupos químicos o con unidades de monómero. (Olesky y Mohr, 1975 y Kirk-Othmer, 1982)

Las diferencias entre los poliésteres obtenidos a partir del ácido fumárico y el anhídrido maléico son pequeñas, aquellos obtenidos con este último muestran por lo general un mayor grado de ramificación y una menor cantidad de insaturaciones. Otros ácidos insaturados como los anhídridos tetrahidrofáltico y náutico se usan para impartir propiedades específicas de secado al aire al poliéster insaturado. (Kirk-Othmer, 1982)

Otras propiedades del producto pueden ser modificadas mediante el uso de ácidos alifáticos saturados y ácidos aromáticos dibásicos. Generalmente estos últimos promueven dureza mientras que los primeros flexibilidad. El anhídrido ftálico es el más comúnmente usado de los ácidos aromáticos debido a su bajo costo y a su contribución hacia la isomerización maléica, resistencia a la absorción de agua y aumento de la solubilidad del polímero en estireno (Kirk-Othmer, 1982). También se le usa para espaciar los enlaces dobles y reducir la intensidad del entrecruzamiento (Morgan, 1957). Su desventaja radica en su tendencia a formar productos cíclicos de bajo peso molecular debido a la proximidad de grupos ácidos. El ácido isoftálico es más caro y se usa para la producción de poliésteres de alta calidad en ciertas aplicaciones. La popularidad del uso de estireno como diluyente se debe a su buena solubilidad, bajo costo, alta reactividad con insaturaciones de fumarato, y su olor poco perceptible en bajas concentraciones. Sus desventajas son su volatilidad y toxicidad. (Kirk-Othmer, 1982)

En general las reacciones de condensación son llevadas a cabo en reactores de acero inoxidable con recubrimientos de vidrio y con aislamiento. En dicho reactor se introduce un gas inerte para excluir el oxígeno que puede causar decoloración y gelación de la resina. La mezcla de ácidos y glicoles introducida al reactor se calienta hasta la temperatura de

---

<sup>15</sup> El ácido fumárico es el isómero trans del ácido maléico (cis) y no forma anhídrido.

<sup>16</sup> El anhídrido maléico es más popular dado su menor costo.

aproximadamente 200 °C y se mantiene durante 4-20 horas agitando continuamente hasta que se obtiene una relación predeterminada de valor ácido y viscosidad. El agua que se produce y el gas inerte se eliminan continuamente durante la reacción. Cuando se ha obtenido el grado de condensación deseado, generalmente al vacío el producto se enfría para evitar la gelación prematura. El producto de policondensación se bombea a un tanque de mezclado donde se combina con el agente de enlace en cruz, generalmente durante 2-4 horas. (Austin, 1992)

En la fase inicial de la reacción la caída en el valor ácido es veloz<sup>17</sup> y el incremento de la viscosidad es bastante lento. Hacia el final de la reacción sucede lo contrario. Una vez que el número ácido es inferior a 50 o se alcanza el valor deseado, el poliéster preparado es inhibido y diluido con un monómero ya sea en forma directa, continua o inversa. En el método de adelgazamiento directo el poliéster caliente se transfiere a un tanque de dilución y es enfriado a 100-110 °C. Se añade entonces el inhibidor y posteriormente el monómero para formar una solución que es enfriada a temperatura ambiente. Este método se usa cuando la viscosidad del poliéster sin diluir es baja y su miscibilidad con el monómero diluyente es fácil. Sin embargo, si la viscosidad del poliéster enfriado es alta como para presentar problemas en la agitación o causar precipitación cuando se añade el monómero, se usa el adelgazamiento inverso. En esta operación el poliéster es añadido al monómero desde el reactor a una velocidad tal que se obtenga una solución homogénea. En el adelgazamiento inverso los inhibidores se agregan al monómero de estireno antes de tener contacto con el poliéster. En el método continuo de adelgazamiento el poliéster se enfría, inhibe y mezcla continuamente con el monómero. (Kirk-Othmer, 1982)

Hay básicamente tres formas en que se puede estructurar el poliéster en términos de la insaturación a lo largo de la cadena del polímero (Castillo, 1976):

1. Distribución completamente al azar de la insaturación a lo largo de toda la cadena, cuando todos los reactivos se cargan simultáneamente al reactor (proceso conocido como de condensación de una etapa);
2. Concentración de la insaturación en el centro de la cadena, cuando se hace reaccionar primero el ácido o anhídrido insaturado con los glicoles y posteriormente se adiciona el ácido saturado;
3. Concentración de la insaturación en los extremos de la cadena, cuando se hace reaccionar primeramente el ácido saturado con los glicoles y finalmente se adiciona el ácido no saturado.

Los dos últimos procesos son conocidos como de condensación de dos etapas, ya que la adición final de materia prima se efectúa después de haber removido el 90% del agua, o también se conocen como de dos etapas modificado si la adición final de materia prima se realiza después de haber removido el 50% del agua.

---

<sup>17</sup> Con frecuencia se utiliza un exceso (0.5 a 20%) de glicol con el objeto de que el número ácido alcance un valor bajo antes de que la polimerización haya avanzado demasiado (Oleesky y Mohr, 1975). También para compensar las pérdidas ocasionadas por la destilación de los glicoles. (Morgan, 1957)

De acuerdo con lo anterior estos poliésteres se pueden producir con una amplia variedad de propiedades dependiendo de los ácidos y los agentes entrelazantes que se utilicen y de su proporción en la formulación de la resina. Las resinas poliéster insaturadas son líquidas y son curadas con la ayuda de catalizadores con radicales libres para obtener productos termofijos. Cuando la mezcla resina-monomero es catalizada y el proceso de curado está en marcha, los grupos reactivos insaturados del monómero se combinan o copolimerizan con los grupos reactivos de la resina base, una vez que éstos últimos han sido atacados y abiertos por los radicales libres que proceden de la descomposición del catalizador. La estructura tridimensional o estructura termofija entrecruzada que se obtiene depende del tipo y proporción de la resina y el monómero.

La inhibición química es necesaria en varias etapas del proceso de producción de la resina y también antes del curado de la misma. La inhibición juega un papel importante en la reacción de polimerización para evitar que ésta ocurra prematuramente –incluso la mayor parte de los monómeros contienen inhibidores para evitar la homopolimerización cuando están almacenados– o para evitar la gelación de la resina por la influencia del calor generado durante los procesos intermedios.

Por otra parte estas resinas no son estables en el envasado, particularmente cuando se disuelven en monómero de estireno, y por ello generalmente se añaden pequeñas cantidades de inhibidores tales como la hidroquinona con el propósito de evitar la formación de los enlaces cruzados. A las resinas antes de aplicarlas a los sustratos deben añadirseles normalmente catalizadores entrelazantes como el peróxido de benzoilo; y también en ocasiones se utilizan activadores como secantes de cobalto para incrementar la velocidad de curado causada por los catalizadores.

El uso de inhibidores, además de prolongar el tiempo de almacenamiento<sup>18</sup>, permite modificar o retardar la velocidad de curado para prevenir fracturas o rupturas y para prevenir cambios indeseables en el tiempo de gelado durante almacenamientos prolongados. Los inhibidores también ayudan a reducir los cambios en el tiempo de gelado cuando otros aditivos están presentes y a disminuir la decoloración durante el proceso. Los inhibidores utilizados con resinas poliéster insaturadas son de dos tipos: derivados fenólicos y sales cuaternarias de amonio. (Kirk-Othmer, 1982)

Estos poliésteres insaturados se utilizan principalmente en artículos de plástico reforzados con fibra de vidrio. También se utilizan en laminados y recubrimientos debido a su alta resistencia a casi todas las influencias destructivas. Pueden ser aplicadas películas de 0.25 a 0.37 mm de espesor de película seca, a mampostería, piscinas, cascos y cubiertas de buques, interiores de vagones y estructuras de acero de las plantas químicas. En general, las resinas poliéster no saturadas tienen una gran importancia debido a la amplia difusión

---

<sup>18</sup> *Dependiendo del tipo de resina de que se trate los periodos de tiempo en los que éstas son estables durante el almacenamiento van desde dos semanas hasta doce meses. Sin embargo se considera que la vida media de las resinas sin catalizar para aplicaciones generales en las que el diluyente es estireno es de aproximadamente seis meses. (Oleesky y Mohr, 1975)*

que han adquirido en el mercado, el cual abarca industrias muy diversas, como lo son la industria automotriz, la de recubrimientos, la de equipos industriales, la eléctrica, la de botones y la decorativa.

## CAPÍTULO 4

### PRODUCCIÓN DE RESINAS POLIÉSTER EN UNA PEQUEÑA EMPRESA

El estudio se realizó en una empresa pequeña que se dedica a la producción de resinas para una gran variedad de usos y aplicaciones. El principal producto es resina poliéster insaturada ortoftálica de uso general, a partir de la cual se obtienen otras resinas de propiedades específicas. Originalmente la empresa fue establecida en 1975 con el objeto de producir diversos artículos plásticos moldeados para posteriormente especializarse en la producción de resinas poliéster. Cuenta actualmente con 15 empleados (aproximadamente la mitad son obreros y la mitad empleados) y genera ventas anuales por aproximadamente nueve millones de pesos. La producción se dirige básicamente a proveer a otras industrias, algunas de las cuales tienen actividades de exportación, aunque también se efectúan operaciones de menudeo para lo cual se cuenta con un expendio al público en la misma planta.

La empresa, además de vender diversos tipos de resinas, ofrece también los catalizadores y aceleradores necesarios para la gelación de sus productos. El servicio de asesoría para la utilización de las resinas bajo distintas condiciones atmosféricas y para la obtención de características específicas es ofrecido como parte del producto.

Actualmente la empresa está asociada a la Cámara Nacional de la Industria de Transformación (Canacintra), opera una planta en el Estado de México y se encuentra en un proceso de expansión por lo que muy pronto iniciará operaciones en una nueva planta localizada en un parque industrial en el Estado de Hidalgo. Como consecuencia de la presión ejercida por algunos de sus clientes la empresa está buscando iniciar el proceso para obtener la certificación ISO 9000 sobre sistemas de calidad, lo que hace pensar que en un futuro próximo será presionada para también buscar la certificación ISO 14000 sobre sistemas de administración ambiental (Anexo 3).

#### *4.1 Ciclo de vida de la resina de poliéster en la empresa*

El origen y destino de la resina poliéster que se fabrica en la empresa se describe en la Figura 9. Las resinas son diseñadas de acuerdo con las necesidades y especificaciones de los clientes. La mayor parte de ellas se deriva de la resina de uso general que se produce en la empresa a la cual se añaden distintos compuestos para impartir propiedades específicas. A partir de las solicitudes de los clientes y de un pronóstico de la demanda basado en la experiencia previa de la empresa se establece un programa de producción para el cual se determinan los requerimientos de materias primas, las cuales son entonces adquiridas si no existe la cantidad suficiente en el inventario del almacén. Las materias primas son almacenadas y posteriormente utilizadas en el proceso de producción. La resina

fabricada es envasada y los tambores etiquetados con la fecha, el lote de producción y el tipo de resina contenido en ellos. De acuerdo a su destino, la resina puede ser almacenada o traspasada a otro tipo de envases para su venta al menudeo o su envío al cliente mayorista. Una vez utilizada la resina por los clientes, una pequeña cantidad de resina residual contenida en los tambores es regresada a la fábrica, la cual es posteriormente enviada a un relleno sanitario.

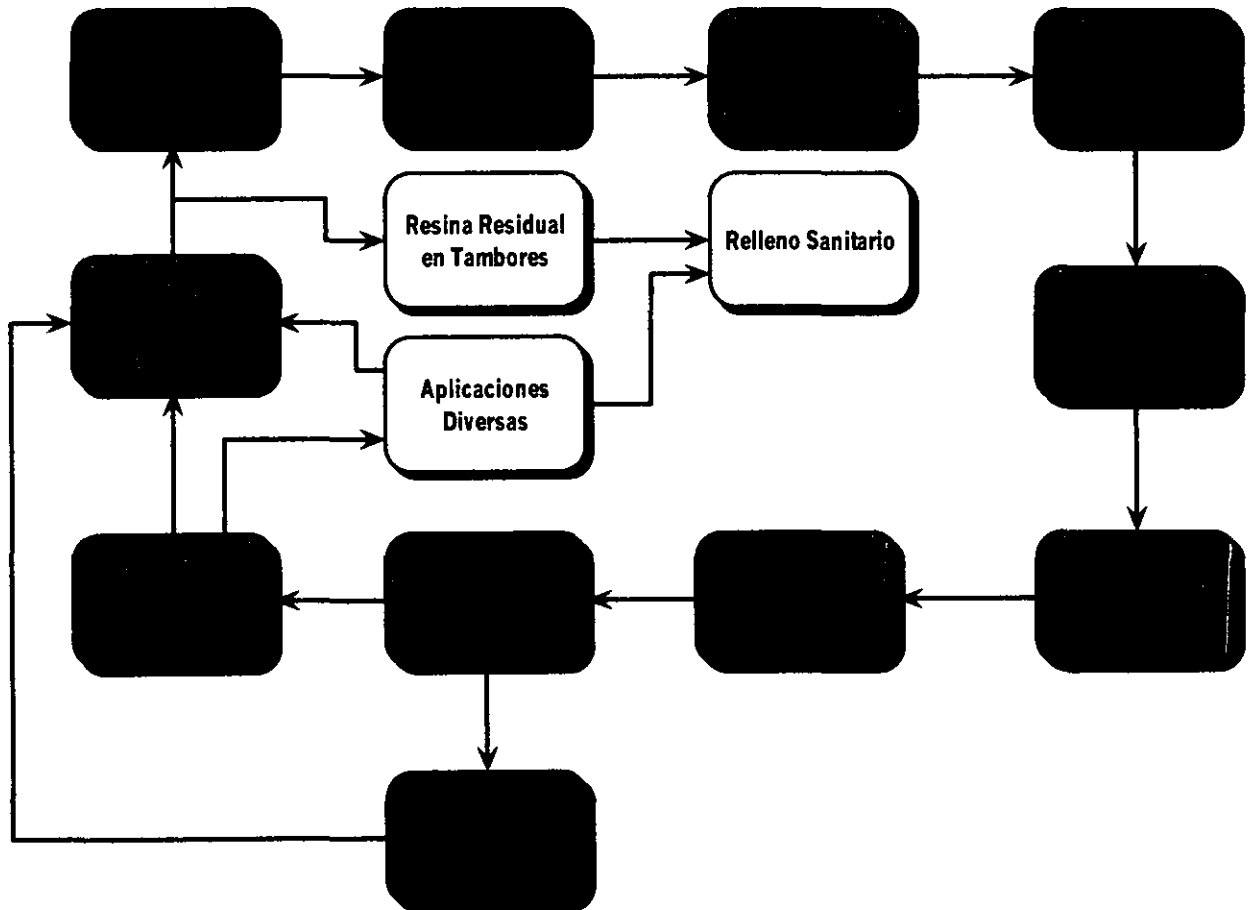
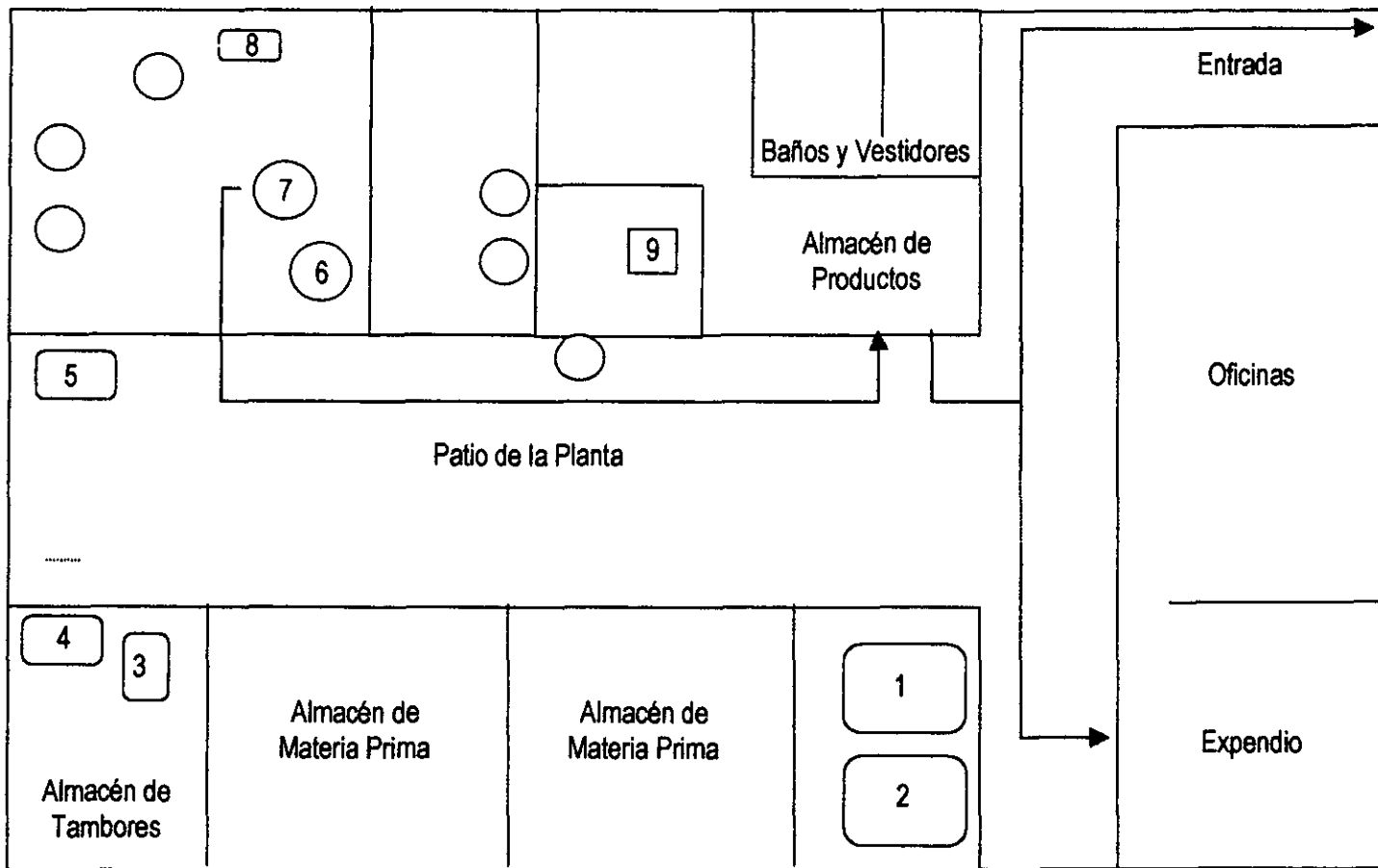


Figura 9 Origen y destino de la resina poliéster

#### 4.2 Descripción de las instalaciones

La planta ocupa una superficie de alrededor de 3,000 m<sup>2</sup>. El arreglo general de la misma se muestra en la Figura No. 10. Como puede observarse se trata de un arreglo al azar que responde a necesidades que la empresa ha ido cubriendo en el transcurso de su crecimiento. El flujo de los materiales no es el más apropiado (flujo cruzado) aún cuando no se presentan tampoco problemas significativos por esta causa.



- |  |  |
|--|--|
| 1 Sistema de Dietilenglicol                    | 5 Tanque de almacenamiento de agua de enfriamiento |
| 2 Sistema de Propilenglicol                    | 6 Reactor  |
| 3 Tanque de almacenamiento de Monoetilenglicol | 7 Tanque de corte                                  |
| 4 Tanque de almacenamiento de Estireno         | 8 Tina de glicoles                                 |
|  | 9 Calentador de aceite                             |

Figura 10 Arreglo general de la planta y flujos mas importantes de materiales



Los equipos utilizados se describen a continuación:

Almacenamiento de materias primas:

- Tanque metálico cilíndrico de almacenamiento de monoetilenglicol con capacidad para 4,638 L
- Cisterna de concreto con capacidad para nueve toneladas para almacenamiento de dietilenglicol
- Cisterna de concreto con capacidad para nueve toneladas para almacenamiento de propilenglicol
- Tanque metálico cilíndrico de almacenamiento de monómero de estireno con capacidad para 19,786 L
- Tanque metálico cilíndrico de almacenamiento de gas Lp con capacidad para 5000 L
- Tanque metálico con capacidad para 16,700 L para almacenamiento de agua del sistema de enfriamiento. Posee termómetro.

Bombas:

- Bomba sumergible para alimentación de glicoles con capacidad de 1/8 Hp
- Bomba de engranes para alimentar monómero de estireno con capacidad de 1 Hp
- Bomba centrífuga para alimentación de glicoles al reactor con capacidad de 3 Hp
- Bomba centrífuga para sistema de enfriamiento de reactor y condensador con capacidad de 1.5 Hp
- Bomba de sistema de circulación de aceite térmico con capacidad de 10 Hp
- Compresor de aire para cámara de combustión de gas con capacidad de 2 Hp

Motores:

- Motor giratorio de reactor con capacidad de 3 Hp
- Motor giratorio de tanque de corte con capacidad de 7.5 Hp

Sistema de calentamiento con aceite térmico con capacidad de 2,114 MJ/h y volumen de aceite de 720 L, el cual consiste de un quemador de gas Lp, sistema de tubería con aislamiento térmico de fibra de vidrio, además de bridas y trampas para sólidos, y tanque elevado de expansión. El calentador posee controles de presión y temperatura, así como un termostato para regular el intervalo de temperaturas de operación. El uso de este sistema permite alcanzar temperaturas elevadas sin necesidad de alcanzar también presiones elevadas.

Reactor enchaquetado (aproximadamente 2 pulgadas de espesor) de acero al carbón con capacidad para 5,000 L equipado con un sistema de serpentín para flujo de aceite térmico, el cual es alimentado desde la base y sale por la parte media superior del reactor; aislamiento térmico de lana mineral; sistema de alimentación de CO<sub>2</sub> en la base que recorre el diámetro del reactor; sistema de agitación con aspas, las cuales están situadas en varios niveles del eje; termómetro; y boca de alimentación en la parte superior.

La cabeza y el fondo del reactor tienen forma de cúpula y se dispone de un espacio adicional al volumen de la masa de reacción que sirve como cámara de expansión en la parte superior. De la parte superior del reactor parte una tubería para vapores que lleva a un condensador vertical de donde los vapores pasan a una chimenea y los condensados a tambores colectores. De la parte inferior del reactor parte otra tubería con una válvula de control hacia el tanque de corte.

Tanque de corte enchaquetado con capacidad para 6,100 L que se sitúa por debajo y a un lado del reactor. El tanque está provisto con un sistema para el flujo de agua, sistema de agitación con aspas y termómetro. La parte inferior cuenta con una tubería de vaciado y una válvula de control.

### **4.3 Producción**

#### **4.3.1 Descripción del proceso en la empresa**

La siguiente descripción corresponde al proceso de fabricación de resina poliéster insaturado ortoftálico. La producción de esta resina consiste básicamente en un proceso de esterificación en donde se obtiene un monoéster, seguido de una fase de polimerización para obtener el poliéster y otra de dilución. El proceso se describe con mayor detalle a continuación:

Los glicoles (monoetilenglicol, dietilenglicol y propilenglicol) son adquiridos de los proveedores quienes los suministran en camiones pipa desde sus propias instalaciones. La calidad de estos insumos no es verificada por la empresa, limitándose a confiar en los análisis de calidad que elaboran los propios proveedores, quienes entregan a la empresa compradora una hoja con la información correspondiente a dicho análisis cuando se adquieren los glicoles.

Desde las pipas los glicoles son descargados en un tanque para monoetilenglicol, una cisterna para dietilenglicol y una cisterna para propilenglicol. El estireno es también alimentado desde un camión pipa hacia un tanque de alimentación. Los anhídridos son adquiridos en sacos de 25 kg para el caso del anhídrido ftálico y de 35 kg para el anhídrido maléico, mismos que son almacenados, uno al lado del otro, en un almacén.

En la tina de glicoles se carga primero el dietilenglicol por medio de una bomba sumergible, la cual sirve también para cargar los otros glicoles a la tina. En segundo lugar es cargado el propilenglicol, y finalmente el monoetilenglicol. Los dos primeros se bombean desde las cisternas de almacenamiento mientras que el último es bombeado desde tambores de 200 L (los tambores se llenan desde el tanque de almacenamiento).

Durante la carga se utilizan aforos establecidos que están definidos por marcas en la tina de glicoles. Cabe mencionar que la tina tiene una tapa para evitar pérdidas de glicoles por evaporación. Para ver y revisar los aforos se requiere de una inspección visual que imposibilita el uso de la tapa de la tina de glicoles hasta el final de la operación de alimentación de glicoles. Cuando los tres glicoles han sido cargados en las cantidades

requeridas, y que además se tiene una mezcla de ellos en la tina, se alimentan al reactor por medio de una bomba centrífuga. El reactor es alimentado también con tolueno desde un tambor de 200 l con ayuda de una bomba.

Ya estando los glicoles y el tolueno en el reactor, se inicia su precalentamiento con un aceite térmico, a una temperatura de 80 °C con el propósito de iniciar la activación de la reacción. Al iniciarse el calentamiento se inyecta bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la base del reactor desde un cilindro. El gas inerte es burbujeado entonces en la mezcla de glicoles y tolueno, y se le usa básicamente por tres razones: i) ayuda a expulsar el agua producida durante la reacción; ii) expulsa el oxígeno contenido en el reactor para evitar la coloración de la resina y; iii) evita una atmósfera explosiva al descargar el monoéster.

Enseguida de obtenerse dicha temperatura se procede a la carga de anhídridos en forma manual por la boca del reactor, operación que puede tardar entre 10 y 20 minutos. Para ello los sacos con los anhídridos deben ser llevados desde el almacén y elevados a la altura de la boca del reactor, también manualmente.

La carga de los anhídridos reduce la temperatura de la mezcla de reacción a alrededor de 60 °C, por lo que al finalizarse esta se inicia un calentamiento de los glicoles y los anhídridos para alcanzar nuevamente una temperatura de 100 °C. La operación de calentamiento desde la carga inicial de los glicoles y el tolueno hasta alcanzar 100 °C con los anhídridos incluidos lleva aproximadamente 80 minutos y culmina con el inicio de una reacción de tipo exotérmico. En ese momento se añade Hidroquinona. El calentamiento se realiza mediante el uso de un sistema en el que aceite térmico calentado se hace pasar por la chaqueta del reactor. El aceite es calentado por la combustión de gas lp.

La reacción conduce al reactor hasta una temperatura de 155 °C constante, y en ese momento se sigue calentando hasta alcanzar una temperatura de 190 °C, etapa en la cual es iniciada la evaporación. La operación de calentamiento tiene una duración de poco más de tres horas. Los vapores generados se hacen pasar a través de un equipo de condensación vertical, donde se controla el flujo de gases con el propósito de eliminar solamente el vapor de agua generado durante la reacción. Existe un contraflujo que teóricamente regresa los glicoles o monoéster que pudieran ser arrastrados por el vapor. Los vapores que alcanzan a pasar son emitidos a la atmósfera a través de una chimenea y los condensados son recogidos en tambores de 200 l. Durante este periodo se detiene el flujo de aceite térmico a la camisa del reactor y el calentador trabaja únicamente con el piloto de gas lp.

Al finalizar la evaporación el calentador se pone nuevamente en funcionamiento y se permite el flujo de aceite térmico en la chaqueta del reactor, con lo que se eleva la temperatura de la reacción (temperatura de cocimiento) a 210° C<sup>19</sup>. Esta operación de

---

<sup>19</sup> La temperatura óptima de esterificación para la mayoría de los poliésteres insaturados es 210° C. Debajo de esta temperatura es difícil obtener la isomerización maléica y a mayores temperaturas se presenta una pérdida parcial de insaturaciones a partir de la adición de glicoles. (Kirk-Othmer, 1982)

calentamiento tiene una duración de alrededor de una hora y media. Una vez alcanzada esta temperatura el calentador se apaga y el flujo de aceite térmico se detiene, dejando la mezcla de reacción a dicha temperatura por otras dos horas aproximadamente. El material del reactor esterificado, "poliéster lineal", es vaciado por gravedad al tanque mezclador o tanque de corte, para iniciar la dilución con el estireno. El estireno es bombeado directamente desde tambores de 200 L. En esta etapa también son añadidos Hidroquinona y cera de Percloroetileno.

Se realiza un enfriamiento del tanque de corte con el propósito de no emitir evaporaciones<sup>20</sup> y evitar la presurización del tanque. La temperatura de mezclado <sup>21</sup> se mantiene a un máximo de 70 – 75 °C y es controlada con agua de enfriamiento que corre por la parte externa del tanque enchaquetado, la cual es reutilizada sin darle ningún acondicionamiento. Esta agua es alimentada desde un tanque de almacenamiento y no existe ningún mecanismo de enfriamiento, por lo que eventualmente la temperatura del agua y la del tanque se igualan y la operación de enfriamiento se detiene.

Es importante mencionar que todos los tanques de almacenamiento, la tina de glicoles, así como el reactor y el tanque de corte cuentan con contenciones para derrames accidentales.

Al terminar la dilución se inicia el envasado y almacenamiento de la resina en tambores de 240 kg/200 L. Para ello la resina es alimentada desde el tanque de corte por medio de una llave hacia los tambores, se deja reposar un tiempo para permitir el enfriamiento del producto y posteriormente los tambores son tapados y etiquetados. En esta parte se utilizan tanto tambores nuevos como tambores que han sido devueltos por los clientes y que son lavados con thinner para poder ser nuevamente utilizados. El diagrama de bloques del proceso con la identificación de corrientes (Figura 11), el diagrama de bloques con la identificación del equipo electromecánico (Figura 12), así como la secuencia de operaciones (Figura 13) del mismo se muestran a continuación:

---

<sup>20</sup> El contacto del monoéster con el monómero de estireno puede producir vapores como consecuencia de la diferencia de temperaturas entre ambos, lo que eventualmente puede conducir a un aumento de presión en la cámara del tanque de corte y a un riesgo de explosión.

<sup>21</sup> A una temperatura mayor a 75 °C se corre el riesgo de gelación prematura de la resina.

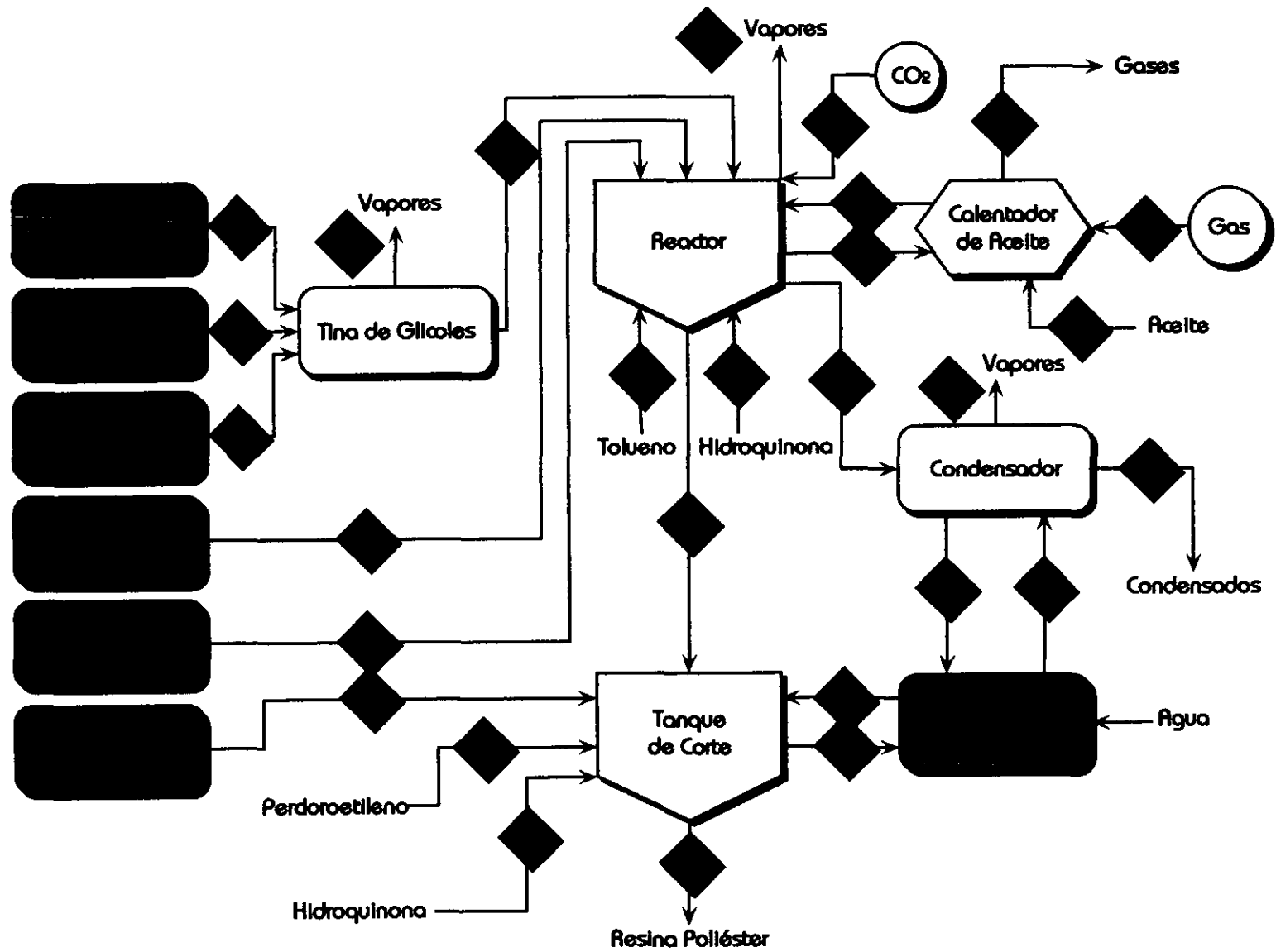


Figura 11 Diagrama de bloques del proceso e identificación de corrientes

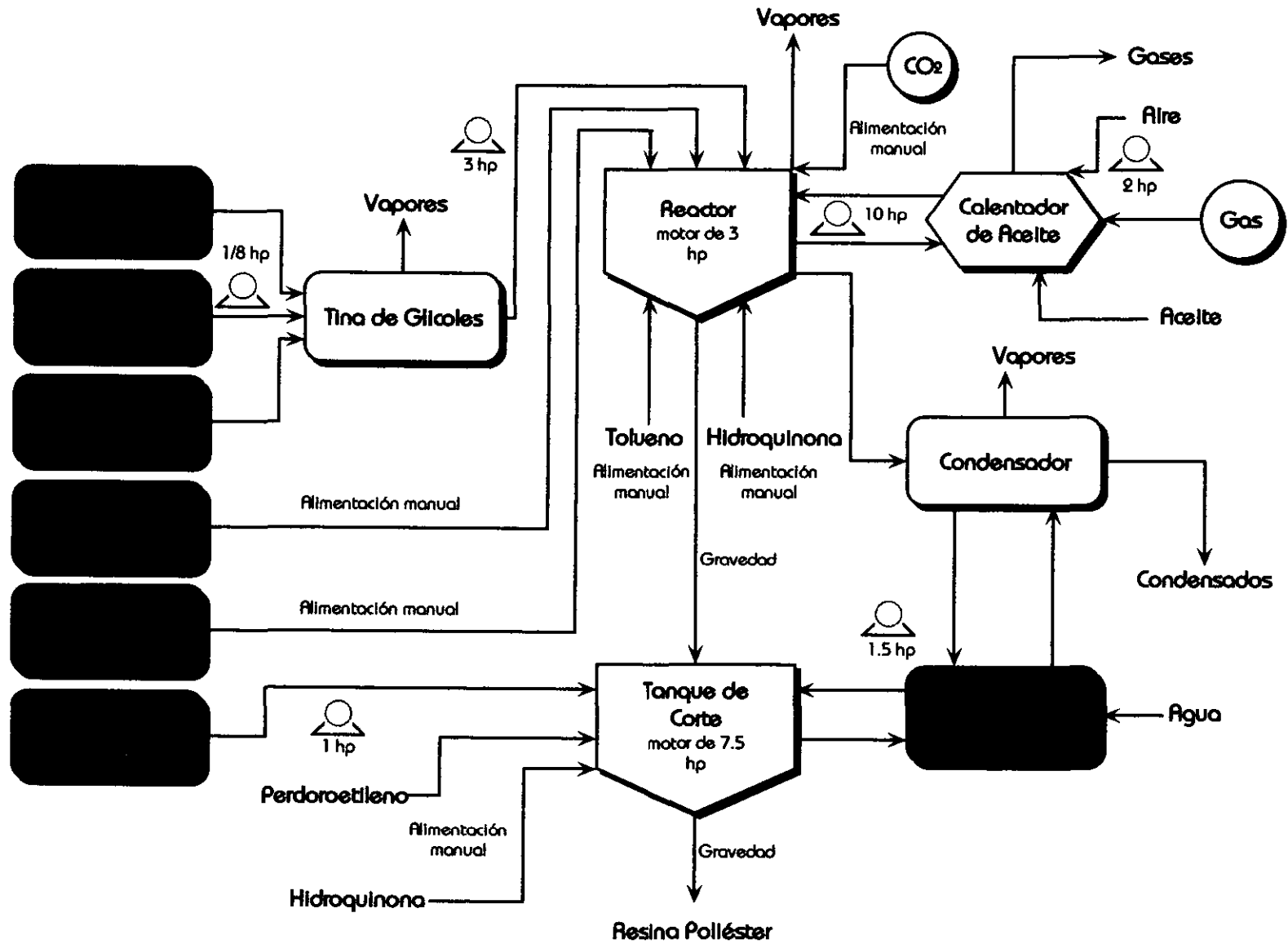


Figura 12 Diagrama de bloques del proceso (equipo electromecánico)

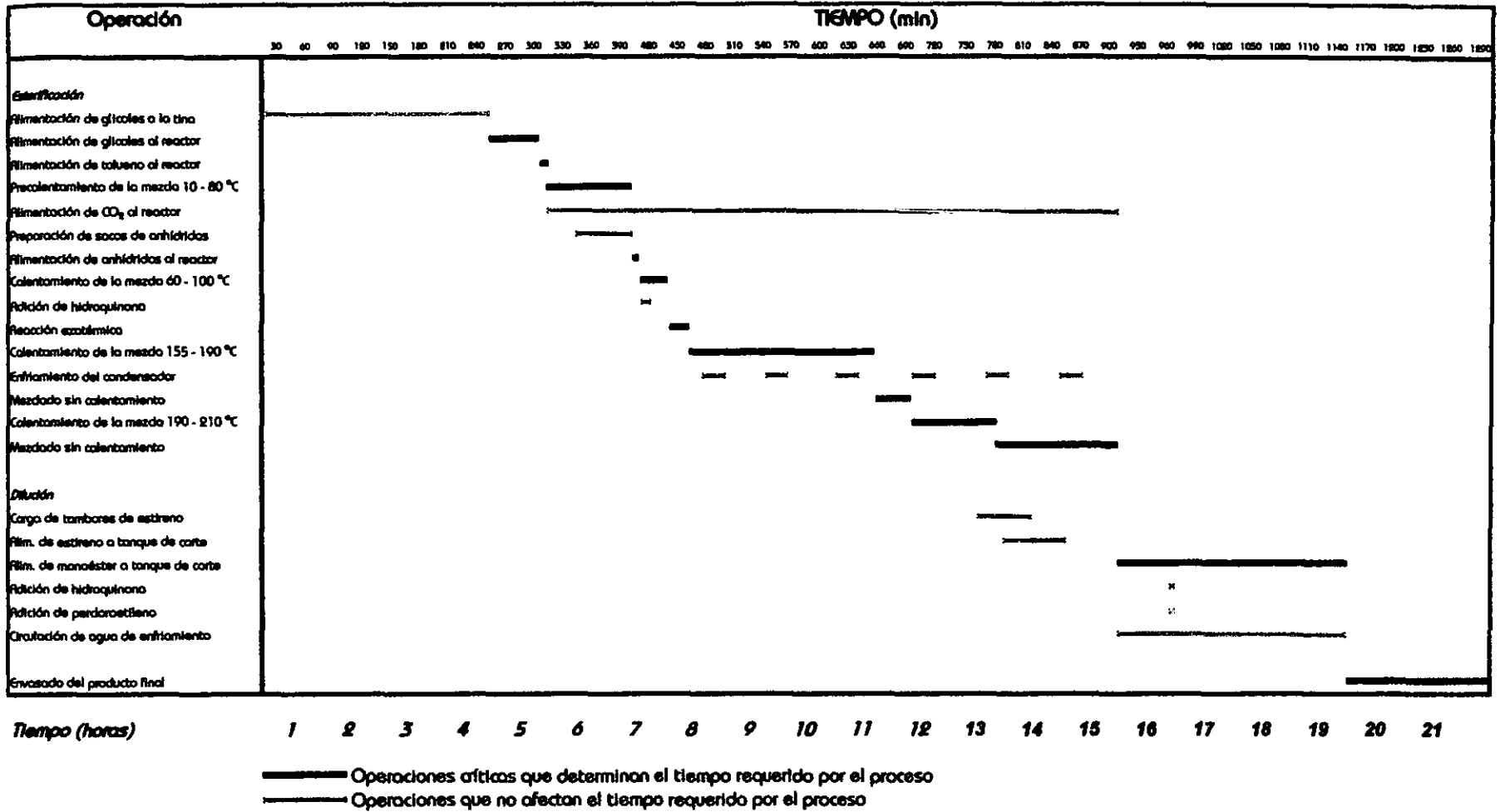


Figura 13 Secuencia de operaciones del proceso de producción de resina poliéster

Al proceso de producción se añade otra actividad que es la del envasado del producto final y para la cual se utilizan principalmente tambores metálicos o de plástico con capacidad para 240k / 200 L. La mayor parte de estos tambores son regresados a la empresa por los clientes y vuelven a ser utilizados. El proceso se describe gráficamente en la Figura 14.

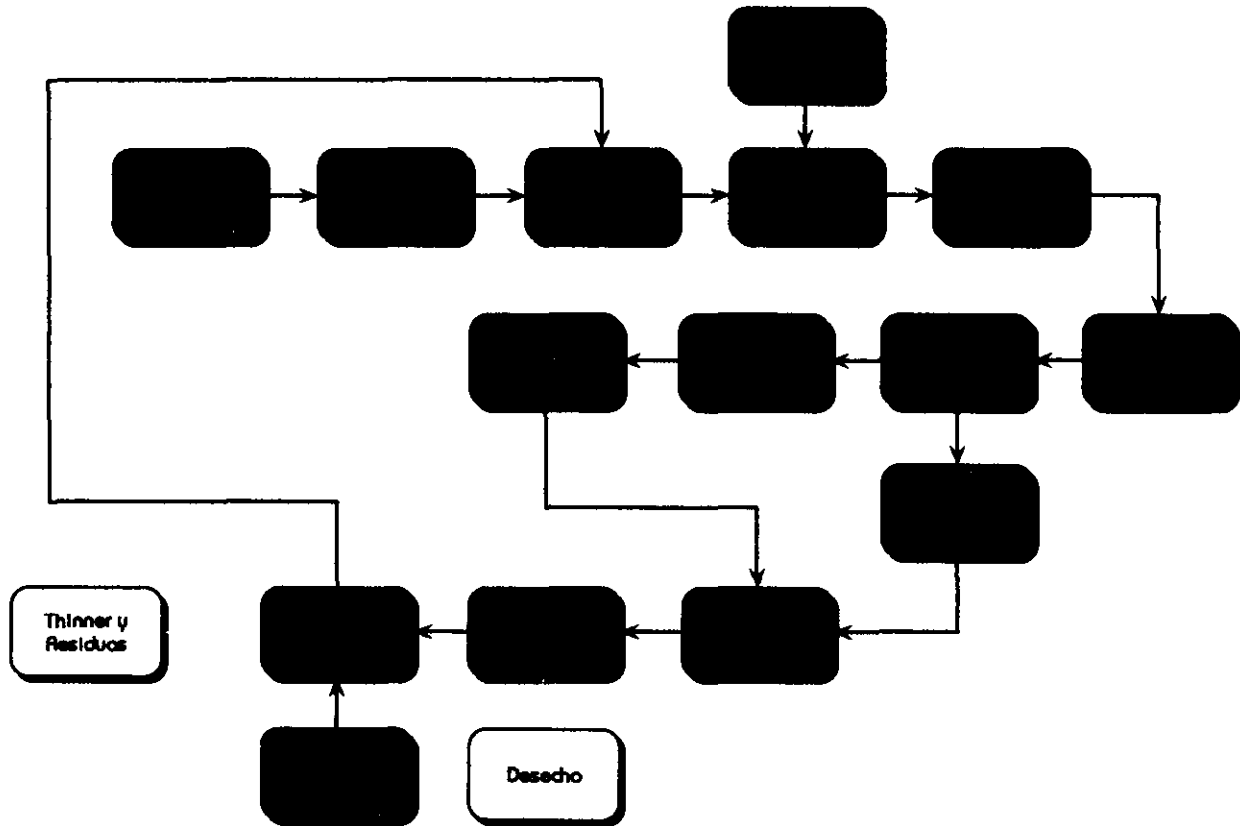


Figura 14 Manejo de tambores hacia, en y desde la empresa

#### 4.3.2 Balance de materiales

Para realizar los balances de materiales de todas las operaciones involucradas se consideraron los datos proporcionados por la empresa para la elaboración de un "lote" de la resina poliéster. Para los balances teóricos de materiales se usaron varios escenarios en los que se utilizaron diversos reactivos limitantes, los anhídridos en el primer caso y el estireno en el segundo, los cuales fueron considerados como la base para la elaboración de los balances. Se presenta además un tercer escenario basado en el volumen de producción de un lote de resina. Además cabe aclarar que para realizar los balances teóricos se consideró la relación estequiométrica sugerida por Oleesky y Mohr (1975) para la producción industrial de resinas poliéster, es decir, una reacción en cantidades equitativas de cada uno de los anhídridos con cada uno de los glicoles y que en forma general son:



1 mol anhídrido + 1 mol glicol    1 mol de monoéster + 1 mol de agua

1 mol de monoéster + 1 mol de estireno    1 mol de resina poliéster

El balance real de materiales se realizó dando seguimiento a la elaboración de un lote de resina. Para la obtención de los datos reales se recurrió a la información contenida en análisis de laboratorio<sup>22</sup> para los siguientes casos: i) composición de condensados, ii) volumen de los vapores del condensador, iii) composición del producto de esterificación, iv) composición del producto final, y v) gases de la chimenea del calentador; y de estimaciones para los siguientes casos: i) composición de los vapores del condensador, ii) volumen de agua de enfriamiento para el tanque de corte, y iii) volumen de agua de enfriamiento para el condensador.

Las determinaciones de las composiciones de los condensados, el producto de esterificación y el producto final se hicieron mediante análisis cromatográficos. Cabe destacar que dadas las limitaciones económicas del estudio no se hizo un análisis detallado que incluyera los seis distintos ésteres que se forman durante el proceso de esterificación y que éstos fueron tratados en su conjunto como "éster". Sin lugar a dudas esta información sería muy valiosa para la toma de decisiones respecto a la formulación del producto y proporcionaría datos muy importantes para la total comprensión del proceso.

La figura 15 muestra el balance de materiales obtenido durante el estudio. La comparación entre los balances teórico y real de materiales se muestra a continuación en la Tabla 3. En éste los números de las corrientes corresponden con aquellos considerados en el diagrama de bloques del proceso mostrado anteriormente. Para una descripción más detallada del balance de materiales es necesario dirigirse al Anexo 2 de este documento.

---

<sup>22</sup> Los análisis de la composición de los condensados, el producto de esterificación y el producto final fueron hechos en el Centro de Investigaciones e Innovación Tecnológica (CIITEC) del Instituto Politécnico Nacional. Los análisis del volumen de los vapores del reactor y del flujo y composición de los gases de combustión de calentador fueron hechos por DEISA, Desarrollo Ecológico Industrial, S.A. de C.V.

Tabla 3 Balance de materiales del proceso (kg)

CORRIENTE	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		
	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	
COMPONENTE (Kg)																											
Anhídrido Ftálico							1217.0	1019.5																			
Anhídrido Maléico									1217.0	1019.5																	
Étilenglicol	252.0	357.3											252.0	357.3								5.8					
Propilenglicol			710.0	438.5									710.0	438.5								13.9					
Diétilenglicol					968.0	611.4							968.0	611.4								82.3					
Tolueno																						154.0					
Estireno											880.0	1797.8															
Hidroquinona																											
Percloroetileno																											
Parafina																											
Monoésteres																											
Aceite Térmico															N.C.	511.2	N.C.	511.2									
Agua																						253.0		72000	N.C.	72000	N.C.
Vapores																						540.5	311.2	512.9	0.0		
Gas LP																											
CO <sub>2</sub>																											
Gases Combustión																											
Poliéster																											
TOTAL	252.0	357.3	710.0	438.5	968.0	611.4	1217.0	1019.5	1217.0	1019.5	880.0	1797.8	1930.0	1407.8	N.C.	511.2	N.C.	511.2	540.5	311.2	512.9	0.0	72000	N.C.	72000	N.C.	

CORRIENTE	14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27	
	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T
COMPONENTE (Kg)																												
Anhídrido Ftálico	157.8													319.5														
Anhídrido Maléico																												
Étilenglicol												0.4		17.4														
Propilenglicol												0.8																
Diétilenglicol	1099.3											4.6																
Tolueno												0.0																
Estireno														861.3														
Hidroquinona				0.55	N.C.																							
Percloroetileno																												
Parafina						1.4	N.C.																					
Monoésteres	2721.0	3135.0																										
Aceite Térmico																												
Agua								10300	N.C.	10300	N.C.	21.9	311.2															
Vapores																												
Gas LP																												
CO <sub>2</sub>																	6.0	N.C.	480.0	396.6								
Gases Combustión																												
Poliéster														3661.9	4932.8													
TOTAL	3978.1	3135.0	0.55	N.C.	1.4	N.C.	10300	N.C.	10300	N.C.	27.6	311.2	4860.0	4932.8	6.0	N.C.	480.0	396.6	924.1	1450.6	1.4	0.0	154.0	0.0	0.55	0.0	N.C.	0.0

E. Empresa T. Teórico N.C. No cuantificado

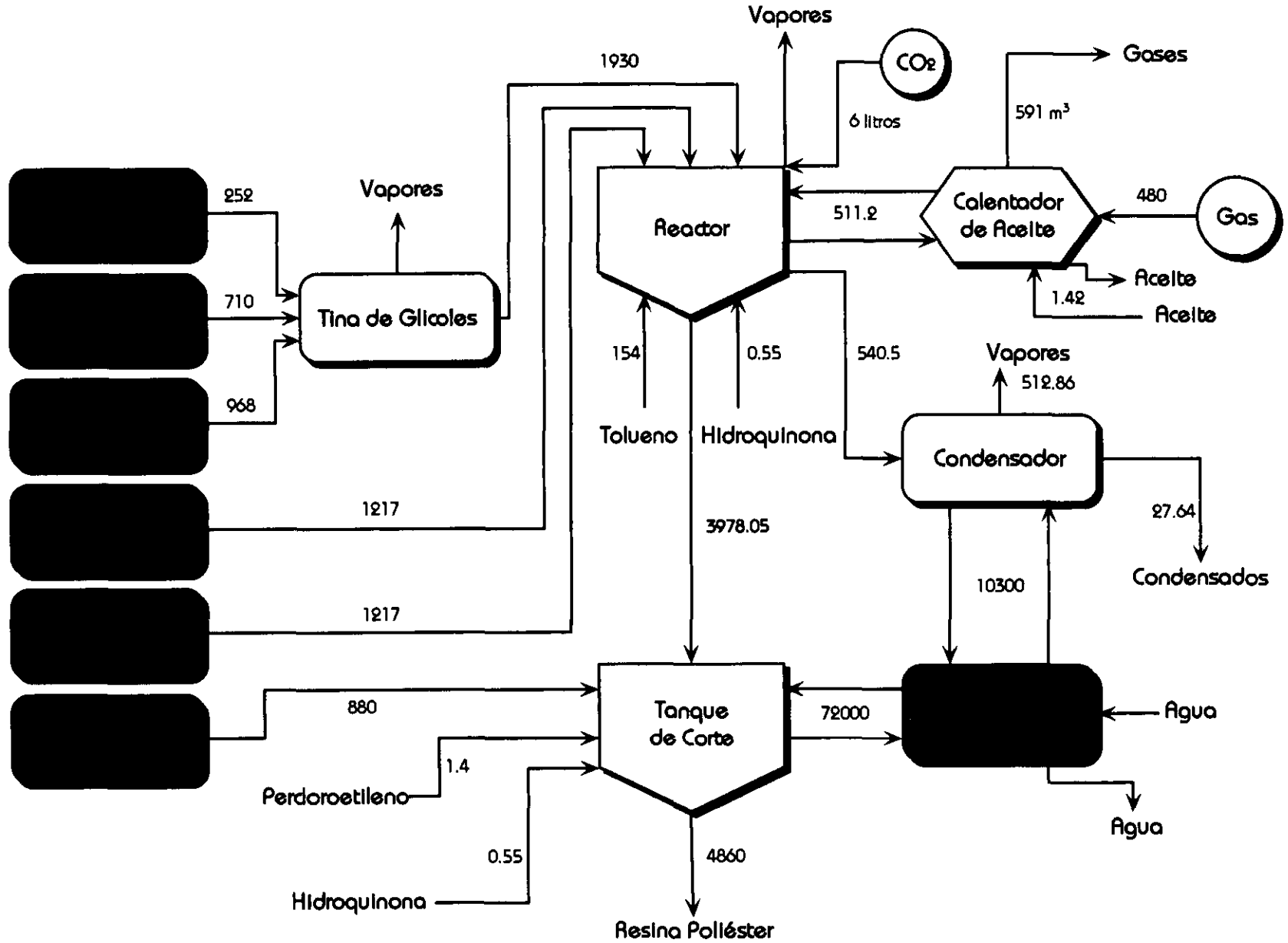


Figura 15 Balance de materiales del proceso (kg)

### 4.3.3 Balance de energía

El consumo energético en las diferentes actividades de la planta se describe esquemáticamente en la Figura 16, en la que también se muestran los límites del sistema y los contaminantes generados en cada etapa.

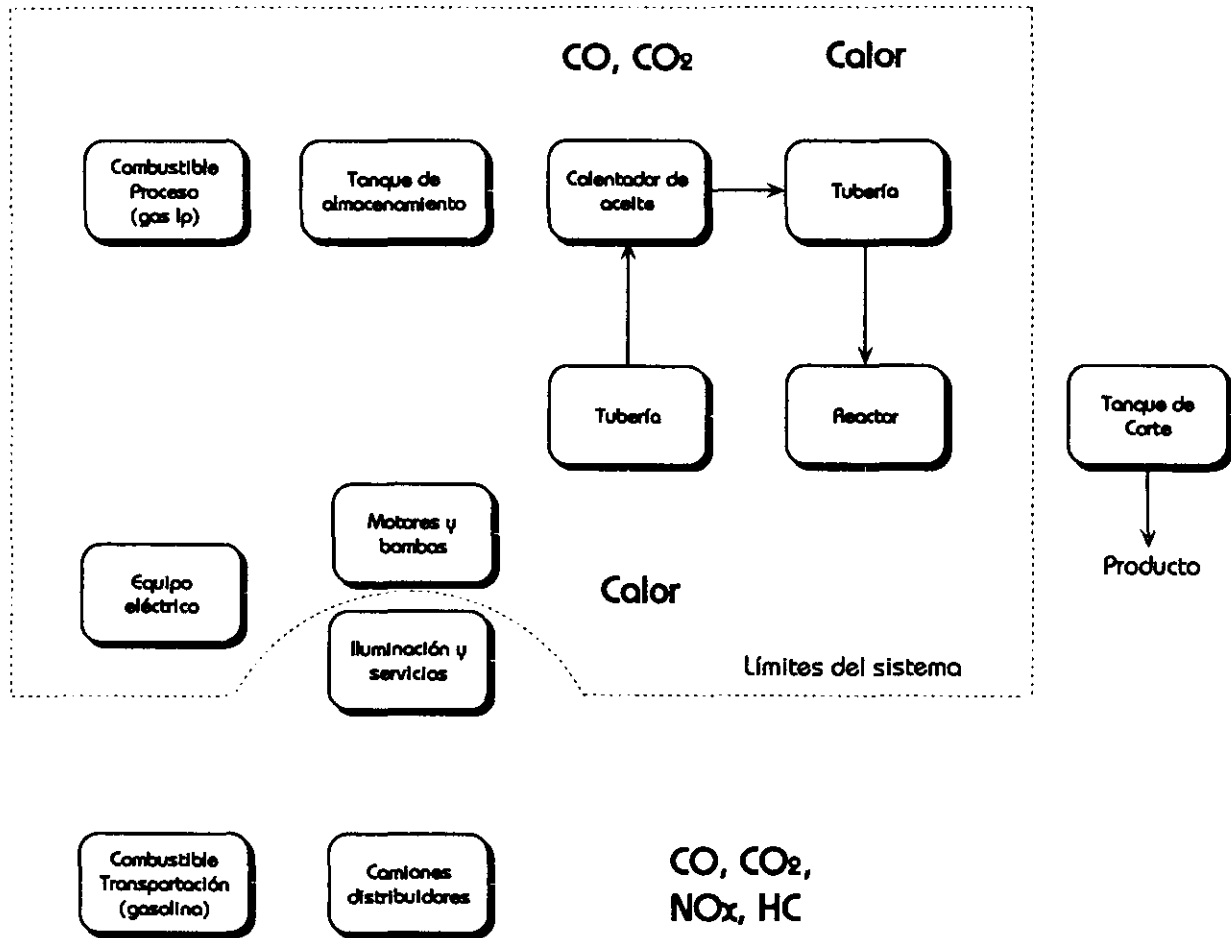


Figura 16 Descripción del sistema de estudio para el balance de energía

Para realizar el balance de energía del proceso se consideraron los datos proporcionados por la empresa para la elaboración de un "lote" de la resina poliéster, así como algunas estimaciones. El balance contempla el consumo energético derivado de la operación del equipo eléctrico para el proceso, así como del relacionado con el sistema de calentamiento para el reactor. Para este último, se hacen estimaciones de los consumos requeridos para elevar la temperatura de la masa de reacción en distintos momentos del proceso, así como de la energía suministrada con el fin de determinar las pérdidas de calor que se presentan y estar en condiciones de cuantificar las pérdidas económicas que éstas ocasionan.

### Consideraciones para la elaboración del balance de energía

El flujo de aceite en el sistema no es un parámetro conocido ni controlado por la empresa, Este parámetro fue calculado bajo las siguientes consideraciones:

- La masa de reacción es llevada de una temperatura de 60 °C hasta 100 °C en un periodo de 30 minutos. Durante este tiempo la temperatura de entrada del aceite térmico a la chaqueta del reactor es de 280 °C y la de salida de 270 °C. Esta, que es la segunda fase de calentamiento del reactor, es la que se lleva a cabo en las condiciones más estables por lo que se le utilizó como base para el cálculo.
- El valor de capacidad calorífica ( $C_p$ ) del aceite térmico es el promedio de los valores a la entrada y salida del reactor:

$C_p$  del aceite térmico: 2.7719 kJ/kg °C (promedio entre los valores de  $C_p$  del aceite a las temperaturas de entrada y salida al reactor)

- Los valores de capacidad calorífica considerados para los distintos compuestos de la mezcla de reacción se muestran a continuación<sup>23</sup>:

Etilenglicol:	2.3470 kJ/kg °C
Dietilenglicol:	2.0920 kJ/kg °C
Propilenglicol:	2.0920 kJ/kg °C
Anhídrido Ftálico:	0.9539 kJ/kg °C
Anhídrido Maléico:	1.0167 kJ/kg °C

Mezcla en el reactor<sup>24</sup>: 1.5054 kJ/kg °C

- Para el cálculo del flujo másico de aceite térmico se considera un sistema ideal sin fugas de calor, es decir, un sistema completamente eficiente en el que todo el calor proporcionado es transferido.
- La mezcla del gas  $L_p$ <sup>25</sup> utilizado como combustible para proporcionar calor al proceso se considera como una mezcla de butano y propano en proporción 80/20.

<sup>23</sup> Valores promedio. Los valores para los anhídridos fueron calculados con base en la regla de Kopp. Esta regla establece que la capacidad calorífica de un compuesto es aproximadamente igual a la suma de las capacidades caloríficas de los elementos que lo constituyen.

<sup>24</sup> Obtenida con base en la proporción de cada sustancia dentro de la mezcla multiplicada por su valor de  $C_p$ .

<sup>25</sup> El gas  $L_p$  es un combustible fósil constituido por propano o butanos o mezclas de ambos, que pueden contener etano, pentanos e hidrocarburos más pesados y algunas olefinas (propeno y buteno). La denominación de gas licuado es en estado de vapor. Se emplea un sistema de compresión y enfriamiento para licuarlo. Debido a que es incoloro e inodoro, se le agrega una sustancia de olor penetrante (etil-mercaptano) que permite detectarlo cuando se tiene una fuga ya que es muy inflamable, aunque no tóxico.

Cálculo del balance de energía

*Componente térmico*

Se calculó la cantidad de energía requerida para el calentamiento de la mezcla en las condiciones antes señaladas:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = 4,518 \text{ kg} (1.5054 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) (100 - 60^\circ\text{C}) = 272,055.89 \text{ kJ/30 min} = 151.18 \text{ kJ/s}$$

Lo que significa 272.12 MJ en 30 minutos.

Bajo la consideración de que la ganancia de calor en una parte del sistema es igual a la pérdida de calor en la otra parte del mismo, el cálculo del flujo másico de aceite térmico fue:

$$151.1781 \text{ kJ/s} = m (2.7719 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) (280 - 270^\circ\text{C})$$

donde  $m = 5.4540 \text{ kg/s}$  o  $7.6817 \text{ Us}$  de aceite térmico<sup>26</sup>

La evolución de la temperatura de la mezcla de reacción durante el proceso se muestra gráficamente en la Figura 17. Para el análisis de los requerimientos y el consumo de energía durante el proceso de esterificación, este se dividió en cuatro etapas de calentamiento.

En la primera etapa de calentamiento la temperatura del aceite es elevada hasta 280 °C desde una temperatura inicial de 10 °C, y la mezcla de glicoles y tolueno desde 10 °C hasta 80 °C.

En estas condiciones el  $C_p$  promedio para el aceite térmico es de 2.2907 kJ/kg °C y el calor proporcionado por el aceite es de alrededor de 3,373.27 kJ/s. Debido a que esta operación duró 78 minutos durante el seguimiento del lote escogido para el estudio, entonces el calor total proporcionado fue de alrededor de 15,786.89 MJ.

A partir de los valores correspondientes al balance real de materiales se tiene que la masa de reacción tiene un  $C_p = 2.1129 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$  y que el calor necesario para dicho calentamiento (desde 10 °C hasta 80 °C) es de 308.33 MJ (se proporcionó 51.2 veces más calor de lo requerido).

En la tercera etapa de calentamiento la mezcla de reacción se lleva hasta una temperatura de 190 °C a partir de 155 °C después de la reacción exotérmica durante la esterificación. Esto llevó un tiempo de 195 minutos durante el seguimiento del lote correspondiente y el

<sup>26</sup> La densidad del aceite térmico es  $\rho = 0.71 \text{ kg/L}$

calor proporcionado durante este intervalo fue de 1,461.75 MJ. El calor requerido para ello es teóricamente de 227.51 MJ (se proporcionó 6.42 veces más calor que el necesario).

En la cuarta etapa de calentamiento la mezcla de reacción se lleva a una temperatura de 210 °C a partir de una temperatura inicial de 190 °C, operación que llevó 90 minutos. El calor proporcionado en este caso fue de 674.65 MJ mientras que el requerido fue de solo 130 MJ (se proporcionó 5.2 veces más calor que el requerido).

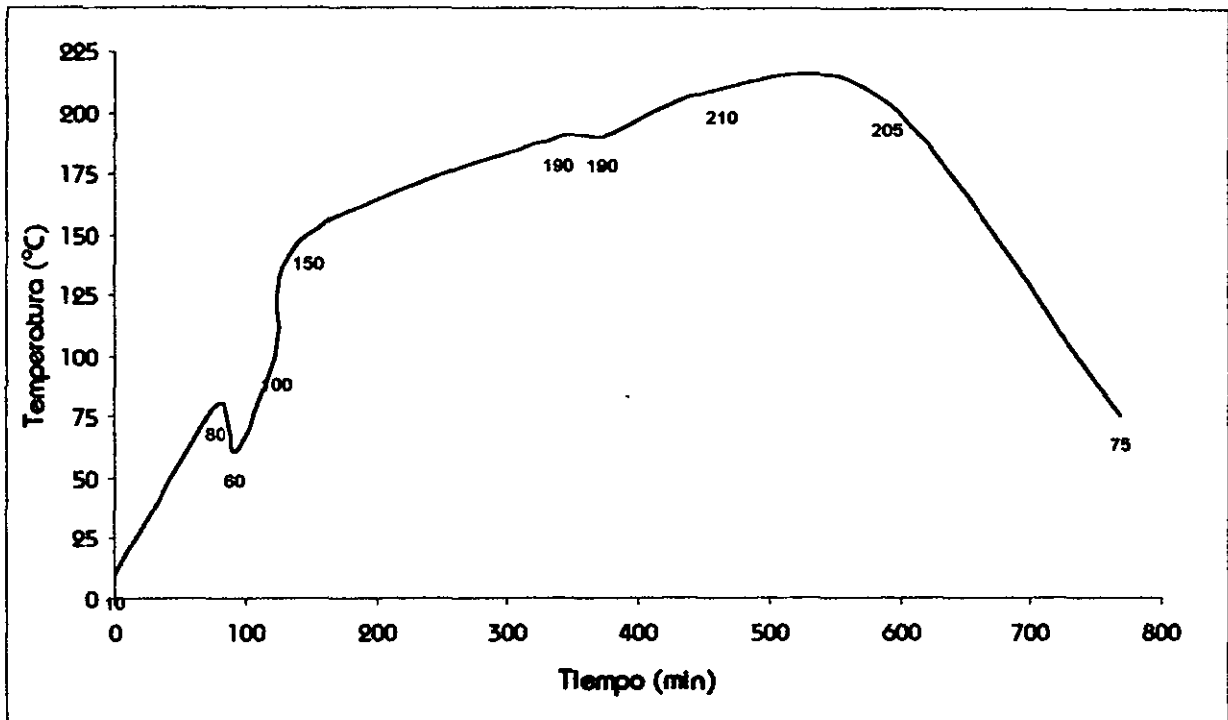


Figura 17 Evolución de la temperatura de la mezcla de reacción durante el proceso

Es evidente que existen pérdidas importantes de calor en el sistema que pueden deberse a diversas causas como por ejemplo la falta de mantenimiento en la chaqueta del reactor, la cual pudiera estar semiobstruida disminuyendo la capacidad para transferir calor, las malas condiciones del aislamiento térmico del sistema de calentamiento en general, las fugas de aceite detectadas durante las visitas a la planta, así como las pérdidas inherentes al quemador del calentador de aceite térmico.

Llama la atención por su proporción la operación de calentamiento inicial de la mezcla de reacción, en donde la diferencia entre el calor que se proporciona y el necesario para elevar la temperatura hasta el nivel requerido por la reacción es de 15,478.56 MJ.

El suministro de gas lp para el lote estudiado fue de 480 kg, es decir, se proporcionaron alrededor de 37.9 MJ por kg de gas lp. Si se considera el poder calorífico del gas se tiene:

Tabla 4 Energía utilizada durante el proceso de calentamiento de la mezcla de reacción

Componente	BTU / lb	kJ/kg	Kg	MJ
Butano	19,680	45,763.8	384	17,573.3
Propano	19,944	46,377.7	96	4,452.3
<b>Total</b>			<b>480</b>	<b>22,025.6</b>

Lo que implica un poder calorífico de 45.9 MJ por kg de gas lp. La diferencia entre este valor y el de 37.9 MJ se debe presumiblemente a pérdidas de calor en el quemador del calentador.

Tabla 5 Contribución de las distintas fases de calentamiento del reactor al balance de calor (MJ)

	Energía requerida	Energía proporcionada	Diferencia
Calentamiento del reactor (fase I)	308.33	15,786.89	15,478.56
Calentamiento del reactor (fase II)	272.12	272.12	0.00
Calentamiento del reactor (fase III)	227.51	1,461.75	1,234.24
Calentamiento del reactor (fase IV)	130.00	674.65	544.65
Reacción exotérmica		374.17	374.17
<b>TOTAL</b>	<b>937.96</b>	<b>18,569.58</b>	<b>17,631.62</b>

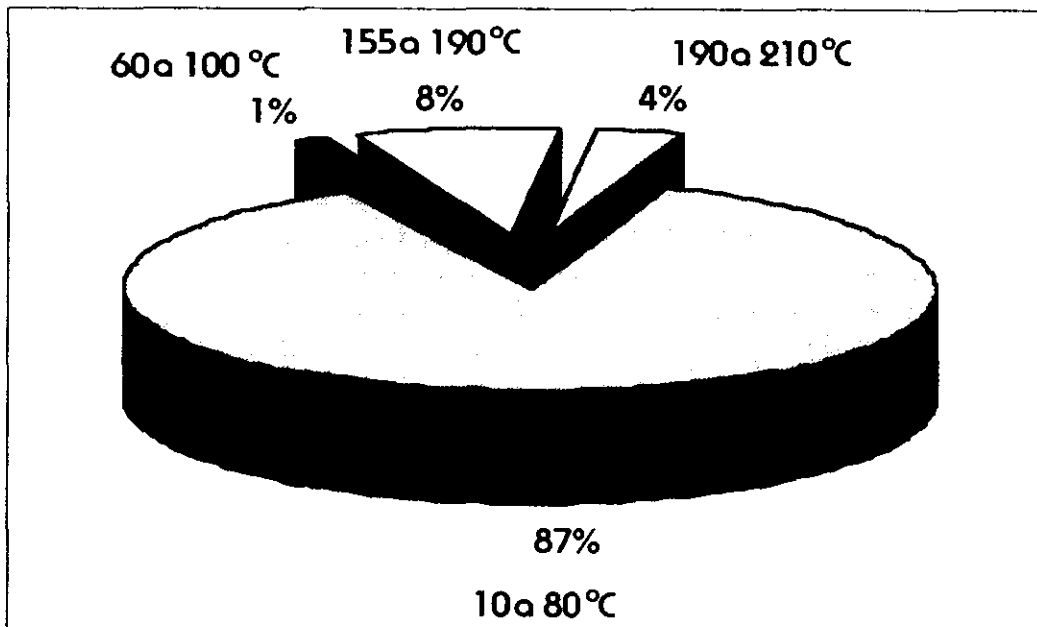


Figura 18 Contribución de las distintas fases de calentamiento del reactor al total de la energía proporcionada durante la esterificación



Si se considera únicamente a la conducción de calor y se desprecian las pérdidas ocasionadas por los efectos de radiación y convección, las pérdidas ocasionadas por transferencia de calor a través del aislamiento térmico de la tubería se calculan con base en la siguiente fórmula<sup>27</sup> (Waldo, 1992 e Incropera y DeWitt, 1996):

$$Q = \frac{2\pi KL(T_i - T_o)}{\ln(r_o/r_i)}$$

donde  $Q$  = pérdida de calor (BTU · in / (h · ft<sup>2</sup>))

$K$  = conductividad térmica (BTU · in / (h · ft<sup>2</sup> · °F))       $L$  = longitud de la tubería (ft)

$T_i$  = temperatura interior (°F)       $T_o$  = temperatura exterior (°F)

$r_i$  = radio de la tubería con aislamiento (in)       $r_o$  = radio de la tubería (in)

La cual permite estimar el calor transferido a través de superficies cilíndricas aisladas.

La tubería del sistema de calentamiento tiene 2 pulgadas de diámetro y el material aislante utilizado es fibra de vidrio, la cual tiene también un espesor de 2 pulgadas y está colocada en forma de medias cañas. La tubería de entrada tiene una longitud de aproximadamente 11 m y se considera una temperatura exterior promedio de 15 °C. Para la tubería de entrada al reactor la pérdida se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{2\pi 0.55 (36.09)(536 - 59)}{\ln(2/1)} = 85,824.9 \text{ BTU} \cdot \text{in}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2)$$

y para la tubería de salida del reactor:

$$Q = \frac{2\pi 0.55 (36.09)(518 - 59)}{\ln(2/1)} = 82,586.2 \text{ BTU} \cdot \text{in}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2)$$

Que con 6.5 horas de operación y considerando la superficie de la tubería dan un total de 13,855.9 MJ en condiciones ideales cuando el aislamiento térmico de la tubería opera adecuadamente, lo que explica gran parte de la diferencia existente entre la energía requerida por la mezcla y la que es proporcionada por el sistema. Si se hace el cálculo con un valor de conductividad térmica de 0.72 en un escenario más conservador, entonces la pérdida de calor alcanza casi el total de la energía proporcionada. El detalle del cálculo puede consultarse en el Anexo 2 de este trabajo.

De esta manera el balance de calor queda como se muestra en la Tabla 6 siguiente:

<sup>27</sup> Esta ecuación se obtiene a partir de la correspondiente a la ley de Fourier, la cual establece la tasa de transferencia de calor en un material determinado.

Tabla 6 Balance de calor (MJ)

Concepto	MJ
Calor proporcionado durante el proceso	18,195.4
Pérdidas de calor en el quemador del calentador de aceite	3,875.4
Calor requerido por la mezcla de reacción	938.0
Pérdidas de calor en la tubería del sistema de calentamiento <sup>28</sup>	13,855.9
Otras pérdidas	3,399.5
<b>Total de energía contenida en la mezcla de gas lp</b>	<b>22,025.6</b>
Calor proporcionado por la reacción exotérmica	374.2
<b>Total</b>	<b>22,399.8</b>

### Componente eléctrico

Para el cálculo del componente eléctrico del balance de energía se consideraron las capacidades nominales de los motores y las bombas utilizados en las distintas operaciones del proceso, así como los periodos de tiempo en los que éstos trabajan. Las características técnicas y de operación de los distintos componentes del equipo eléctrico se muestran en la Tabla 7 junto con el consumo eléctrico de los mismos. Una descripción detallada de las estimaciones puede encontrarse en el Anexo 2 de este documento.

Tabla 7 Consumo eléctrico durante el proceso de producción

Componente	Capacidad nominal (Hp)	Tiempo de trabajo (h)	Consumo eléctrico (kWh)	Consumo energético (MJ)
Bomba de alimentación a tina de glicoles	0.125	4.00	0.373	1.343
Bomba de alimentación de estireno	1.000	0.25	0.187	0.671
Bomba de alimentación a reactor	3.000	0.20	0.450	1.620
Bomba sistema de enfriamiento	1.500	5.00	5.595	20.142
Bomba de sistema de calentamiento	10.000	6.50	48.490	174.564
Ventilador de cámara de combustión	2.000	6.80	10.146	36.524
Motor del reactor	3.000	3.00	6.714	24.170
Motor del tanque de corte	7.500	5.00	27.975	100.710
<b>TOTAL</b>			<b>99.927</b>	<b>359.736</b>

<sup>28</sup> La estimación se hace considerando que el aislamiento de la tubería de conducción del aceite térmico esté en buenas condiciones por lo que estas pérdidas podrían ser superiores.

A partir de la contribución de cada uno de los componentes del equipo eléctrico al consumo total de electricidad durante el proceso (Figura 19), destaca por su importancia la bomba del sistema de calentamiento que mueve el aceite térmico desde el calentador hasta la chaqueta del reactor y de regreso, la cual contribuye con alrededor de la mitad del consumo eléctrico del equipo durante el proceso de producción.

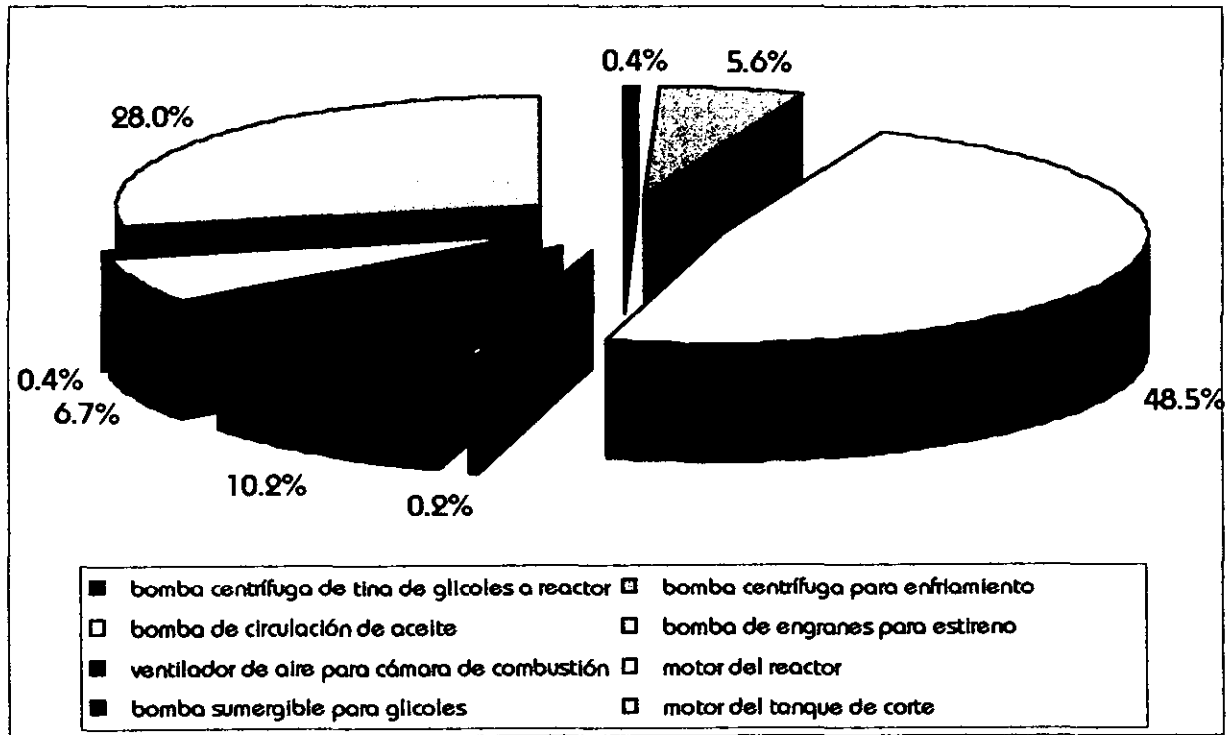


Figura 19 Contribución de los distintos componentes del equipo al consumo eléctrico

Las estimaciones hechas aquí muestran que la bomba de propulsión del aceite está sobredimensionada, lo que tiene implicaciones negativas en los costos de producción. La bomba que se utiliza actualmente tiene una capacidad de 10 Hp y es la que mayor consumo energético tiene dentro de los componentes eléctricos del equipo utilizado en el proceso. La capacidad de la bomba requerida para el flujo de aceite térmico en el sistema de calentamiento del reactor se calculó así:

$$hp = \frac{Q \text{ (carga dinámica total)}}{1715}$$

$Q = \text{flujo de aceite} = 460.85 \text{ U/min} = 121.76 \text{ galones por minuto}$

$$\text{carga dinámica total (psig)} = \frac{\text{carga } (\rho)}{2.31} = \frac{19.69 \text{ ft } (0.71)}{2.31} = 6.05$$

$$\text{hp} = \frac{121.76 (6.05)}{1715} = 0.43$$

Considerando de manera conservadora que la eficiencia de calor de la bomba es del 50% se requeriría entonces de una bomba de 0.86 Hp  $\approx$  1 Hp.

Al revisarse las especificaciones de la bomba de alimentación de glicoles se encontró que ésta tiene una capacidad nominal para un caudal de 30 U/min. Con dicha capacidad la alimentación de los glicoles a la tina debería hacerse en alrededor de una hora; sin embargo la operación ocupa cuatro horas, lo que significa un flujo de 7.4 U/min. Esto es indicativo de las malas condiciones en las que se encuentra actualmente la bomba, lo que aumenta el consumo eléctrico y los costos de producción de la resina poliéster.

Respecto de la bomba centrífuga que se utiliza para alimentar los glicoles al reactor desde la tina, ésta tiene un flujo nominal de 250 U/min con el que esta operación debería ocupar alrededor de 8 minutos. Sin embargo esto ocurre en aproximadamente 15 minutos, por lo que el verdadero flujo es de 133.3 U/min.

En el caso de la bomba de alimentación del monómero de estireno se encontró que esta trabaja adecuadamente debido a que el tiempo requerido para esta operación correspondió con el que teóricamente debió haber transcurrido de acuerdo al flujo nominal de la bomba (15 minutos a 60 U/min).

No se contó con información sobre el caudal de los otros sistemas de bombeo para el proceso por lo que en estos casos los flujos fueron únicamente estimados.

#### 4.3.4 Efectos sobre la salud e impactos ambientales durante el proceso

Muchas de las sustancias utilizadas durante el proceso son peligrosas y deben manejarse con precaución. Los riesgos asociados con la salud humana tienen que ver principalmente con la exposición de los trabajadores a los glicoles, anhídridos y estireno y con las emisiones a la atmósfera de estos compuestos. Las características de las sustancias utilizadas en el proceso se describen por orden alfabético a continuación:

Anhídrido Ftálico  $C_6H_4(CO)_2O$

CAS<sup>29</sup> 85-44-9

Es irritante y sensibilizador de la piel, los ojos y el tracto respiratorio. Concentraciones en el aire de 25 mg/m<sup>3</sup> han causado irritación de la membrana mucosa y conjuntivitis. Los efectos son mayores en superficies húmedas debido a la hidrólisis del ácido ftálico. Si el material sólido permanece en contacto con tejidos húmedos puede producir quemaduras superficiales. El material derretido producirá quemaduras térmicas graves.

Es tóxico por vía de inhalación o por contacto con vapores y polvos y puede causar daños, heridas y hasta la muerte. La reacción con el agua o aire húmedo libera gases corrosivos, inflamables y tóxicos. En la reacción con el agua se genera mucho calor, el cual aumenta la concentración de los humos en el aire. (Micromedex, 1998)

Anhídrido Maléico  $(CH)_2(CO)_2O$

CAS 108-31-6

Se ha reportado que los trabajadores expuestos a los vapores de anhídrido maléico calentado han desarrollado una sensación de ardor en los ojos y la garganta, con tos y vómito. Al contacto con la piel causa irritación y enrojecimiento, en los ojos puede causar irritación y conjuntivitis. La exposición por un minuto a concentraciones de 1.5 a 2 ppm ha provocado irritación nasal y después de 15 a 20 minutos irritación ocular. La exposición a concentraciones más altas o por mayor tiempo induce efectos más severos como los descritos anteriormente.

Los síntomas por sobreexposición son conjuntivitis, fotofobia, visión doble e irritación nasal y de la parte superior del tracto respiratorio, dermatitis y asma bronquial. (Merck and Co., 1989)

El anhídrido maléico que es liberado a la atmósfera se degrada por reacción con ozono y radicales hidroxilo producidos fotoquímicamente, su vida media ha sido estimada en aproximadamente 1.7 horas. En agua se hidroliza rápidamente para formar ácido maléico, su vida media se calcula en alrededor de medio minuto. (Micromedex, 1998)

---

<sup>29</sup> *Chemical Abstracts System. Este sistema depende de la Sociedad Química Americana y asigna números a sustancias identificables de manera individual sin tener ningún significado especial. Su propósito es únicamente el de identificación de sustancias mediante un código que evite la problemática derivada del uso de nombres propios y sus sinónimos.*

Estireno  $C_6H_5CH=CH_2$

CAS 100-42-5

Existen dos rutas de exposición: puede ser inhalado o absorbido por la piel. Irrita los ojos y las membranas mucosas de los sistemas respiratorio y gastrointestinal. También es un depresor del sistema nervioso central. La "enfermedad del estireno" se caracteriza por náusea, vómito, pérdida de apetito y una sensación de embriagamiento. Es tumorigeno y probablemente mutagénico y teratogénico. Sus vapores pueden causar vértigo y sofocamiento. El contacto frecuente con la piel puede causar dermatitis y la exposición prolongada a altas concentraciones tiene efectos en nervios, riñones, pulmones e hígado. (MicroMedex, 1998)

Etilenglicol  $HOCH_2CH_2OH$

CAS 107-21-1

La exposición por inhalación en el largo plazo a niveles bajos de etilenglicol puede causar irritación de la garganta y dolores de cabeza y espalda. La exposición a niveles altos puede llevar a la inconsciencia. El etilenglicol líquido irrita la piel y los ojos. Los efectos tóxicos de su ingestión incluyen daños al sistema nervioso central y los riñones, intoxicación, conjuntivitis, náusea y vómito, dolor abdominal, debilidad, bajos niveles de oxígeno en la sangre, temblores, convulsiones, falla respiratoria y coma. Las fallas renales causadas por la exposición al etilenglicol pueden causar la muerte. (U.S. EPA, 1997)

Hidroquinona  $C_6H_6O_2$

CAS 123-31-9

Los efectos tóxicos de su ingestión incluyen mareo, tinnitus, sensación de sofocamiento, aumento del ritmo respiratorio, náusea, vómito, palidez, espasmo muscular, dolor de cabeza, disnea, cianosis, convulsiones, delirio y colapso. La orina es normalmente verde o verde-café y continúa oscureciéndose y finalmente la muerte aparentemente ocasionada por paro respiratorio y anoxia. Ingestiones de un gramo en humanos han mostrado también irritación del tracto gastrointestinal y dermatitis como consecuencia del contacto de la piel con este compuesto. La exposición prolongada a vapores conteniendo hidroquinona en relativamente bajas concentraciones (3 ppm) causa irritación de los ojos, decoloración y opacamiento de la córnea de los mismos. Se le ha asociado también con el vitiligo. (MicroMedex, 1998)

Percloroetileno  $C_2(Cl_2)_2$

CAS 127-18-4

Puede ser tóxico por inhalación, ingestión, o exposición a la piel. Actúa básicamente deprimiendo el sistema nervioso central. Es un irritante de los ojos, la piel y las

membranas mucosas. La exposición aguda puede causar daños en pulmones y riñones, y hasta la muerte a partir de sus efectos anestésicos. Los efectos en el sistema nervioso pueden incluir malestar, vértigo, fatiga, dolor de cabeza, sudor, irritabilidad y temblores. Pueden presentarse además arritmias cardíacas e irritación pulmonar. Al contacto con los ojos puede ocasionar dolor, lagrimeo y ardor. (Micromedex, 1998)

Propilenglicol  $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_2\text{OH}$

CAS 57-55-6

Se le considera como relativamente no tóxico después de su ingestión. Se ha reportado que produce depresión del sistema nervioso central después de su ingestión repetida. Se ha reportado también toxicidad renal y hepática en animales. Al contacto con los ojos produce picazón, espasmos en los párpados (blefarospasmos) y lagrimeo seguido de infiltración de sangre en los ojos (hiperemia). (Micromedex, 1998)

Thinner

En este grupo se encuentra un gran número de compuestos: hidrocarburos de baja y alta viscosidad, terpenos, hidrocarburos aromáticos y halogenados. Dependiendo del tipo de hidrocarburo utilizado y de las combinaciones que se hagan los efectos sobre la salud humana y el ambiente serán también distintos. En el ser humano se presentan efectos relacionados con el sistema nervioso central, la actividad cardíaca y los tractos respiratorio y gastrointestinal de muy variada índole. Muchos de ellos son carcinógenos. (Micromedex, 1998)

Tolueno  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$

CAS 108-88-3

Puede irritar los ojos si está presente en el aire en concentraciones de entre 300 y 400 ppm. Los efectos tóxicos de su ingestión incluyen depresión, molestias faríngeas y gastrointestinales y vómito. Su inhalación puede producir euforia, aturdimiento, temblores, nerviosismo e insomnio, seguidos de dolor de cabeza, debilidad muscular, vértigo y náusea (exposiciones a entre 400 y 800 ppm). Por encima de estas concentraciones puede presentarse falla respiratoria y la muerte como consecuencia de arritmias ventriculares. Algunos de sus efectos son acumulativos, especialmente en el sistema nervioso. La exposición prolongada de la piel al tolueno puede provocar dermatitis y pérdida de grasa en la piel.







En el aire se foto-oxida y su vida media ha sido estimada entre 10 y 104 horas. En el agua superficial se estima que su biodegradación toma de 4 a 22 días, y de 7 días a 4 semanas en aguas subterráneas. Su biodegradación en el suelo puede llevar entre 4 y 22 días. (Micromedex, 1998)

## **Impactos ambientales**

Los impactos ambientales más relevantes en esta industria son tal vez las emisiones de sustancias tóxicas al aire y la generación de residuos peligrosos que deben ser dispuestos adecuadamente. Las características de las sustancias más utilizadas durante el proceso se muestra en la Tabla 8. Muchos de estos materiales son inflamables.

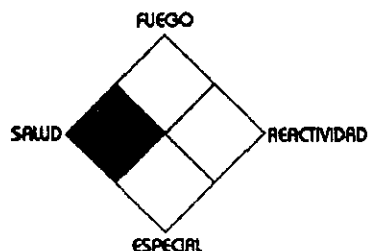


Tabla 8 Características generales de los principales insumos utilizados en el proceso de producción

Compuesto	Fórmula química	No. CAS	Peso molecular	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Presión de vapor mm Hg a 20 °C	Solubilidad en agua (% en peso)	Código NFPA
Anhidrido Maléico	$(CH)_2(CO)_2O$	108-31-6	98.06	52.8	199.9	0.16	Completa	
Anhidrido Ftálico	$C_6H_4(CO)_2O$	85-44-9	148.11	131.0	285.0	0.01	0.62	
Etilenglicol	$HOCH_2CH_2OH$	107-21-1	62.07	-13.3	197.2	0.06	Completa	
Diethylenglicol	$O(CH_2CH_2OH)_2$	111-46-6	106.12	-6.5	244.5	0.01	Completa	No tiene
Propilenglicol	$CH_3CHOHCH_2OH$	57-55-6	76.09	-8.3	188.2	0.08	Completa	
Estireno	$C_6H_5CH=CH_2$	100-42-5	104.14	-30.6	145.2	4.30 <sup>30</sup>	0.30	
Tolueno	$C_6H_5CH_3$	108-88-3	92.13	-92.8	110.6	36.70 <sup>31</sup>	0.07	

Grado de Riesgo:

- 4 Extremo
- 3 Alto
- 2 Moderado
- 1 Ligero
- 0 Mínimo



Fuentes: Oleesky y Mohr, 1975 y MicroMedex, 1998

<sup>30</sup> a 15 °C

<sup>31</sup> a 30 °C

No obstante también existen otros impactos que pueden ser ocasionados al medio ambiente como consecuencia de las operaciones en el proceso de producción de resinas poliéster. A continuación se hace una breve descripción de los impactos ambientales y de los efectos sobre la salud que pueden darse como consecuencia de las operaciones de producción de resina poliéster en la empresa.

CO<sub>2</sub>, CO, glicoles y tolueno

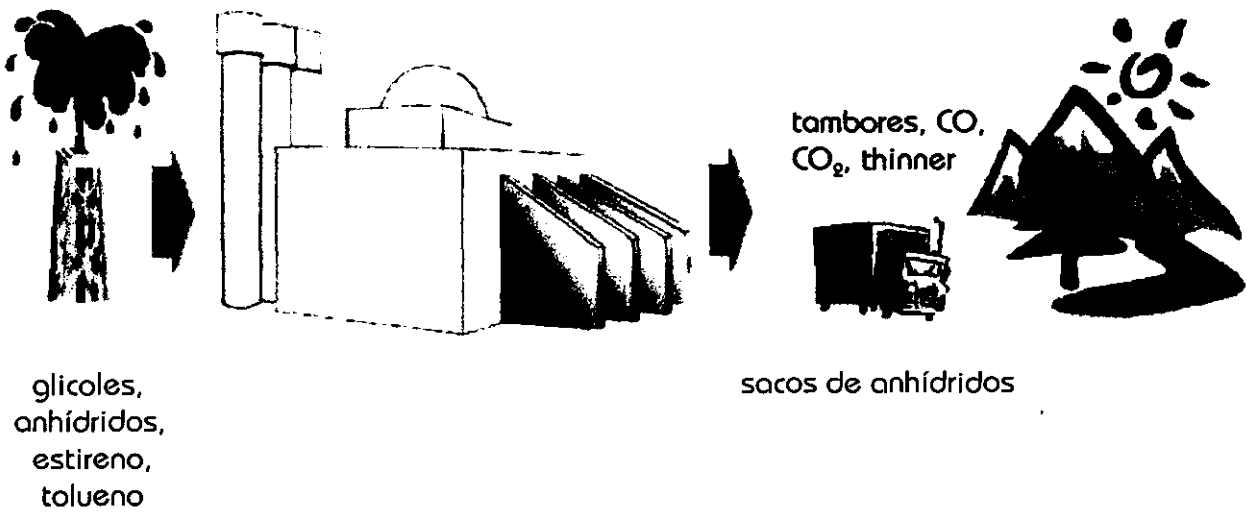


Figura 20 Principales impactos ambientales en la producción de resinas poliéster

### Consumo de recursos

Las operaciones de la industria petroquímica incluyen aquellas en las que se producen monómeros, los cuales a su vez y como se ha mencionado antes se utilizan para la producción de resinas sintéticas de muy variadas características. Los insumos de la industria petroquímica son básicamente el petróleo y el gas de donde se obtienen los productos intermedios que son utilizados por otras industrias en sus procesos para producir artículos terminados o insumos específicos para otros procesos. El petróleo y el gas son combustibles fósiles que son extraídos del subsuelo terrestre o marino y que son producto de un proceso natural que requiere de millones de años, por lo que son considerados finitos. El consumo indiscriminado de los recursos no renovables llevará necesariamente a su desaparición, por lo que se hace necesario hacer un aprovechamiento mucho más eficiente de los mismos y así permitir que la transición hacia el uso de otros materiales sea lo más eficiente posible.

## **Aire**

La generación de sustancias contaminantes que son emitidas a la atmósfera reviste una especial importancia en el caso de la empresa estudiada si se toma en cuenta que ésta se encuentra localizada en la zona metropolitana de la Ciudad de México, la cual se caracteriza por una problemática ambiental en la que los parámetros de calidad del aire son rebasados con frecuencia.

En la producción de resinas poliéster se desprenden residuos de alguna importancia; son fracciones volátiles sin reaccionar de las materias primas, que aparecen en el agua de esterificación extraída, o en el agua de los lavadores, o que también se expulsan a la atmósfera.

Las emisiones al aire pueden presentarse como vapores durante la alimentación de los tanques y cisternas de almacenamiento de glicoles y estireno, durante la alimentación de los tambores de estireno, durante la carga de la tina de glicoles, durante la alimentación de los anhídridos y el tolueno al reactor, en los vapores que escapan por la chimenea del condensador, y durante el envasado del producto en los tambores para su venta.

También se presentan emisiones como consecuencia de la operación del calentador de aceite, para lo cual se utiliza gas lp. Debe recordarse que la ubicación de la Ciudad de México a 2,240 metros sobre el nivel del mar provoca que el aire disponible en ella contenga menos oxígeno y que los procesos de combustión sean menos eficientes, generándose más emisiones de monóxido y dióxido de carbono. Estos son contaminantes primarios.

En los Estados Unidos el 75% de las emisiones al aire de etilenglicol se deben a emisiones fugitivas y puntuales. El etilenglicol atmosférico se degrada rápidamente en presencia de radicales hidroxilos. (U.S. EPA, 1997)

## **Agua**

La descarga de los condensados del reactor conteniendo glicoles puede representar una fuente de contaminación al alcantarillado. No obstante, la empresa dispone de los tambores de condensados en vez de descargar en el drenaje ya que esto podría generar un problema de obstrucción de la tubería del alcantarillado.

Aunque poca, también existe contaminación del agua como resultado de las operaciones de lavado del patio y en general por la limpieza de las instalaciones y el lavado de equipos en la empresa.

Cabe destacar además que el etilenglicol se biodegrada rápidamente en agua y es probablemente el principal mecanismo de eliminación en el ambiente. No se cree que el etilenglicol en agua se concentre en organismos acuáticos, que se absorba en los sedimentos o que se volatilice. (U.S. EPA, 1997)

## Residuos

La mayor parte de los insumos que maneja la empresa en su proceso de producción se consideran como sustancias tóxicas tanto por la normatividad mexicana como por otras legislaciones en el extranjero (para mayor información referirse al Anexo 1). De la misma manera, la mayor parte de los residuos que se generan son de naturaleza peligrosa. Dichos residuos los constituyen los tambores usados que no pueden ser rehabilitados para su uso, el thinner gastado de las operaciones de lavado de los tambores, los condensados del reactor que contienen glicoles, el aceite gastado del sistema de calentamiento, y los productos del lavado del reactor y el tanque de corte principalmente.

También se generan residuos a partir de los sacos desechados en los que son adquiridos los anhídridos. De acuerdo con los volúmenes de anhídridos que se utilizan actualmente, la empresa está desechando alrededor de 88 sacos por cada lote de producción. Si la relación estequiométrica se corrige se estará evitando enviar 25 sacos a disposición por cada lote de producción, es decir, se reduciría el volumen de residuos por este concepto en poco más del 28%.

Un resumen de las sustancias contaminantes generadas durante la operación del proceso y de las cantidades generadas durante la producción de un lote de resina poliéster ortoftálica se muestra en la Tabla 9. En ella no se consideran los contaminantes que son resultado de la generación de la energía que se utiliza durante el proceso y que ocurre fuera de la planta, pero que son consecuencia directa de las operaciones de la misma.

Tabla 9 Contaminantes generados durante la producción de un lote de resina poliéster

Compuesto	Cantidad	Medio al que se libera
Monoetilenglicol	5.8 kg	Aire
	0.4 kg	Agua <sup>32</sup>
Dietilenglicol	82.3 kg	Aire
	4.6 kg	Agua
Propilenglicol	13.9 kg	Aire
	0.8 kg	Agua
Tolueno	154.0 kg	Aire
CO <sub>2</sub> desde el reactor	0.006 m <sup>3</sup>	Aire
CO <sub>2</sub> desde el calentador de aceite térmico <sup>33</sup>	590.952 m <sup>3</sup>	Aire
CO desde el calentador de aceite térmico	2.341 m <sup>3</sup>	Aire
Thinner	0.061 m <sup>3</sup>	Aire y agua <sup>34</sup>
Aceite térmico	0.002 m <sup>3</sup>	Agua
Sacos de anhídridos	88 sacos vacíos	Suelo
Tambores con resina para recuperación <sup>35</sup>	8 tambores	Suelo
Vapores de tina de glicoles y reactor	No cuantificado	Aire
Monoéster	22.0 kg	Suelo
Varios por consumo eléctrico (fuera de la planta)	No cuantificados <sup>36</sup>	Aire, agua y suelo

En una interpretación temporal esto significa la emisión al aire de 56,732 m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub>, 225 m<sup>3</sup> de CO y 24.5 toneladas de COV's al año como los impactos más relevantes al ambiente.

<sup>32</sup> Corresponde a los glicoles contenidos en los condensados de la esterificación que posteriormente son dispuestos como residuos en tambores cerrados de 200 l. Es el mismo caso para el dietilenglicol y el propilenglicol.

<sup>33</sup> Las estimaciones para el CO<sub>2</sub> y el CO están basadas en una proporción de 80% butano y 20% propano en el gas lp. El detalle del cálculo se encuentra en el Anexo 2 de este documento.

<sup>34</sup> Como consecuencia del lavado del área en donde se hace el lavado de los tambores recuperados de los clientes.

<sup>35</sup> Los tambores dañados o con resina que no puede limpiarse se envían a otra empresa para su limpieza y rehabilitación, por lo que los impactos ambientales ocasionados por ello se producen fuera de la planta.

<sup>36</sup> Impactos generados desde la perspectiva del ciclo de vida de la resina. Son impactos ambientales generados como resultado de las actividades de generación de energía eléctrica y no se cuantifican por estar fuera del sistema de estudio.

4.3.5 Costos asociados al proceso de producción

A continuación (Tabla 10) se muestra un análisis de los costos de las materias primas y la energía utilizadas en el proceso. Los datos se presentan para la fabricación de un lote de resina poliéster para uso general. Cabe destacar que el Propilenglicol es un material importado y se compra en dólares de los Estados Unidos, por lo que sus costos han sido estimados con base en un tipo de cambio de 10.1 pesos por dólar de los Estados Unidos. Asimismo, en el consumo eléctrico no se ha considerado tampoco el correspondiente a la bomba para el sistema de calentamiento con aceite térmico ni el de la bomba del compresor de aire para la cámara de combustión, los cuales serán incluidos en su momento.

Tabla 10 Resumen de costos de producción para un lote de resina poliéster

Concepto	Unidad	Cantidad por lote	Costo unitario	Costo por lote
Anhídrido Ftálico	kg	1,217.00	\$ 4.90	\$ 5,963.30
Anhídrido Maléico	kg	1,217.00	\$ 11.00	\$ 13,387.00
Monoetilenglicol	l	252.00	\$ 3.90	\$ 982.80
Dietilenglicol	l	968.00	\$ 3.90	\$ 3,775.20
Propilenglicol	l	710.00	\$ 10.61	\$ 7,529.55
Tolueno	l	200.00	\$ 2.63	\$ 526.00
Estireno	l	880.00	\$ 4.70	\$ 4,136.00
Hidroquinona	kg	1.10	\$ 80.50	\$ 88.55
Percloroetileno	kg	1.00	\$ 12.00	\$ 12.00
<i>Subtotal insumos básicos</i>				\$ 36,400.40
Thinner	l	60.75	\$ 2.45	\$ 148.84
Aceite térmico	l	2.00	\$ 10.80	\$ 21.60
Gas lp	kg	480.00	\$ 2.90	\$ 1,392.00
Agua	m <sup>3</sup>	0.10	\$ 1.42	\$ 0.14
CO <sub>2</sub>	kg	0.90	\$ 56.25	\$ 50.63
Electricidad	kW/h	99.93	\$ 1.31	\$ 130.81
Tambores		8.5	85	\$ 722.50
<i>Subtotal otros insumos</i>				\$ 2,466.51
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 38,866.91</b>

De la revisión de estos datos se obtiene información importante sobre la relevancia económica de las distintas materias primas y energía involucrados en la producción de las resinas poliéster en la empresa (Figuras 21, 22 y 23).

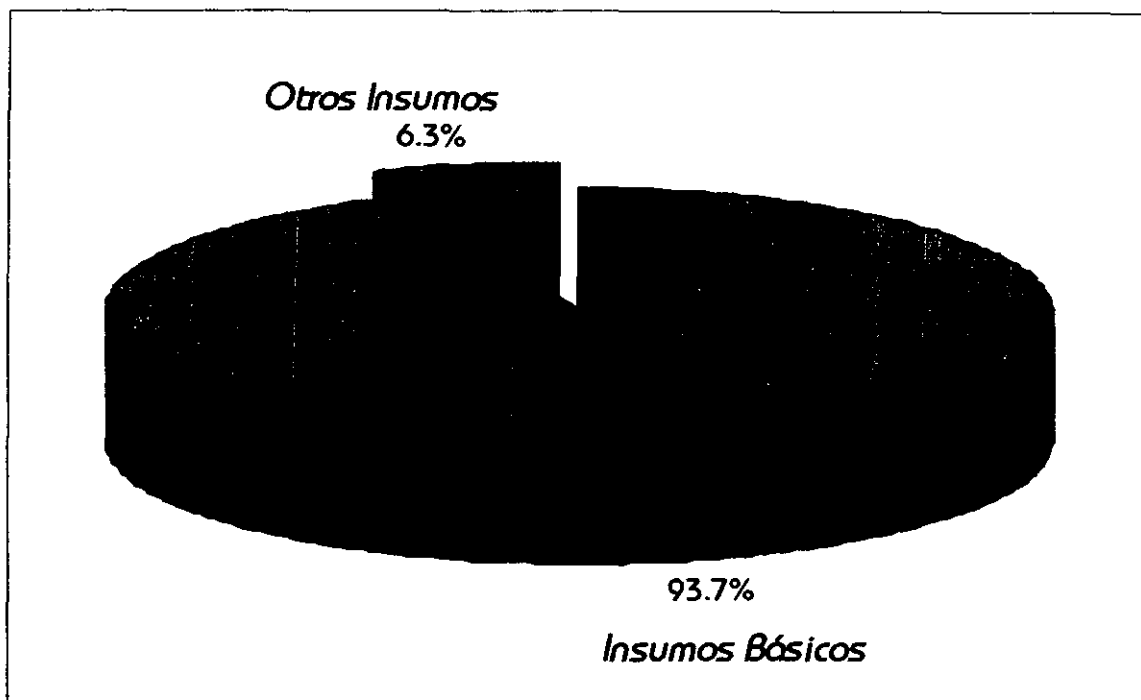


Figura 21 Contribución de los distintos costos de insumos a los costos de producción

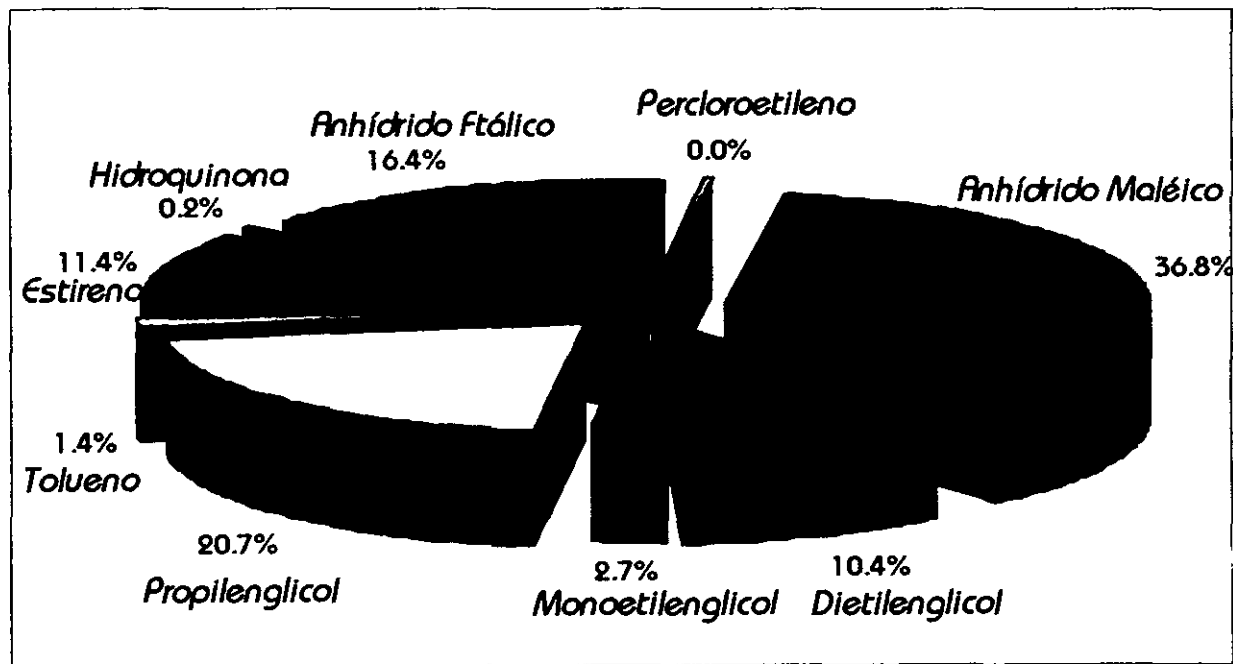


Figura 22 Contribución de los distintos materiales en el costo total de los insumos básicos

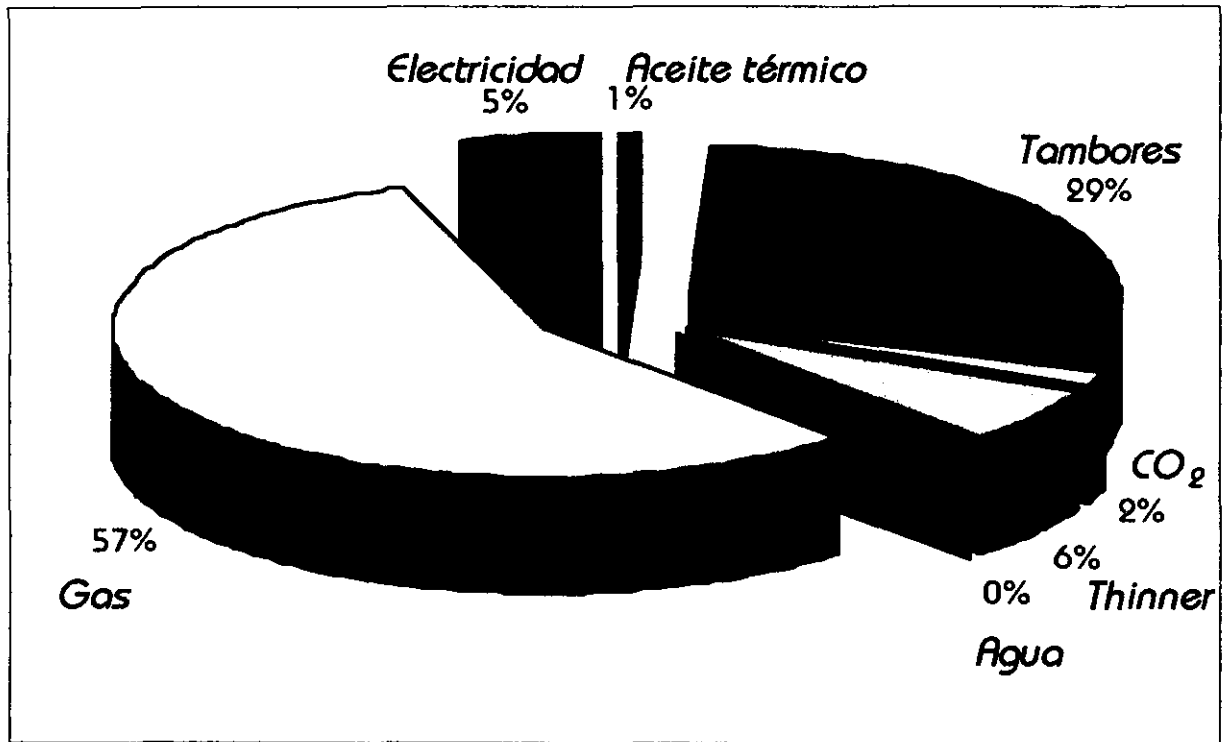


Figura 23 Contribución de los distintos materiales y energía en el costo total de los insumos secundarios

#### 4.4 Productividad e Inventarios

##### 4.4.1 Productividad de la empresa

La estimación de la productividad de la empresa tiene el propósito de generar información útil para evaluar el desempeño de la empresa. Tradicionalmente la productividad suele medirse de diversas maneras. Por lo general se acepta que la productividad general de una empresa puede estimarse al relacionar las ventas totales de la misma con sus costos de producción mediante la siguiente ecuación, la cual es un indicador de la eficiencia de la compañía:

$$\text{productividad general} = \frac{\text{ventas totales}}{\text{costos totales}}$$

La productividad puede evaluarse de manera más específica de acuerdo a los tres componentes que la conforman: i) laboral; ii) capital y; iii) materiales con el fin de comparar el desempeño de la compañía con el de otras empresas en estos aspectos



particulares. Sin embargo no debe perderse de vista que la evaluación real de la productividad es la que se ha mencionado anteriormente.

Estos indicadores no se abordan en este estudio por no considerarse que tengan alguna relevancia para los fines del mismo. Sin embargo y con fines de establecer indicadores que sirvan para evaluar el desempeño de la empresa con respecto a otras que realizan la misma actividad, pueden establecerse relaciones de productividad respecto al desempeño ambiental de la empresa. La productividad de materiales es un caso de ello.

$$\text{productividad de materiales} = \frac{\text{ventas totales}}{\text{costos de energía y materiales}} = \frac{\$75,330.00}{\$38,866.91} = 1.94$$

Otros indicadores propuestos en este estudio son:

$$\text{indicador de desempeño 1} = \frac{\text{consumo de energía}}{\text{unidad de producción}} = \frac{18195.4 \text{ MJ}}{4860 \text{ kg}} = 3.7439 \text{ MJ / kg resina}$$

$$\text{indicador de desempeño 2} = \frac{\text{consumo de electricidad}}{\text{unidad de producción}} = \frac{99.93 \text{ kWh}}{4860 \text{ kg}} = 0.0206 \text{ kWh / kg resina}$$

$$\text{indicador de desempeño 3} = \frac{\text{emisiones de COV's}}{\text{unidad de producción}} = \frac{256 \text{ kg}}{4860 \text{ kg}} = 0.053 \text{ kg de COV's / kg resina}$$

$$\text{indicador de desempeño 4} = \frac{\text{emisiones de CO}_2}{\text{unidad de producción}} = \frac{590952 \text{ L}}{4860 \text{ kg}} = 121.6 \text{ L de CO}_2 \text{ / kg resina}$$

$$\text{indicador de desempeño 5} = \frac{\text{costos de insumos de producción}}{\text{unidad de producción}} = \frac{\$ 38881.56}{4860 \text{ kg}} = \$ 8.0003 \text{ / kg resina}$$

#### 4.4.2 Inventarios

El manejo de inventarios es una actividad muy ligada al programa de producción y al pronóstico de ventas de las empresas. Tiene relevancia desde varias perspectivas: desde la perspectiva económica es importante ya que representan dinero que está detenido en los almacenes de la empresa y que tiene un costo de oportunidad; desde la perspectiva

administrativa los inventarios pueden llegar a representar problemas de logística (e.g. espacio, acomodo y movimiento, registros, personal); y desde la perspectiva ambiental como fuente potencial de residuos resultado de malos manejos y expiración de materias primas y productos. Por lo anterior manejar inventarios pequeños y lo más rápidamente posible es sumamente benéfico para cualquier empresa.

Considerando una producción de 96 lotes al año, el inventario de la empresa para los glicoles, los anhídridos y el monómero de estireno muestra las siguientes características:

$$\text{tasa de rotación de inventarios} = \frac{\text{costo de materias primas usadas al año}}{\text{costo promedio del inventario mantenido al año}}$$

$$\text{tasa de rotación de inventarios} = \frac{3'434,289.60}{368,147.50} = 9.33$$

La tasa de rotación de inventarios para estas materias primas podría mejorarse mediante una coordinación más adecuada entre la programación de la producción, que en la empresa estudiada es bastante uniforme, y la adquisición de los insumos de producción. El valor obtenido antes indica que se mantiene en almacén una cantidad suficiente de materias primas para producir alrededor de 10 lotes, y este número de lotes es producido en aproximadamente cinco semanas.

## CAPÍTULO 5

### OPORTUNIDADES DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Las oportunidades de prevención de la contaminación pueden encontrarse en varios ámbitos:

#### *5.1 Sustitución de materiales*

Las alternativas consideradas aquí consideran la sustitución de algunas materias primas por otras y se analizan las ventajas y desventajas económicas, ambientales, técnicas y sobre el producto que estos cambios pudieran tener.

##### 5.1.1 Sustitución de monoetilenglicol por dietilenglicol

Estos dos compuestos tienen el mismo precio y la misma función. El uso de monoetilenglicol únicamente simplificaría el manejo de los glicoles al utilizar un solo tanque o cisterna de almacenamiento y una sola bomba de alimentación, lo que además implica menores necesidades de equipo y una disminución en los costos de operación. Al ser menor el número de puntos en los que podría generarse una situación de riesgo o impacto ambiental éstos disminuyen. Sin embargo hay una consideración que debe tomarse en cuenta y es la relacionada con la posibilidad de afectar las propiedades del producto terminado y las condiciones en general del proceso, por esta razón se requeriría correr pruebas piloto. Al respecto se sabe que al aumentar la longitud de la cadena entre los grupos hidroxilo aumenta la flexibilidad del poliéster curado, por lo que la sustitución de monoetilenglicol por dietilenglicol produciría resinas curadas más flexibles (Morgan, 1957). Una desventaja importante es el hecho de que como consecuencia de la nueva relación estequiométrica de la reacción se requeriría del uso de un volumen mayor de glicoles con los consecuentes costos, y que implicaría un menor aprovechamiento de la capacidad instalada, un mayor consumo de energía y el manejo de inventarios más grandes.

##### 5.1.2 Sustitución de dietilenglicol por monoetilenglicol

Este caso es muy similar al anterior. Sin embargo en esta sustitución la nueva relación estequiométrica de la reacción requeriría del uso de un volumen menor de glicoles, un mejor aprovechamiento de la capacidad instalada, un menor consumo de energía y el manejo de inventarios más pequeños.

### 5.1.3 Sustitución de anhídridos por ácidos di o policarboxílicos

Para la producción de resinas poliéster es posible también hacer uso de ácidos policarboxílicos en vez de anhídridos. La principal ventaja radica en que el precio de los ácidos es menor que el de los anhídridos; sin embargo el rendimiento de la reacción disminuye de 94.1% a 89.2% debido a la relación molar existente entre los ácidos y el agua en la reacción de esterificación (se forman dos moles de agua por cada mol de ácido). Como es mayor el volumen de agua generado durante la reacción también se requiere de más tiempo para que esta pueda llevarse a cabo hasta su término, lo que implica un mayor consumo de energía. Otra desventaja es que se requeriría correr pruebas piloto para evaluar como este cambio podría afectar la calidad del producto terminado.

### 5.1.4 Sustitución de anhídrido maléico por ácido fumárico

La literatura sobre resinas poliéster sugiere en general que el uso de ácido fumárico en vez del anhídrido maléico permite obtener resinas de mayor calidad, además el tiempo requerido para la fabricación de la resina disminuye, lo que como consecuencia reduce el consumo energético del proceso. La desventaja de esta alternativa es que el precio comercial del ácido fumárico es mayor al del anhídrido maléico.

### 5.1.5 Sustitución de CO<sub>2</sub> por N<sub>2</sub> como gas inerte

El nitrógeno es menos soluble que el CO<sub>2</sub> en la resina por lo que el contenido de gas en el producto final sería menor mejorando su calidad. La desventaja del nitrógeno es que es más caro, aunque la diferencia no es muy significativa si se considera que la contribución de los costos del gas inerte utilizado en el proceso no es importante en relación a los costos totales de los insumos de producción<sup>37</sup>.

### 5.1.6 Sustitución de tolueno por xileno<sup>38</sup>

Las resinas de poliésteres también pueden fabricarse, utilizando los mismos ingredientes, en presencia de otro disolvente adecuado tal como el xileno, el cual se añade en una proporción del 2 al 5%. El agua se elimina por destilación azeotrópica, retornando el xileno a la mezcla de reacción desde el condensador. Las temperaturas de reacción para este tipo

---

<sup>37</sup> De acuerdo con cotizaciones obtenidas de la empresa Praxair México, S.A. de C.V. en marzo de 1999, la carga de un tanque de 9 kg (6 m<sup>3</sup>) de CO<sub>2</sub> cuesta 450 pesos, mientras que la del mismo tanque (9 kg, 2 m<sup>3</sup>) pero con N<sub>2</sub> cuesta 250 pesos. Si se cuenta con un tanque tipo K entonces el costo del N<sub>2</sub> disminuye en términos de volumen y la carga de 6 m<sup>3</sup> de este gas costaría 550 pesos, 18% más que el CO<sub>2</sub>.

<sup>38</sup> CAS 1330-20-7

de operaciones son inferiores por lo que hay menor pérdida de glicoles, y la velocidad puede acelerarse con ciertos catalizadores ácidos con lo que el ciclo de esterificación es más veloz. Esto reduciría el consumo energético y se mejoraría la capacidad de respuesta de la empresa a pedidos urgentes.

Su toxicidad es similar a la del tolueno. Sin embargo se pueden presentar algunas dificultades en la eliminación total del xileno en el producto final, el ahorro de energía podría verse compensado por el incremento en los costos operativos que implica la adición de estos compuestos y se requiere de inversiones en equipo necesario para el manejo tanto del xileno como de los catalizadores. Finalmente, esta alternativa implica el uso de un mayor número y cantidad de sustancias peligrosas, lo que aumenta los riesgos a la salud de los trabajadores y de contaminación al medio ambiente.

NFPA del xileno 

#### 5.1.7 Sustitución de estireno por alfa-metilestireno<sup>39</sup>

El alfa-metilestireno es menos volátil y reactivo que el estireno, lo que disminuye los riesgos asociados a su manejo, sin embargo es más caro. Una desventaja es que se requeriría correr pruebas piloto para evaluar como este cambio podría afectar la calidad del producto terminado.

NFPA de alfa-metilestireno 

#### 5.1.8 Sustitución de estireno por vinil-tolueno<sup>40</sup>

El vinil-tolueno (también metil-estireno) es menos volátil y reactivo que el estireno, lo que disminuye los riesgos asociados a su manejo, sin embargo es más caro y más tóxico. Una desventaja es que se requeriría correr pruebas piloto para evaluar como este cambio podría afectar la calidad del producto terminado.

NFPA de vinil tolueno 

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

<sup>39</sup> CAS 98-83-9

<sup>40</sup> CAS 25013-15-4, sinónimo de metil estireno

### 5.1.9 Sustitución de estireno por ftalato de dialilo<sup>41</sup>

El ftalato de dialilo es menos volátil y reactivo que el estireno, lo que disminuye los riesgos asociados a su manejo, sin embargo es más caro. También requiere de mayores tiempos para el curado de la resina. Respecto a su toxicidad, ésta es aproximadamente la misma que la del estireno. Una desventaja es que se requeriría correr pruebas piloto para evaluar como este cambio podría afectar la calidad del producto terminado.

NFPA de ftalato de dialilo



### 5.1.10 Sustitución de hidroquinona por quinona<sup>42</sup>

Oleesky y Mohr (1975) consideran a la quinona como probablemente el mejor inhibidor y el más efectivo. Una desventaja es que se requeriría correr pruebas piloto para evaluar como este cambio podría afectar la calidad del producto terminado.

### 5.1.11 Sustitución de hidroquinona por terbutilcatecol<sup>43</sup>

La ventaja de esta sustitución es que este compuesto es menos tóxico que la hidroquinona, lo que reduciría los riesgos a la salud asociados a su manejo. Una desventaja es que se requeriría correr pruebas piloto para evaluar como este cambio podría afectar la calidad del producto terminado.

### 5.1.12 Sustitución de thinner por vapor

La eliminación del uso del thinner evitaría el uso de materiales peligrosos por los trabajadores y además disminuiría el volumen de residuos peligrosos que se envían para su disposición final. El uso de vapor implica necesariamente un aumento en el consumo de energía y una inversión para generarlo.

---

<sup>41</sup> CAS 131-17-9, sinónimo de ácido ftálico

<sup>42</sup> CAS 106-51-4, sinónimo de benzoquinona

<sup>43</sup> CAS 98-29-3

Tabla 11 Resumen de alternativas de sustitución de materias primas

Alternativa	Ventajas 😊	Desventajas ☹️
Sustitución de monoetilenglicol por dietilenglicol	Tienen el mismo precio y la misma función. Se simplificaría su manejo al utilizar un solo tanque o cisterna de almacenamiento y una sola bomba de alimentación. Se reducirían los riesgos por emisiones fugitivas.	Se requeriría correr pruebas piloto para evaluar la afectación de las propiedades del producto Se utilizaría un volumen mayor de glicoles con los consecuentes costos Menor aprovechamiento de la capacidad instalada Mayor consumo de energía Mayores inventarios
Sustitución de dietilenglicol por monoetilenglicol	Tienen el mismo precio y la misma función. Se simplificaría su manejo al utilizar un solo tanque o cisterna de almacenamiento y una sola bomba de alimentación. Se reducirían los riesgos por vapores. Se utilizaría un volumen menor de glicoles con los consecuentes ahorros económicos Mejor aprovechamiento de la capacidad instalada Menor consumo de energía Reducción en emisiones fugitivas Menores inventarios	Se requeriría correr pruebas piloto para evaluar la afectación de las propiedades del producto
Sustitución de anhídridos por ácidos di o policarboxílicos	El precio de los ácidos es menor que el de los anhídridos	El rendimiento de la reacción disminuye de 94.1% a 89.2% debido a la relación molar existente entre los ácidos y el agua en la reacción de esterificación Aumento en el tiempo de reacción debido a que el volumen de agua a eliminarse es mayor Aumento en el consumo de energía Se requeriría correr pruebas piloto
Sustitución de anhídrido maléico por ácido fumárico	Se obtiene resina de mayor calidad Se reduce el tiempo de producción Se reduce el consumo energético	El precio del ácido fumárico es mayor al del anhídrido maléico
Sustitución de CO <sub>2</sub> por N <sub>2</sub> como gas inerte	El nitrógeno es menos soluble que el CO <sub>2</sub> en la resina por lo que el contenido de gas en el producto final sería menor	El nitrógeno es más caro, aunque la contribución del costo del gas inerte en los costos totales de producción es insignificante
Sustitución de tolueno por xileno	Las temperaturas de reacción para este tipo de operaciones son inferiores, y la velocidad puede acelerarse con ciertos catalizadores ácidos, lo que reduciría el consumo energético y se mejoraría la capacidad de respuesta de la empresa a pedidos urgentes	Se presentan algunas dificultades en la eliminación total del xileno del producto acabado. Se requeriría de pruebas piloto Es considerado residuo peligroso
Sustitución de estireno por alfa-metilestireno	Es menos volátil y reactivo que el estireno, lo que disminuye los riesgos asociados a su manejo	Es más caro Se requeriría correr pruebas piloto

Continúa Tabla 11 Resumen de alternativas de sustitución de materias primas

Alternativa	Ventajas ☺	Desventajas ☹
Sustitución de estireno por vinil-tolueno	Es menos volátil que el estireno, lo que disminuye los riesgos asociados a su manejo	Es más caro Es más tóxico Se requeriría correr pruebas piloto
Sustitución de estireno por ftalato de dialilo	Es menos volátil que el estireno, lo que disminuye los riesgos asociados a su manejo	Es más caro Se requeriría correr pruebas piloto
Sustitución de hidroquinona por quinona	Es un inhibidor más efectivo	Se requeriría correr pruebas piloto
Sustitución de hidroquinona por terbutilcatecol	Es menos tóxico lo que disminuye los riesgos asociados a su manejo	Se requeriría correr pruebas piloto
Sustitución de thinner por vapor	Reducción de riesgos laborales Disminución en la generación de residuos peligrosos	Inversión para generar vapor Aumento de consumo energético

## 5.2 Mejoras en la eficiencia del proceso de producción

### 5.2.1 Corrección de la relación estequiométrica

La relación estequiométrica está evidentemente mal. Se están añadiendo anhídridos ftálico y maléico en exceso, así como dietilenglicol y propilenglicol. En este sentido cabe destacar que dos de ellas son las materias primas más caras en el proceso (anhídrido maléico y propilenglicol). Por otro lado se están subdosificando el etilenglicol y el monómero de estireno.

Es claro que una relación estequiométrica incorrecta afecta el rendimiento de la reacción y que se presentan subproductos como resultado de la incapacidad de interacción entre los reactivos involucrados. Estos subproductos o residuos pueden tanto ser liberados al medio ambiente en alguna parte del proceso como permanecer como parte del producto final afectando su calidad, por lo que la corrección de esta situación significaría un ahorro importante en los costos de producción, específicamente los relacionados con los insumos básicos, la disminución de la contaminación ocasionada por subproductos del proceso, y la producción de resina de mejor calidad que pudiese alcanzar un mayor valor en el mercado.

Un aspecto sumamente relevante es el hecho de que esta alternativa no requiere ningún tipo de inversión por parte de la empresa, ni tampoco afecta la estructura de costos de operación de la misma.

### 5.2.2 Sistema de enfriamiento y uso de glicoles como refrigerante

Otro problema detectado es la falta de un sistema de enfriamiento para el agua que es utilizada para enfriar el tanque de corte, la cual se va calentando hasta un punto en el cual no permite mas transferencia de calor. Esto aumenta el tiempo de fabricación de la resina



y produce un calentamiento gradual de la mezcla en el tanque de corte conforme se va adicionando el éster al monómero de estireno.

En este sentido una alternativa es la construcción de una torre de enfriamiento que le permita al volumen de agua utilizado perder el calor obtenido durante su paso por la camisa del tanque de corte. Otra alternativa es la utilización de los glicoles contenidos en los condensados como refrigerante, lo que aumentaría la capacidad de enfriamiento del sistema.

### 5.2.3 Equipamiento para el control del proceso

Otras alternativas tienen que ver con pequeñas inversiones en equipamiento para el mejor control y operación del proceso como son:

- la instrumentación de un control automático de temperatura en el condensador para garantizar que los glicoles no escapen en los vapores de la reacción. Además, debido a que la reacción de esterificación es reversible es posible entonces que en presencia de agua los ésteres producidos formen de nuevo los reactivos de origen y que el rendimiento de la reacción disminuya. Esta es una razón poderosa para garantizar el buen funcionamiento del condensador;
- el uso de medidores de flujo o un indicador de niveles para la alimentación de glicoles al reactor, lo que evitaría el uso de aforos visuales en una tina de glicoles, así como la pérdida de materiales y la contaminación producida por las emisiones fugitivas en la tina; también evitaría el uso de una bomba y el consumo energético asociado a la misma;
- y el uso de un sistema de alimentación automática de anhídridos que permitiría una carga más rápida del reactor, evitando abrirlo y exponer a los trabajadores a vapores tóxicos que escapan del reactor y contaminan el ambiente. Por otro lado, esto evitaría pérdidas de calor en el reactor y significaría un ahorro en el consumo energético requerido para elevar y mantener la temperatura de la reacción.

### 5.2.4 Uso de tambores reciclados

Uno de los costos más relevantes de los insumos secundarios es el de los tambores. En este sentido mejorar la eficiencia del lavado de los mismos para poder ser reutilizados es muy importante en términos de costos para la empresa y de reducción de generación de residuos peligrosos. Además debe considerarse que aquellos tambores que no puedan ser lavados se utilicen para contener los condensados del proceso.

### 5.2.5 Uso de recipientes con mayor capacidad para el producto

El uso de tanques de mayor capacidad para envasar el producto disminuiría sin duda la cantidad de resina que se adhiere a las paredes y que permanece en el envase que se retorna a la empresa. La relación volumen/superficie va disminuyendo de manera que el

desperdicio es menor mientras mayor sea el contenedor. Esto implicaría un mejor aprovechamiento del volumen adquirido por el cliente y un menor gasto en el uso de thinner para limpiar los contenedores. Otra ventaja es que se ocupa menos espacio en el almacén y que se reducen las necesidades de personal para el manejo del inventario. También permiten un mejor servicio al cliente al reducir las emisiones fugitivas debido a que poseen una válvula para controlar la salida del producto, lo que disminuye derrames y facilita el manejo del producto. La desventaja principal es que se requiere invertir en estos nuevos tanques y que además se requiere de un montacargas para su manejo.

*Tabla 12 Resumen de alternativas para hacer más eficiente el proceso*

Alternativa	Ventajas ☺	Desventajas ☹
Corrección de la relación estequiométrica	Se reducen los costos unitarios de producción Mejora la calidad del producto final No se requiere ninguna inversión	
Uso de glicoles como refrigerante	El enfriamiento en el tanque de corte sería más veloz Los condensados podrían aprovecharse y se evitaría disponerlos como residuo	Se requeriría de pruebas piloto
Sistema de enfriamiento	El enfriamiento en el tanque de corte sería más veloz	Se requiere de inversión
Medidor de flujo o indicador de niveles para la alimentación de glicoles al reactor	Mejor control del proceso y mayor seguridad para los trabajadores Menor contaminación por emisiones fugitivas	Se requiere de inversión
Alimentación automática de anhídridos	Se evita abrir el reactor, con la consecuente pérdida de materiales Se evitan emisiones a la atmósfera Mejora seguridad laboral	Se requiere de inversión
Uso de recipientes para el producto con mayor capacidad	Menor desperdicio de producto que queda en los recipientes Menores costos laborales Menos emisiones fugitivas Manejo más fácil del producto por parte del cliente Menor espacio de almacenamiento Menor esfuerzo de lavado de recipientes reusados (menor consumo de thinner y menor producción de residuos del mismo)	Se requiere de inversión Se requiere además de un montacargas

### 5.3 Mejores prácticas operativas y administrativas

#### 5.3.1 Corrección de fugas en válvulas y bridas

Se observaron muchos problemas de mantenimiento que repercuten tanto en los costos de producción de la empresa como en los efectos a la salud de los trabajadores y en los impactos ambientales que se generan durante el proceso. Existen numerosas fugas de aceite en el sistema de calentamiento del reactor, especialmente en las bridas de la tubería de conducción. Estas fugas pueden deberse a que los empaques utilizados no son los adecuados y no soportan el calor generado en el sistema.

Otros problemas tienen que ver con las válvulas y pueden estar relacionados con aspectos sobre la selección de las mismas: el tipo de válvula requerido, los materiales de construcción, capacidades de presión y temperatura, material de los empaques y juntas, costo y disponibilidad en el mercado.

Al menos uno de estos problemas está presente y es el de los empaques utilizados, los cuales no son adecuados y no cumplen con los requerimientos mínimos necesarios para su buen funcionamiento, por lo que se presentan numerosas fugas durante el proceso.

Entre los empaques potencialmente utilizables para las bridas de la tubería del sistema de calentamiento se encuentran los empaques metálicos flexibles, el hilo de asbesto trenzado cerrado y el hilo de asbesto puro con alambre de Inconel. Para el caso de la válvula de bloqueo entre el reactor y el tanque de corte se puede disponer de empaques de asbesto trenzado con TFE. Una descripción más detallada de estas posibilidades se presenta más adelante en el análisis técnico de las alternativas aquí consideradas.

### 5.3.2 Limpieza de equipo

El lavado de reactores tal vez tenga un efecto positivo en la producción. En la práctica hay una pérdida del 1 al 2% por estancamiento en el reactor, en las bombas y en el equipo de manipulación (Oleesky y Mohr, 1975). El equipo instalado tiene ya varios años de operación sin que hasta ahora se haya llevado a cabo alguna operación de limpieza en él. Las pérdidas de calor que se presentan en el sistema de calentamiento del reactor son significativas y probablemente debidas en parte a obstrucciones en la chaqueta del reactor que disminuyen la transferencia de calor desde el aceite a la mezcla de reacción. Hay que evaluar si existen obstrucciones que alarguen los tiempos de producción con sus consecuencias asociadas (mayor evaporación, mayor gasto de energía, mayor uso de equipos, menor capacidad de producción, etc.). La limpieza de la chaqueta del reactor podría hacerse mediante el uso de vapor, sin embargo no existe equipo para la generación de éste en la planta, lo que podría significar un problema de instrumentación.

Como se dijo antes, la correcta operación del condensador es sumamente importante en la reacción de esterificación. Por esta razón la limpieza del condensador mediante el uso de vapor o soplado puede ser una buena forma de evitar su obstrucción y mal funcionamiento.

La reducción del consumo de gas para las diferentes etapas de calentamiento del reactor disminuiría significativamente las emisiones a la atmósfera generadas por el calentador de aceite.

### 5.3.3 Reducción de la distancia de recorrido del aceite térmico

A partir de los resultados del balance de energía antes presentado es claro que gran parte de las pérdidas de calor durante el proceso se dan en el trayecto que recorre el aceite térmico desde el calentador hasta el reactor y en sentido contrario. La distancia existente entre el calentador y el reactor juega un papel muy importante en ello por lo que cualquier intento que se haga para reducirla redundará en beneficios económicos para la empresa.

La reducción que se logre en el consumo energético contribuirá también al abatimiento de los impactos ambientales que la producción de dicha energía conlleva fuera de los límites de la planta estudiada.

#### 5.3.4 Corrección del aislamiento térmico en el sistema de calentamiento

La función básica del aislamiento térmico es reducir las pérdidas de energía desde una superficie hacia otra. El uso de aislamientos reduce así los costos de energía, mejora la eficiencia del proceso, reduce los riesgos para el personal, aumenta la capacidad del sistema y puede reducir los costos de capital.

Se observó un deterioro importante del sistema de aislamiento térmico para la tubería de conducción del aceite en el sistema de calentamiento del reactor. Este deterioro es responsable de pérdidas importantes de energía durante la operación de la primera fase del proceso. La corrección de este problema requiere de una inversión que ofrece la posibilidad de obtener un ahorro de energía importante con sus consecuentes ventajas económicas.

El aislamiento que se utiliza en esta tubería es de fibra de vidrio y es fabricado en la misma empresa, por lo que su correcto mantenimiento resultaría relativamente barato. Además de acuerdo con las temperaturas a las que trabaja el sistema de calentamiento del reactor, existen otras alternativas de materiales aislantes entre los que se incluyen el vidrio celular, silicato de calcio, fibra de vidrio, lana mineral y perlita. Evidentemente la selección de alguno de estos últimos significaría una mayor inversión de parte de la empresa. Sin embargo algunos de ellos ofrecen mejores condiciones de aislamiento térmico y por lo tanto también ahorros más importantes en el consumo de energía.

#### 5.3.5 Sustitución de bombas

La revisión hecha en el capítulo anterior de las bombas de glicoles y de circulación de aceite deja claro que las bombas utilizadas trabajan con eficiencias mucho menores a las nominales y que además en muchos casos están mal dimensionadas para los trabajos a los que están destinadas. Esto tiene implicaciones no solamente en el consumo de energía eléctrica del equipo, sino también en tiempos más prolongados para algunas de las operaciones del proceso, lo que afecta negativamente a los costos de producción y a la capacidad de la empresa para responder a pedidos urgentes.

La sustitución de las bombas por otras bien dimensionadas y que trabajen con mayor eficiencia requiere necesariamente de una inversión por parte de la empresa, sin embargo como se verá más adelante, algunas de estas inversiones tienen periodos de recuperación de entre uno y dos años a partir de los cuales podrían generarse ahorros, que aunque modestos, pueden ser importantes para la empresa.

### 5.3.6 Envasado del producto terminado

El pesado de los tambores podría hacerse directamente en el punto de alimentación, lo que ahorraría manejo de tambores y pérdidas por ajustes, además simplificaría el proceso y reduciría el tiempo requerido para ello. Es claro que la mayor desventaja de esta posibilidad es la inversión necesaria para instalar la báscula por debajo de la válvula de salida del tanque de corte, aunque ésta es pequeña.

### 5.3.7 Control del proceso

La empresa estudiada no posee un laboratorio de control de calidad ni métodos o procedimientos para comprobar la calidad de las materias primas que adquiere para utilizarlas en su proceso de producción. Esto reviste una gran importancia debido al hecho de que la empresa debe confiar en sus proveedores respecto a la calidad de sus insumos básicos, y a que este es un aspecto de la mayor relevancia tanto para lograr la calidad esperada en su producto terminado y obtener la satisfacción de sus clientes, como para hacer un mejor uso de sus recursos y generar menores impactos al medio como consecuencia de la presencia de subproductos totalmente ajenos al proceso de producción.

Respecto del calentador de aceite térmico no se lleva un control sobre la relación aire / combustible que en condiciones ideales disminuye el consumo de combustible y reduce al mínimo las emisiones contaminantes.

No existen equipos de medición de flujos o niveles que permitan hacer una dosificación exacta de las materias primas. En lo que al seguimiento del proceso se refiere, la revisión del número ácido y de la viscosidad no se hace en ningún momento. El control de la esterificación y la copolimerización se basa únicamente en los tiempos y temperaturas de reacción, lo que hace al proceso poco confiable. En este sentido la definición de estándares de trabajo y procedimientos de control puede ser muy importante para mejorar la eficiencia y confiabilidad del proceso en beneficio económico de la empresa, ambiental y de calidad del producto terminado. Elaborar y utilizar hojas de trabajo con las indicaciones específicas y detalladas para el control del proceso puede ser un primer paso.

Para el control de calidad de la resina terminada podrían tomarse en consideración los siguientes parámetros: i) número ácido durante el proceso de esterificación, lo que permite determinar el progreso de la reacción y el momento en que termina; ii) viscosidad, con los mismos fines y para determinar las especificaciones del producto; iii) peso específico, lo cual es útil para calcular la contracción de volumen de la resina al curarse y para determinar el peso por unidad de volumen en aspectos de envasado, almacenamiento y transporte; iv) contenido de agua, para verificar que la reacción de esterificación ha progresado como se espera y para detectar fallas en el sistema que pudieran permitir la penetración de agua en la resina afectando sus propiedades de gelación; v) transparencia y pureza de la resina, para determinar la presencia de sustancias extrañas en el producto; y vi) todos aquellos que los clientes soliciten para garantizar la calidad del producto que se les ofrece.

### 5.3.8 Manejo de inventarios

Como se mencionó antes, el inventario promedio mantenido en la empresa es suficiente para producir alrededor de 10 lotes o para garantizar el funcionamiento del proceso durante cinco semanas. Si el inventario promedio se redujese al necesario para producir por ejemplo seis lotes, entonces se requeriría un arreglo con los proveedores para suministrar estas materias primas cada dos semanas y contar así con una cantidad suficiente en almacén para prever la producción de resina por una semana más aún cuando los proveedores fallaran en suministrar las materias primas durante ese periodo.

De hacerse esto se reducirían los riesgos asociados al almacenamiento y al manejo de esos materiales, así como las necesidades de espacio en la planta, y se disminuirían las pérdidas económicas ocasionadas por mantener un inventario ocioso en la misma. Su desventaja consiste en la dependencia que se crea sobre la confiabilidad del proveedor para suministrar las materias primas con la regularidad requerida.

*Tabla 13 Resumen de alternativas sobre mejores prácticas operativas*

Alternativa	Ventajas ☺	Desventajas ☹
<i>Sustitución de válvulas de agua por otras más adecuadas</i>	<i>Inversión pequeña y recuperable en el corto plazo Reducción de pérdida de materiales en el proceso Reducción de fugas contaminantes Aumento de la seguridad laboral</i>	
<i>Sustitución de empaques en bridas del sistema de calentamiento</i>	<i>Inversión pequeña y recuperable en el corto plazo Reducción de pérdida de materiales en el proceso Reducción de pérdidas de calor Reducción de fugas contaminantes Aumento de la seguridad laboral</i>	
<i>Sustitución de bombas</i>	<i>Menor consumo eléctrico</i>	<i>Se requiere de inversión</i>
<i>Reducción del trayecto del aceite térmico</i>	<i>Menor consumo de combustible</i>	<i>Paro temporal de las operaciones</i>
<i>Corrección del aislamiento térmico en el sistema de calentamiento</i>	<i>Menor consumo de energía</i>	<i>Se requiere de inversión</i>
<i>Control del proceso</i>	<i>Mejora la eficiencia del mismo Garantiza la calidad del producto</i>	<i>Requiere inversiones en aparatos de medición y control (termómetros, manómetros, indicadores, pruebas, etc.)</i>
<i>Manejo de inventarios</i>	<i>Reducción de riesgos laborales No requiere inversión Reducción de costos de producción</i>	<i>Dependencia de la seriedad y confiabilidad de los proveedores</i>

## 5.4 Reuso, reciclado y recuperación

### 5.4.1 Uso de glicoles como refrigerante

El uso de los condensados conteniendo glicoles como refrigerante es una posibilidad que permitiría enfriar el tanque de corte con mayor eficiencia. Esto ofrece además la oportunidad de disminuir el volumen de residuos peligrosos que son enviados para su disposición final con las ventajas ambientales que esto conlleva.

También puede hacerse uso de los glicoles residuales para su venta a pequeños clientes dado que su producción no es tan significativa como para poder ofrecerse a clientes industriales.

### 5.4.2 Recuperación de tambores sin el uso de thinner

Pueden considerarse otras opciones para la recuperación de los tambores que son regresados por los clientes y que contienen resina residual con el fin de evitar el uso de thinner, el cual es considerado un material y un residuo peligroso. Estas alternativas incluyen el uso de vapor, detergentes o agua presurizada. El uso de este último requerirá necesariamente un mayor consumo de agua y energético.

*Tabla 14 Resumen de alternativas para el reuso y reciclado de Insumos de producción*

Alternativa	Ventajas ☺	Desventajas ☹
<i>Uso de glicoles como refrigerante</i>	<i>El enfriamiento en el tanque de corte sería más eficiente Los condensados podrían aprovecharse y se evitaría disponerlos como residuo</i>	<i>Se requeriría de pruebas piloto</i>
<i>Recuperación de tambores sin el uso de thinner</i>	<i>Reducción de riesgos laborales Disminución en la generación de residuos peligrosos</i>	<i>Inversión para generar vapor Aumento de consumo energético en el caso del vapor</i>

## Capítulo 6

### ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se revisan algunos aspectos importantes para la instrumentación de las alternativas de prevención de la contaminación consideradas como las más viables de ser instrumentadas. La selección de estas alternativas se realizó a partir de la discusión de todas las opciones identificadas en el capítulo anterior con el personal de la empresa estudiada. Los principales aspectos considerados aquí incluyen varias posibilidades de instrumentación para cada alternativa, así como otros relacionados con la factibilidad de las mismas (e.g. disponibilidad en el mercado de las materias primas o elementos de equipamiento necesarios). Cabe destacar que la decisión última sobre si estas alternativas valen la pena o no es de la empresa estudiada.

#### *6.1 Análisis técnico de las alternativas*

##### Sustitución de monoetilenglicol por dietilenglicol o viceversa

Las ventajas y desventajas de estas sustituciones se han planteado ya con anterioridad en el capítulo 5. Es una decisión de la empresa el instrumentar alguna de estas alternativas o no. Evidentemente no existen problemas de obtención de estos productos en el mercado ni se requiere recurrir a nuevos proveedores.

##### Sustitución de tolueno por xileno

El proceso con xileno requiere de un condensador consistente en una tubería flux de un solo paso por la cual el vapor es condensado al pasar agua fría a través de la coraza. Normalmente se recomiendan 12.5 m<sup>2</sup> de área de transferencia por cada 1,000 galones de capacidad del reactor, por lo que en este caso se requeriría de un área de transferencia de alrededor de 16.5 m<sup>2</sup>.

Existe la posibilidad de que el condensador pueda ser obstruido por el anhídrido ftálico, lo que puede evitarse mediante un control apropiado del proceso. La tendencia a la obstrucción es mayor en invierno cuando la temperatura del agua de enfriamiento es más baja, ya que la solubilidad del anhídrido ftálico aumenta con la temperatura. La temperatura recomendada de trabajo se encuentra entre los 25 y 40 °C para poder mantener el anhídrido en solución. Se requiere de un tanque receptor / decantador para poder separar las fases (por diferencia de densidades entre el agua y el xileno) y regresar el solvente al reactor.



### Corrección de la relación estequiométrica

Aún cuando es claro que la relación estequiométrica utilizada no es la mejor, deben, antes de hacerse las modificaciones sugeridas, tomarse en consideración dos aspectos importantes:

- la relación monómero/poliéster afecta las propiedades del copolímero. Si el monómero es estireno, altas proporciones darán como resultado un producto más rígido, más termosensible y más resistente al agua, además habrá un mayor encogimiento durante el gelado de la resina. (Morgan, 1957)
- a partir de los resultados del balance de materiales se puede tener una idea de la cantidad de glicoles que se pierden como consecuencia de su destilación durante el proceso (107.8 kg que corresponden al 3.1% de la masa de reacción). De este modo es posible estimar el exceso de glicoles que debe ser añadido al reactor.

### Equipamiento para el control del proceso

En este rubro se consideró la adquisición de medidores de niveles para el reactor y para el tanque de corte, así como de medidores de flujo para las corrientes de alimentación de glicoles, lo que eliminaría la necesidad de bombearlos a una tina, disminuiría los errores que pudieran cometerse en la medición de los aforos en la misma y reduciría los riesgos para el personal durante la operación de carga y medición de los aforos en la tina. La instalación de los indicadores de nivel es sencilla y rápida, su manejo es más simple y existe una gran variedad para escoger con muchos proveedores en México.

La adquisición de medidores de flujo es claramente más costosa y complicada tomando en consideración que se requeriría uno de ellos para cada línea del proceso, además es necesario hacer calibraciones periódicas que garanticen su buen funcionamiento.

### Uso de recipientes con mayor capacidad para el producto

Los recipientes a los que se ha hecho referencia en el capítulo anterior son mejor conocidos como "liquitote" y se fabrican de diversos materiales y capacidades de acuerdo con la aplicación para la cual sean destinados. Son de forma cúbica o semicúbica lo que permite aprovechar mejor el espacio de almacenamiento. La capacidad típica es de 350 galones, es decir, poco más de seis tambores de 200 litros, con lo que seis de estos tanques estibados en columnas de dos pueden contener el producto destinado a 38 tambores de 200 litros en menos de 4.65 m<sup>2</sup>. Si se usan tanques de 275 galones, entonces pueden estibarse en columnas de tres y ocupar un espacio de 1.24 m<sup>2</sup> por columna, mientras que cinco tambores de 200 litros requieren un espacio de 1.64 m<sup>2</sup>.

Estos tanques son fabricados en acero inoxidable, acero al carbón y diversos materiales plásticos. Tienen por lo general una boca con tapa de alrededor de 22 pulgadas de diámetro y una pendiente en el fondo que facilita la descarga del producto. Además cuentan con una válvula de control para la salida del producto. Se requiere de un montacargas para su manejo y pueden ser adquiridos en la ciudad de México.

Corrección de fugas en válvulas y bridas

Los materiales básicos para empaques en uso casi general (Tabla 15) incluyen asbesto (amianto), grafito y TFE. El asbesto es de bajo costo y estable hasta unos 426.7 °C, pero produce un sellamiento de alta fricción. También los empaques de grafito pueden tener una alta fricción, sus límites prácticos son 393.3 °C para servicio oxidante y 648.9 °C para servicio no oxidante. Tiene elevada conductividad térmica y larga duración, pero necesita mayor presión de portaempaques para funcionar sin fugas. Además es impermeable a una gran cantidad de líquidos. Los materiales de TFE, más inertes, son adecuados para emplearlos con oxidantes fuertes y tienen baja fricción. Para lograr propiedades óptimas se pueden mezclar estos materiales. (Carey y Hammitt, 1992)

*Tabla 15 Materiales de empaque para válvulas y bridas*

Material de empaque	Presentación	Uso	Temperaturas de operación
Empaque metálico flexible (aluminio)	Envoltura espiral. Listones delgados de hoja de aluminio anodizado flojas en torno a un núcleo pequeño de asbesto puro y seco	Aceite caliente	Hasta 537.8 °C
Empaque metálico flexible (cobre)	Hoja de cobre recocido floja en torno a un núcleo pequeño de asbesto puro y seco	Aceite caliente	Hasta 537.8 °C
Hilo de asbesto trenzado cerrado; camisa superior reforzada con alambre de Inconel; núcleo de asbesto de fibras largas	Carretes, anillos troquelados	Altas temperaturas	Hasta 648.9 °C
Hilo de asbesto puro con inserto de alambre de Inconel en torno a un núcleo elástico de asbesto impregnado con grafito	Carretes, anillos troquelados	Aceite mineral	Hasta 648.9 °C
Asbesto trenzado con impregnación completa de TFE	Bobina, carrete, anillo	Productos químicos y disolventes suaves	Hasta 315.6 °C
Asbesto trenzado con inserto de alambre de alta calidad sobre un núcleo flojo de grafito y asbesto	Bobinas, carretes	Aceite mineral	Hasta 648.9 °C
Hilo de asbesto canadiense de fibras largas trenzado, con cada cabo impregnado con lubricante resistente al calor	Bobinas, carretes	Productos químicos suaves	Hasta 287.8 °C

Fuente: Pikulik, 1992

### Limpieza de equipo

La limpieza de la chaqueta del reactor y del condensador pueden requerir el uso de vapor. Como se mencionó antes no existe equipo para la generación de vapor en la planta, lo que podría significar un problema de instrumentación

### Disminución de la distancia de recorrido del aceite térmico desde el calentador hacia el reactor

La reducción de la longitud de la tubería de conducción de aceite térmico puede disminuir considerablemente las pérdidas de calor durante el proceso. Para ello sería necesario considerar la reubicación del calentador de aceite en forma tal que se localizara más cerca del reactor, lo que implicaría modificaciones en el diseño del sistema de calentamiento que pudieran requerir el detenimiento de las operaciones del proceso por algún tiempo.

### Corrección del aislamiento térmico en el sistema de calentamiento

En las aplicaciones de aislamiento térmico para tuberías conductoras de fluidos térmicos calientes generalmente se utilizan materiales como las fibras minerales, el silicato de calcio o el vidrio celular, sin embargo también pueden utilizarse otros aislantes. Un aspecto importante a tomarse en consideración es la seguridad contra incendios. Los fluidos orgánicos para transferencia de calor se oxidan lentamente con el aire en presencia de materiales aislantes a temperaturas superiores a los 260 °C. Los materiales porosos como el silicato de calcio ofrecen una gran superficie de reacción que en condiciones pobres de disipación de calor puede ocasionar la ignición del fluido cuando el aislante saturado es expuesto al aire. En este sentido el uso de vidrio celular es más seguro que el de silicato de calcio. (Waldo, 1992)

El silicato de calcio es apto para temperaturas que varían entre los 121.1 y 537.8 °C. Se le fabrica en varias formas de tubería y puede obtenerse en medias secciones, cuartos de sección y bloques planos. Generalmente se le cubre con metal. (Waldo, 1992)

El vidrio celular se usa para un intervalo de temperaturas que va de los -267.8 a los 482.2 °C. No contiene adhesivos y es bastante impermeable al agua. Se produce en bloques planos y posteriormente se le da la forma requerida. No se utilizan selladores en aplicaciones calientes y se le cubre con metal. (Waldo, 1992)

La fibra de vidrio y la lana mineral tienen mucho en común. Generalmente se les usa para aplicaciones calientes, la primera de ellas hasta un máximo de 454.4 °C y la segunda hasta 648.9 °C. Se les cubre con metal o con materiales no metálicos más flexibles. (Waldo, 1992)

La perlita se usa en aplicaciones similares a las del silicato de calcio. Su densidad es menor y se le usa con un inhibidor que la mantiene más seca que al silicato de calcio<sup>44</sup>. También se le cubre con metal. (Waldo, 1992)

### Sustitución de bombas

La sustitución de las bombas utilizadas en las distintas operaciones del proceso ya ha sido discutida con anterioridad. Solo cabe destacar que esto no implicaría ninguna afectación relevante ni en el producto ni en las condiciones de operación del proceso. La instalación de las bombas es suficientemente rápida como para afectar al calendario de producción y además no requiere de conocimientos técnicos sofisticados que hagan dependiente esta alternativa de expertos externos.

La adquisición de estos equipos es relativamente fácil y sencilla debido a que existe una gran variedad de proveedores en México.

### Manejo de inventarios

Si el inventario promedio se redujese se requeriría un arreglo con los proveedores para suministrar las materias primas con la regularidad requerida. Para ello sería conveniente mejorar hasta donde sea posible la predicción del programa de producción a fin de ofrecer a los proveedores un calendario de adquisiciones que facilitara la previsión del suministro de las materias primas necesarias en el proceso a lo largo del año.

## *6.2 Evaluación económica de las alternativas*

Algunas de las alternativas de prevención de la contaminación identificadas no requieren de inversión alguna. En estos casos, la instrumentación de las medidas identificadas reeditará en ahorros económicos inmediatos para la empresa y en la reducción de los impactos ambientales generados por la misma.

En el caso de las inversiones, para la evaluación económica de las alternativas de prevención de la contaminación consideradas se utilizó el periodo de recuperación de la inversión (PRI), el cual determina el periodo de tiempo que debe transcurrir para recuperar la inversión realizada:

$$PRI = \frac{\text{inversión realizada}}{\text{ahorros obtenidos en un periodo}}$$

<sup>44</sup> El aspecto que más afecta el desempeño del material aislante es la presencia de agua en el mismo. Se estima que un 4% de humedad en volumen en un material aislante aumenta la conductividad térmica del mismo hasta en un 70% debido a que la conductividad se asemeja más a la del agua que a la del aire o gas contenido en los poros del material, con lo que la transmisión de calor es aproximadamente 24 veces mayor en un aislamiento saturado de agua que en uno seco. Otra consideración es el hecho de que la presencia de agua favorece la corrosión de la tubería. (Waldo, 1992)

Esta es una herramienta muy utilizada por las empresas debido a que éstas normalmente requieren que las inversiones realizadas sean recuperadas en un determinado periodo de tiempo, el cual es el criterio para aceptar o rechazar la inversión considerada.

Corrección de la relación estequiométrica

El análisis de los costos involucrados por la formulación de la resina hacen suponer que pueden lograrse ahorros muy significativos si la relación estequiométrica utilizada actualmente es modificada para acercarse más a los valores teóricamente deseables. Tomando en consideración que se utilice un exceso de glicoles y que la proporción resina / estireno es manipulable, podrían alcanzarse ahorros desde un conservador 3 ó 4% de los costos totales de los insumos de producción hasta un 7.5% dependiendo de las decisiones que la empresa haga respecto a las dos consideraciones antes mencionadas.

Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 16 a continuación:

*Tabla 16 Comparación entre distintas formulaciones de resina poliéster*

	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3		Real	
	Peso (kg)	Costo (\$)	Peso (kg)	Costo (\$)	Peso (kg)	Costo (\$)	Peso (kg)	Costo (\$)
Anhídrido maléico	1217.00	\$13,387.00	499.02	\$5,489.23	1019.50	\$11,214.52	1217.00	\$13,387.00
Anhídrido ftálico	1217.00	\$5,963.30	499.02	\$2,445.20	1019.50	\$4,995.56	1217.00	\$5,963.30
Etilenglicol	426.47	\$1,663.24	174.87	\$682.00	357.26	\$1,393.33	252.00	\$982.80
Dietilenglicol	729.82	\$2,846.29	299.26	\$1,167.10	611.38	\$2,384.39	968.00	\$3,775.20
Propilenglicol	523.46	\$5,553.92	214.64	\$2,277.34	438.51	\$4,652.62	710.00	\$7,533.10
Estireno	2146.12	\$10,086.77	880.00	\$4,136.00	1797.84	\$8,449.86	880.00	\$4,136.00
<b>Total</b>	<b>6259.88</b>	<b>\$39,500.53</b>	<b>2566.81</b>	<b>\$16,196.88</b>	<b>5244.01</b>	<b>\$33,090.28</b>	<b>5244.00</b>	<b>\$35,777.40</b>

Adquisición de indicadores de niveles para el reactor y el tanque de corte

Las cotizaciones<sup>45</sup> obtenidas para algunos indicadores de niveles de vidrio tubular se muestran en la Tabla 17 a continuación:

*Tabla 17 Costos de indicadores de nivel para el reactor y el tanque de corte*

Indicador de nivel	Costo (\$)
Tubo de vidrio de 5/8" de diámetro Longitud de 1.5 m, acero inoxidable para monoéster	2,543.80
Tubo de vidrio de 5/8" de diámetro Longitud de 1.5 m, acero inoxidable para poliéster	2,543.80
<b>Total</b>	<b>5,087.60</b>

<sup>45</sup> Las cotizaciones fueron hechas en pesos durante el mes de abril de 1999 por la empresa Controles y Repuestos Industriales, S.A. de C.V. e incluyen IVA.

Adquisición de medidores de flujo para algunas corrientes de alimentación al reactor

La cotización para medidores de flujo en las corrientes de alimentación de glicoles al reactor indica un costo de \$23,000.00 por cada instrumento. El medidor de flujo cotizado<sup>46</sup> es tipo pistón oscilante, cuerpo de aluminio y cámara de medición de bronce, con capacidad para medir flujos de entre 19 y 230 litros por minuto, y un contador calibrado en litros de cinco dígitos retornable a cero.

Uso de recipientes con mayor capacidad para el producto

Para el análisis de esta alternativa se utilizó una cotización<sup>47</sup> obtenida de la empresa Industrial Acura, S.A. de C.V. representante en México de Hoover. Se trata de un contenedor REPALTAINER con capacidad para 1040 L, consistente en una botella de polietileno de alta densidad. Cuenta con una entrada de 6 pulgadas con tapa y en la descarga una válvula de bola tipo mariposa de 2 pulgadas. La botella esta contenida en una rejilla de acero pintado con placas calibre 20 para colocar identificaciones del producto e incluye tarima de madera.

La evaluación se hace mediante la comparación de los costos de envasado del producto para un lote de resina. El envasado de un lote de resina requiere de poco más de 20 tambores de 200 L y requeriría de cuatro tanques de 1040 L. Cabe destacar que la vida útil de los tambores de 200 L que actualmente se utilizan en la empresa es de cuatro llenados, después de lo cual es necesario adquirir tambores nuevos. Por lo anterior debe tomarse en consideración que de los 1920 tambores de 200 L que se requieren para el envasado de la resina durante un año, solo 400 son nuevos.

La tabla 18 muestra un análisis sencillo de las implicaciones económicas relacionadas con el uso de los dos tipos de contenedores.

*Tabla 18 Evaluación económica del uso de tanques de mayor capacidad*

Alternativa	No. por lote	No. por año	Costo unitario (\$)	Costos de inversión (\$)	Costos de operación (\$)	Costos totales (\$)
Tambores de 200 L	20	400	85.00	34,000.00	16,758.00	54,758.00
Tanques de 1040 L	4	4	2,525.00	10,100.00	3,040.00	13,140.00

Otras consideraciones incluyen una vida útil de los tanques de 1040 L de alrededor de un año. Respecto a los costos de operación se consideran únicamente los relacionados con el lavado de los contenedores, mismos que corresponden a 4.5 L de thinner por tambor de 200 L (de acuerdo al consumo de thinner que actualmente se tiene en la empresa) y a 2 L por tanque de 1040 L (de acuerdo con información proporcionada por el proveedor).

<sup>46</sup> Las cotización fue hecha en pesos durante el mes de abril de 1999 por la empresa Corporativo AAA, S.A. de C.V.

<sup>47</sup> La cotización se obtuvo para el mes de abril y mayo de 1999. El costo por contenedor es de 250 dólares de los Estados Unidos. Se consideró un tipo de cambio de 10.1 pesos por dólar.

No debe perderse de vista que para la utilización de los tanques de mayor capacidad es necesario adquirir un montacargas<sup>48</sup>, cuyo costo de adquisición (\$256,287.50) debe añadirse a los costos de inversión, y su combustible y mantenimiento a los costos de operación.

Se considera un montacargas con capacidad para 2,270 kg con motor a gasolina, llantas neumáticas, torreta giratoria, carro de levante de 1 m y respaldo de carga de 1.2 x 1 m.

También es claro que se requeriría de la adquisición de más tanques de 1040 L debido al manejo de inventarios; esta consideración no afecta la relación de costos tanques/tambores antes descrita debido a que existe un número mucho mayor de tambores de 200 L con la misma finalidad, no obstante si afecta la relación de costos montacargas/tanques dado que el costo de inversión del montacargas es el mismo para cualquier número de tanques y el costo de operación varía muy poco.

### Sustitución de válvulas

Como se mencionó en el capítulo 5 de este documento, existen numerosas fugas en el proceso debidas a problemas en las válvulas de control, problemas que pueden deberse tanto a los empaques utilizados como a los tipos de válvulas que se emplean.

Un buen ejemplo de esto es la válvula de paso desde el reactor al tanque de corte presenta una fuga importante. Se calculó que se pierden alrededor de 4.35 L por hora de monoéster, que en un tiempo de operación de cinco horas da un total de 21.75 L o alrededor de 22 kg por lote. Esta sola pérdida significa alrededor de \$341.00 en ventas (a \$15.50 el kg de resina terminada). Verter dicho monoéster en el tanque de corte sería sumamente fácil, sin embargo la solución más inteligente es adquirir una válvula adecuada.

Las cotizaciones<sup>49</sup> obtenidas para una válvula roscada de 2 pulgadas y 125 lb en bronce y acero inoxidable en la empresa "Válvulas de Calidad de Monterrey S.A. de C.V." muestran que la inversión puede recuperarse casi inmediatamente (Tabla 19):

*Tabla 19 Costos de válvulas de control y periodo esperado de recuperación de la inversión*

Tipo de válvula	Inversión requerida (\$)	Recuperación de la inversión
Bronce	294.40	0.86 lotes
Acero inoxidable	460.00	1.35 lotes

<sup>48</sup> El costo de adquisición es de 25,375 dólares de los Estados Unidos de acuerdo con una cotización obtenida de la empresa MEXTRAC, S.A. de C.V. en abril de 1999. Para el análisis se considera un tipo de cambio de 10.1 pesos por dólar.

<sup>49</sup> Las cotizaciones fueron hechas en el mes de marzo de 1999.

Por lo que la inversión se recupera en menos de una semana y a partir de entonces se generan ahorros por \$341.00 en cada lote producido y se dejan de producir 22 kg de contaminantes peligrosos que se descargan al drenaje a través de las labores de limpieza de las instalaciones.

Una revisión exhaustiva de los problemas de esta naturaleza en el proceso podría sin duda brindar grandes beneficios económicos y ambientales para la empresa.

Pérdidas de calor en la tubería del sistema de calentamiento

Se mostró en el balance de energía que la mayor parte de las pérdidas de calor durante el proceso se presentan en la tubería que va desde el calentador de aceite térmico hasta el reactor y en el sentido contrario, por lo que tanto el aislamiento térmico de la misma como su trayecto tienen repercusiones importantes.

Existen pérdidas por alrededor de 13,855.9 MJ durante las cuatro etapas de calentamiento del reactor que son atribuibles a la tubería de conducción del aceite térmico. Es claro que aunque estas pérdidas pueden reducirse no será posible eliminarlas por completo; sin embargo las reducciones pueden representar ahorros significativos en los costos de producción de la empresa.

La Tabla 20 muestra las pérdidas que se presentan en cuatro escenarios. En el primero de ellos considerando que el material aislante se encuentre en buenas condiciones. En el segundo se considera una conductividad térmica superior en el material aislante ( $k = 0.72 \text{ Btu} \cdot \text{in} / \text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ ) como consecuencia del deterioro del mismo; en el tercero se considera un aumento de una pulgada en el espesor del aislamiento térmico que actualmente se utiliza, y en el cuarto se considera una disminución de la longitud de la tubería de conducción de aceite térmico en alrededor de 6 m. En la Tabla se muestran además los costos asociados a las pérdidas de calor en cada uno de los escenarios.

*Tabla 20 Pérdidas de calor en la tubería del sistema de calentamiento y costos asociados*

	Pérdidas de calor (MJ)	Costo por lote (\$)	Costo anual (\$)
<b>Escenario 1</b> Material aislante en buenas condiciones	13,855.92	1,060.02	101,761.60
<b>Escenario 2</b> Material aislante en malas condiciones	18,138.66	1,387.66	133,215.18
<b>Escenario 3</b> Incremento del espesor del aislamiento en una pulgada	10,481.60	801.87	76,979.68
<b>Escenario 4</b> Reducción de 6 m en la longitud de la tubería	10,270.82	785.75	75,431.67



El costo de reducir la distancia de recorrido de la tubería de aceite térmico no se estima en este trabajo debido a que existen numerosos costos intangibles difíciles de calcular (e.g. costos asociados a la detención de la producción por un periodo de tiempo, mano de obra requerida para esta tarea, etc.).

El costo del material aislante<sup>50</sup> se muestra en la Tabla 21 siguiente:

*Tabla 21 Costos del material aislante para la tubería del sistema de calentamiento*

Material de Fibra de vidrio	Costo Unitario por dos medias cañas de 0.91 m (\$)	Costo total (\$)
Espesor de dos pulgadas	70.57	1,706.09
Espesor de tres pulgadas <sup>51</sup>	105.85	2,559.01

### Sustitución de bombas

La bomba de circulación de aceite con una capacidad de 1 hp fue cotizada<sup>52</sup> en \$13,225.00. La estimación de los ahorros obtenidos al sustituir la bomba de circulación de aceite se muestra en la Tabla 22.

*Tabla 22 Comparación de bombas de circulación de aceite*

	Bomba actual	Bomba apropiada	Ahorro por lote (\$)
Capacidad de la bomba (Hp)	10	1	9
Consumo eléctrico (kWh)	59.680	5.968	53.712
Costo (\$)	78.12	7.81	70.31

Respecto a las bombas de glicoles se buscaron cotizaciones<sup>53</sup> para equipos con las mismas capacidades nominales que las que actualmente operan en la planta. Los resultados se muestran en la Tabla 23 a continuación:

<sup>50</sup> Cotización proporcionada por la empresa Fiberglass, S.A. de C.V. en pesos para abril de 1999 e incluye IVA.

<sup>51</sup> El espesor de tres pulgadas es una medida especial que no se fabrica de manera regular por lo que no se obtuvo una cotización para este caso, en vez de esto se recurrió a una extrapolación a partir del costo del material aislante con espesor de dos pulgadas.

<sup>52</sup> Cotización proporcionada por la empresa Seal Plus, S.A. de C.V. en pesos para marzo de 1999 e incluye IVA.

<sup>53</sup> Cotizaciones proporcionadas por la empresa MAESA en pesos para abril de 1999 e incluyen IVA.

Tabla 23 Comparación de bombas de alimentación de glicoles

	Bomba actual	Bomba nueva	Ahorro por lote (\$)	Ahorro anual (\$)
<b>Centrífuga de alimentación al reactor</b>				
Capacidad de la bomba (Hp)	3	3		
Consumo eléctrico (kWh)	0.448	0.224	0.224	21.50
Costo de la bomba (\$)		8,600.00		
Costo del consumo (\$)	0.59	0.30	0.29	28.12
<b>Sumergible de alimentación a tina de glicoles</b>				
Capacidad de la bomba (Hp)	0.125	0.125		
Consumo eléctrico (kWh)	0.373	0.093	0.280	26.88
Costo de la bomba (\$)		1,800.00		
Costo del consumo (\$)	0.49	0.12	0.37	35.15

### Manejo de inventarios

El costo promedio del inventario de glicoles, anhídridos y monómero de estireno en la planta es de \$368,147.50. Si se considera una reducción del inventario promedio al necesario para la producción de seis lotes de resina poliéster entonces el costo promedio disminuiría a \$220,888.50 (Tabla 24) y el costo de financiamiento se reduciría en alrededor de \$2,945.20 cada mes.

Tabla 24 Comparación de costos entre distintos manejos de inventario de materias primas

Inventario promedio para:	Costo del inventario promedio (\$)	Costo mensual de financiamiento (\$)	Producción asegurada (semanas)
10 lotes	368,147.50	7,362.95	5 semanas
8 lotes	294,518.00	5,890.36	4 semanas
6 lotes	220,888.50	4,417.77	3 semanas

En la Tabla 25 se muestra un resumen de las alternativas de prevención de la contaminación más prometedoras desde las perspectivas técnica y económica. Los ahorros anuales se han estimado sobre una base de producción de 96 lotes (2 lotes semanales durante 48 semanas).

Tabla 25 Resumen de alternativas de prevención de la contaminación

Alternativa	Inversión (\$)	Costo operativo anual (\$)	Ahorro anual (\$)	PIR (años)
Reducción del trayecto del aceite térmico	n.d.	0.00	26,398.46	n.d.
Aislamiento térmico de la tubería del sistema de calentamiento	2,559.01	0.00	45,895.52	0.056
Sustitución de válvula de paso a tanque de corte				
Bronce	294.40	0.00	32,736.00	0.009
Acero inoxidable	460.00	0.00	32,736.00	0.014
Corrección de relación estequiométrica	0.00	0.00	257,963.68	-
Instalación de medidores de flujo en corrientes de alimentación al reactor	69,000.00	0.00	56.25	n.d.
Instalación de indicadores de niveles en el reactor y el tanque de corte	5,087.60	0.00	56.25	n.d.
Cambio de bomba sumergible de glicoles	1,800.00	0.00	35.15	n.d.
Cambio de bomba centrífuga de glicoles	8,600.00	0.00	28.12	n.d.
Cambio de bomba de circulación de aceite	13,225.00	0.00	6,749.75	1.959
Uso de tanques de mayor capacidad para el producto	316,887.50	8,040.00		
Tanques	60,600.00	3,040.00	157,118.00	2.017
Montacargas	256,287.50	5,000.00		
Manejo de inventarios	0.00	0.00	35,342.16	-
<b>TOTAL</b>	<b>348,618.51</b>	<b>8,040.00</b>	<b>535,924.63</b>	<b>0.650</b>

n.d. No determinado

## CAPÍTULO 7

### COMENTARIOS COMPLEMENTARIOS

El proceso de producción de resinas poliéster insaturadas ortoftálicas es bastante eficiente por sí mismo. El rendimiento de la reacción (94.1%) es bastante alto y el resto es agua. Los riesgos de contaminación se asocian principalmente con el potencial existente para que el agua arrastre otros subproductos como consecuencia de un proceso industrial cuya operación es ineficiente, lo cual genera emisiones contaminantes a la atmósfera. Otras emisiones fugitivas se dan como resultado de malas prácticas operativas y como consecuencia de falta de mantenimiento en el equipo del proceso.

Respecto al agua, no existen fuentes importantes de descargas de aguas residuales, a no ser por las aguas domésticas y las que resultan del lavado del patio de la planta. Otras fuentes de contaminación hacia medios distintos al aire están relacionadas con los envases y empaques de las materias primas y de los productos, en donde se generan residuos sólidos y peligrosos que deben ser dispuestos.

Lo anterior hace que aparentemente este proceso no produzca impactos ambientales muy significativos, especialmente si se considera la escala de producción de una empresa pequeña como la que fue objeto de este estudio. Sin embargo hay algunos aspectos relevantes que deben considerarse; en primer lugar se están generando residuos peligrosos, que aunque en pequeñas cantidades, representan contaminantes que deben ser manejados con extrema precaución; por otro lado la generación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV's) es sumamente alta. Si bien no existe en México una norma que establezca límites permisibles de emisión de estos compuestos, las regulaciones vigentes en el estado de California en los Estados Unidos establecen que el límite máximo de emisión de COV's por día es de 18.18 kg, o de 3.632 kg en una hora, cantidades mucho menores a las que se están emitiendo actualmente por la empresa.

Desde la perspectiva ambiental la falta de control del proceso es la causa principal de liberación de contaminantes, especialmente de COV's que son además precursores de ozono atmosférico en una zona geográfica donde éste es un problema muy importante. En este sentido el diseño inadecuado del condensador y el control manual de su temperatura de operación son responsables de prácticamente la totalidad de los COV's liberados a la atmósfera. La única alternativa en este caso es la instalación de un nuevo condensador especialmente diseñado para este proceso y la consideración de un sistema automático de control de la temperatura de operación. Dicha solución no fue evaluada en este trabajo dado que para ello hubiese sido necesario diseñar el condensador y ello está fuera de los objetivos del mismo.

Es claro que desde la perspectiva tradicional y atendiendo a la filosofía del control de la contaminación y la adición de equipos anticontaminantes este problema podría ser solucionado por ejemplo mediante la adición de un quemador para estos compuestos, pero también lo es que la empresa no invertiría en un equipo así a menos que se viese forzada por la autoridad ambiental una vez que se hubiera normado la emisión de COV's en México.

Constantino (1996) señala que los oferentes de tecnología han detectado diversos motivos por los que las empresas no invierten en mecanismos de control ambiental. Destaca, desde luego, que la mayor parte de las instalaciones de equipo de control y monitoreo son caras y no hay mecanismos de financiamiento que permitan amortizar las inversiones en el mediano plazo.

El segundo argumento esgrimido por las empresas para no adquirir equipos anticontaminantes es que la infraestructura de recursos humanos no es suficiente para mantener a los empresarios al tanto de sus obligaciones ambientales. El tercero es que consideran que este tipo de gasto no es rentable porque afecta su estructura de costos y ello obligaría a subir los precios.

Finalmente señalan que la estructura de las sanciones por incumplimientos de la normatividad ambiental es relativamente permisiva debido a la incapacidad de monitoreo por parte de las instancias correspondientes. Así, frente a costos de oportunidad relativamente elevados, las empresas prefieren tomar el riesgo.

Lo anterior coincide plenamente con la visión de la empresa respecto de los aspectos ambientales asociados a sus actividades. No obstante, este trabajo demuestra que no necesariamente tiene que ser de esa manera si se utiliza un enfoque de prevención en vez del más tradicional control de las emisiones y descargas. La sustitución de la actitud reactiva por una proactiva y creativa puede ser muy útil en la mejora de la productividad de la empresa y en la facilidad con la que se resuelvan los problemas asociados con sus procesos.

El proceso estudiado es un buen ejemplo sobre como la solución a muchos problemas ambientales se encuentra básicamente en el campo de las mejoras operativas del sistema y en mucho menor grado con cambios tecnológicos (Tabla 26).

La mayor parte de las alternativas identificadas para prevenir la contaminación en el proceso estudiado tiene que ver con cambios en las prácticas operativas y en mucho menor grado con cambios tecnológicos, lo que tiene una especial importancia desde el punto de vista de eficiencia económica de la empresa. Respecto de las áreas de oportunidades para la reducción en el consumo de materias primas y energía en las que se identificaron alternativas de prevención de la contaminación, éstas últimas se encontraron en mayor proporción con relación al uso más eficiente de la energía y en menor grado al de las materias primas dentro del proceso. Sin embargo, el aprovechamiento eficiente de las materias primas mostró una mayor importancia en términos económicos para la empresa,

hecho que no debe sorprender si se considera que más del 96% de los costos de producción tienen que ver con la adquisición de éstas.

*Tabla 26 Áreas de reducción de pérdidas y de oportunidades de prevención de la contaminación*

Área de Reducción <sup>54</sup>	No. de alternativas	% de la inversión total	% del ahorro total
Consumo de energía	8	8.97	9.85
Consumo de materias primas	5	91.03	83.56
Costos financieros	1	0.00	6.59
<b>Área de Oportunidad</b>			
Cambios operativos	8	7.64	70.67
Cambios tecnológicos	3	92.36	29.33

Muchas de las alternativas aquí presentadas requieren pequeñas inversiones con periodos de recuperación cortos, algunas otras no requieren inversión alguna ni implican ningún incremento en los costos operativos de la empresa, lo que las hace sumamente atractivas.

Con las medidas sugeridas en este estudio la empresa puede disminuir hasta en un 14.4% sus costos de producción y recuperar las inversiones en un periodo de tiempo de poco más de seis meses, además podrá mejorar su desempeño ambiental sin el uso de equipos o sistemas de control de la contaminación ambiental. Dichas alternativas permitirían reducir la carga contaminante de la empresa en 2.1 ton de monoéster, 6.1 m<sup>3</sup> de thinner, 768 tambores con resina y 2,400 sacos de anhídridos vacíos cada año. Además se evitarían los impactos ambientales ocasionados por la generación y transmisión de energía por más de 323,935 MJ y 5,187 kWh.

La cuantificación de los ahorros esperados mediante la instrumentación de las medidas recomendadas se ha hecho con base en el examen de un solo lote de resina poliéster ortoftálica; sin embargo y debido a que existen muchos parámetros en el proceso que son manejados en forma empírica, es posible que los valores varíen un poco debido a la falta de consistencia entre las condiciones de operación para distintos lotes.

Se ha mostrado también que existen alternativas de prevención de la contaminación que no requieren inversión alguna y que aumentan la productividad de la empresa. La corrección de ineficiencias menores asociadas con el mantenimiento de los equipos y las instalaciones tiene un enorme potencial para generar ahorros significativos y al mismo

<sup>54</sup> La razón de que aparezcan 14 alternativas en áreas de reducción de pérdidas y solo 10 en áreas de oportunidad obedece al hecho de que algunas de estas alternativas reducen tanto el consumo de energía como el de materias primas. El registro de las inversiones y los ahorros de estas alternativas se hace en el área donde la repercusión es más importante.

tiempo reducir la carga contaminante que es liberada al ambiente como resultado del proceso involucrado. Estas correcciones no requieren grandes inversiones, tienen periodos cortos de recuperación y pueden ser instrumentadas inmediatamente.

La evaluación de las alternativas se hizo buscando acercar los resultados tanto como fue posible a la realidad. En este sentido debe tomarse en consideración que pueden existir variaciones menores en la estimación de los costos si se acude a proveedores distintos a los mencionados en este trabajo. Sin embargo dichas estimaciones son indicativas del potencial existente en las alternativas estudiadas para mejorar la eficiencia y competitividad de la empresa.

No cabe duda de que el dicho "lo que es medido es administrado" ("what gets measured gets managed") debe ser aplicado en este caso, especialmente si se pretende obtener una certificación ISO 9001. En este sentido la empresa estudiada tiene un control sumamente deficiente del proceso de fabricación de resinas poliéster insaturadas y la mayor parte de los parámetros durante el proceso son manipulados de una manera empírica. Esto reviste una gran importancia desde las perspectivas de la eficiencia del proceso, la confiabilidad del mismo y las variaciones que se presentan en la fabricación de diferentes lotes. Asimismo, tiene mucho que ver con la calidad del producto final y la confianza que los clientes puedan depositar en su proveedor para que éste les ofrezca un producto con las especificaciones exigidas.

En este sentido el establecimiento de procedimientos de control y la adquisición e instalación de los equipos necesarios para poder instrumentar dichos procedimientos tiene una especial relevancia, especialmente a la luz de la próxima instrumentación de un sistema de calidad en la empresa que responda a los requerimientos de la norma ISO 9001.

La instrumentación de algunas de estas medidas ayudarán sin duda a mejorar el desempeño de la empresa (cuantificable mediante los indicadores de desempeño propuestos en el capítulo 4), así como a propiciar las condiciones para una eventual certificación en ISO 9001.

Debido a que las normas ISO 9000 fundamentan su quehacer en la filosofía de un círculo virtuoso de mejora continua, deberán establecerse parámetros que permitan comparar el desempeño de la empresa con el de otras que se dedican a lo mismo. El desarrollo y utilización de indicadores para ello permitirá medir el progreso alcanzado por la empresa con relación al tiempo transcurrido, e interpretarlo respecto a las mejoras alcanzadas en la productividad de la misma. Por ejemplo, el seguimiento del consumo de materiales y energía por unidad de producción puede dar una idea bastante buena de la eficiencia de la empresa.

Respecto de la carencia de alternativas de financiamiento mencionadas por Constantino (1996), el año pasado inició operaciones de crédito el Fondo para Proyectos de Prevención de la Contaminación (FIPREV) que es administrado de manera conjunta entre la CCA y la Concamin. Este fondo ofrece préstamos con tasas de interés muy competitivas

debido a que no persigue fines de lucro y está dirigido hacia proyectos de prevención en pequeñas y medianas industrias de México. El fondo ofrece créditos en moneda nacional y extranjera, y el dinero puede ser utilizado tanto para la realización de estudios como para la instrumentación de proyectos ejecutivos de prevención de la contaminación en donde el financiamiento puede alcanzar hasta el 80% de las inversiones requeridas.

Es innegable la necesidad que existe actualmente de modernizar a la industria mexicana en un nuevo contexto de competencia que es resultado de la apertura económica que el país ha experimentado en los últimos años y que continuará en los próximos. Las nuevas condiciones de competencia a las que se enfrenta el sector industrial exigen un desempeño mucho más eficiente de las empresas, e incluyen al desempeño ambiental como un factor relevante de competitividad debido a las cada vez más estrictas normas ambientales y a los requerimientos exigidos por los clientes en el extranjero.

El concepto de prevención de la contaminación es uno de los enfoques que sin duda pueden ayudar a la industria mexicana en este camino al vincular exitosamente las necesidades de cumplimiento ambiental con las prioridades de eficiencia económica. El estudio aquí presentado muestra que la relación existente entre las mejoras obtenidas en la eficiencia económica de la empresa y el mejor desempeño ambiental de la misma es clara, y que pueden alcanzarse ambos objetivos al mismo tiempo.

No hay duda que en México existe un campo fértil para la instrumentación de programas de prevención de la contaminación, tanto en la industria como en otros sectores. La poca eficiencia que caracteriza a la planta industrial ofrece aún más oportunidades para obtener beneficios mayores y más rápidos derivados de la aplicación de medidas de prevención de la contaminación, que además pueden actuar como un catalizador para mejorar la productividad y competitividad de la industria en el nuevo contexto de apertura económica y competencia internacional en el que se desenvuelve el país. Finalmente, la introducción de prácticas de prevención de la contaminación en la industria complementará sin duda a la actual normatividad en beneficio del ambiente y la salud humana.

Caminar en este sentido es muy importante en el momento en el que se encuentra el país. Debe aprovecharse la coyuntura que la apertura comercial le ha dado al país para impulsar la modernización industrial de México. Una modernización que debe darse a la par que se da en las economías más exitosas del planeta y no como hasta ahora se ha dado, siguiéndolas con un retraso de muchos años. Si en los países más avanzados del planeta se está dejando atrás el "control de la contaminación", hagámoslo nosotros también cuando aún podemos hacerlo. En la medida en la que la prevención de la contaminación sea incorporada a las actividades productivas de nuestro país, será más exitosa la integración de México a la globalización que caracterizará la entrada del siglo XXI.



## CAPÍTULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### **Conclusiones**

Como resultado de este estudio se propusieron alternativas para mejorar el desempeño ambiental de una empresa que produce resina poliéster como principal producto, que ofrecen aumentar la productividad y competitividad de la misma y en las que no se contempla el uso de tecnologías de control de la contaminación.

El uso de balances de materiales y energía permitió identificar ineficiencias en el proceso que pueden ser solucionadas mediante medidas principalmente operacionales que no requieren inversiones cuantiosas.

Muchas de las alternativas aquí presentadas son técnicamente factibles, requieren pequeñas inversiones con periodos de recuperación cortos, disminuyen los costos de producción de la empresa estudiada y mejoran el desempeño ambiental de la misma al reducir la carga contaminante que ésta genera durante sus actividades. Con las mismas ventajas, algunas otras no requieren inversión alguna ni implican ningún incremento en los costos operativos de la empresa, lo que las hace sumamente atractivas.

Las alternativas más atractivas desde la perspectiva económica son la corrección de la relación estequiométrica de las reacciones de esterificación y copolimerización, el aislamiento térmico de la tubería del sistema de calentamiento del reactor, el uso de contenedores con mayor capacidad para el producto, el manejo mejorado de inventarios y la sustitución de válvulas de control. Desde la óptica ambiental las más atractivas son el control mas apropiado del proceso, la sustitución de válvulas de control, el aislamiento térmico de la tubería del sistema de calentamiento del reactor y el uso de contenedores de mayor capacidad para el producto.

Este trabajo ha demostrado las ventajas de la prevención de la contaminación y que existen oportunidades para reducir la carga contaminante de una empresa que son al mismo tiempo útiles para mejorar su eficiencia y productividad. Estas oportunidades incluyen principalmente la sustitución de materias primas, cambios de formulación, mejor mantenimiento de las instalaciones, mejoramiento de los equipos y reciclado de insumos.

#### **Recomendaciones**

De aquí en adelante es conveniente dirigir esfuerzos hacia la sustitución del condensador en el proceso por uno especialmente diseñado para éste.

Debe aprovecharse la coyuntura existente en este momento en el que la empresa está por iniciar operaciones en una nueva planta en el estado de Hidalgo para instrumentar algunas de las medidas de prevención de la contaminación que han sido identificadas en este estudio.

Evitar la producción de contaminantes en la fuente es una de las estrategias en boga desde hace ya algunos años. Sin embargo generalmente no es posible eliminar por completo la generación de contaminantes en los procesos industriales y éstos deben ser tratados o dispuestos con los consecuentes costos para las empresas y el ambiente.

Parece claro entonces que una estrategia inteligente es recurrir primero a las alternativas de prevención de la contaminación y después a las de control y tratamiento. Una vez que las alternativas de prevención han sido agotadas será posible evitar el uso de algunos equipos anticontaminantes, así como diseñar y dimensionar adecuadamente los que realmente sean necesarios para el proceso.

## LITERATURA CONSULTADA

Austin, G.T. (1992) *Manual de Procesos Químicos en la Industria*. Mc Graw Hill, Primera edición en español. México. Varias páginas.

Brañes, R. (1994) *Manual de Derecho Ambiental Mexicano*. Fundación Mexicana para la educación Ambiental y Fondo de Cultura Económica. Sección de obras de política y derecho. México. Varias páginas.

Brealey, R.A. y S.C. Myers (1995) *Principles of Corporate Finance*. Third Edition. McGraw Hill Book Company. New York. Varias páginas.

Carey, J.A. y D. Hammitt (1992) *Selección de Válvulas de Control de Flujo de Líquidos*. En: Green, R.W. (1992) *Válvulas: Selección, Uso y Mantenimiento*. McGraw Hill. New York. Pp. 169-170

Castillo A., R.D. (1976) *Estudio Técnico Económico de la Fabricación de Resinas Poliéster no saturadas*. Tesis. Facultad de Química, UNAM. Varias páginas.

Constantino, R.M. (1996) *Ambiente, Tecnología e Instituciones: el Reto de un Nuevo Orden Competitivo*. Comercio Exterior. Vol. 46, No. 10. México, octubre, 1996. Pp. 774-784.

Cortinas de Nava, C. y A. Rodríguez-Abitia (1995) *Industria, Contaminación y Normativa Ambiental en México: Situación de Cinco Ramas Industriales*. UNEP: Industry and Environment. Vol. 18: No. 2-3, April-September 1995. Pp. 98-103.

Enciclopedia de la Química Industrial (1978) *Tecnología de los Recubrimientos de Superficies*. Tomo 7. Ediciones Urmo, Barcelona, España. Varias páginas.

Esparza, J.F. (1997) *Estudio para Identificar Proveedores Mexicanos de Empresas Exportadoras Viabiles de ser Apoyadas por el Fondo de Prevención de la Contaminación Ambiental*, elaborado para la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. Varias páginas.

Fessenden, R.J. y J.S. Fessenden (1983) *Química Orgánica*. Grupo Editorial Iberoamérica. México. Pp. 435-440.

Freeman, H. et. al. (1992) *Industrial Pollution Prevention: A Critical Review*. J. Air Waste Manage. Assoc. 42(5) Pp. 618-656

Freeman, H.M. (1995) *Industrial Pollution Prevention Handbook*. McGraw Hill. Washington, D.C. Varias páginas.

González M., J.J. (1997) *Nuevo Derecho Ambiental Mexicano (Instrumentos de Política)*. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Biblioteca de Ciencias Sociales y Humanidades. Serie Derecho. México. Varias páginas.

Hall, C. (1981) *Polymer Materials: an introduction for technologists and scientists*. The MacMillanPress Ltd. Pp. 2-30

Huisingh, D. y L.W. Baas (1991) *Cleaner Production: the most effective approach to achieving improved water quality*. European Water Pollution Control, Vol. 1, No. 1. Pp. 24-30

Incropera, F.P. y D.P. DeWitt (1996) *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons. 4<sup>th</sup> Edition. New York. Pp. 90-95

Instituto Nacional de Ecología (1996) *Programa para la Minimización y Manejo de Residuos Industriales Peligrosos en México 1996-2000*. Varias páginas.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1985) *Estadísticas Históricas de México*. Tomo II. Varias páginas.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1998) *La Industria Química en México*. Edición 1997. Varias páginas.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1999) Página World Wide Web. <http://dgcnesup.inegi.gob.mx/bie.html-ssi>. Consulta: enero, 1999.

Jaime, E. et. al. (1993) *Lo Hecho en México. Empresas Mexicanas y Apertura Comercial*. Cal y Arena. Segunda edición. México. Pp. 45-70.

Kirk-Othmer (1982) *Encyclopedia of Chemical Technology*. Volume 18. John Wiley & Sons. Third Edition. Pp. 575-594

Kirk-Othmer (1994) *Encyclopedia of Chemical Technology*. Volume 9. John Wiley & Sons. Fourth Edition. Varias páginas.

Merck and Co. *An Encyclopaedia of Chemical, Drugs, and Biological*. RAHWAY. 11<sup>th</sup> Edition. New York, USA.

MicroMedex (1998) Tomes CPS System. Vol. 38

Miles, D.C. y J.H. Briston (1965) *Polymer Technology*. Chemical Publishing Company, Inc. New York. Pp. 3-23 y 63-83

Morgan, P. (ed.) (1957) *Glass Reinforced Plastics*. Philosophical Library, Inc. New York. Second Edition. Pp. 19-53

Oleesky, S.S. y J.G. Mohr (1975) *Tratado de Plásticos Reforzados*. Society of Plastics Industry, Inc. Instituto de Plásticos y Caucho de España. Segunda Edición. Pp. 25-70

Perry (1995) *Manual del Ingeniero Químico*. Tomo I. McGraw-Hill. Washington, D.C.. Sexta Edición. Varias páginas.

Pikulik, A. (1992) *Selección y Especificación de Válvulas para Plantas Nuevas*. En: Green, R.W. (1992) *Válvulas: Selección, Uso y Mantenimiento*. McGraw Hill. Washington, D.C. Pp. 11

Poder Ejecutivo Federal (1996) *Programa de Medio Ambiente*. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. P. 232.

Riegel's Handbook of Industrial Chemistry (1974) Van Nostrand Reinhold Company, Seventh edition. U.S.A. Varias páginas.

Rodríguez Abitia, A. (1998) *Un Enfoque Preventivo de la Contaminación en México*. Revista Ingeniería y Ciencias Ambientales, No. 37, Julio-Agosto, 1998. Pp. 10-15.

Saxs (1992) *Dangerous Properties of Industrial Material*. Ed. Van Nostrand Reinhold, 8<sup>th</sup> Edition. New York. Varias páginas.

Tovar G., L. R. (1966) *Cálculo e instrumentación de una planta para la obtención de resinas poliéster*. Tesis. Facultad de Química, UNAM. Varias páginas.

United States Environmental Protection Agency (1976) *Effective Hazardous Waste Management (Non-Radioactive)*. Position Statement, Federal Register, Vol. 41, No. 161, August 1976. Varias páginas.

United States Environmental Protection Agency (1988) *Waste Minimization Opportunity Assessment Manual*. Hazardous Waste Engineering Research Laboratory. EPA/625/7-88/003. July, 1988. Varias páginas.

United States Environmental Protection Agency (1992) *Facility Pollution Prevention Guide*. Office of Research and Development, Washington, D.C., EPA/600/R-92/088. Varias páginas.

United States Environmental Protection Agency (1997) *Profile of the Plastic and Manmade Fiber Industries*. Sector Notebook Project. Office of Enforcement and Compliance Assurance. EPA/310/R-97/008. September, 1997. Varias páginas.

Waldo, J. (1992) *Thermal Insulation of Piping*. En: Nayyar, M.L. (ed.)(1992) *Piping Handbook*. McGraw-Hill, Inc. Washington, D.C. Sixth Edition. Pp. B.247 -B.305

Wesemann, E.J. (1967) *Thermal Insulation*. En: Crocker, S. y R.C. King (1967) *Piping Handbook*. McGraw Hill Book Company. Fifth Edition. Washington, D.C. Varias páginas.

## ANEXO 1: LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD AMBIENTAL

La primera ley mexicana relacionada con la protección ambiental fue promulgada en el mes de marzo de 1971, presumiblemente como resultado de la entonces inminente reunión sobre desarrollo humano que se desarrolló en Estocolmo en 1972. La Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (DOF 23-mar-1971) tuvo un carácter fundamentalmente sanitarista y dirigido hacia el problema de la contaminación ambiental desde la perspectiva de sus efectos sobre la salud humana. De esta ley emanaron tres reglamentos en diversas materias.

Posteriormente y debido a que no existía en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos fundamentación para la existencia de esta ley, cuatro meses después se hizo una modificación al artículo 73 de la misma para incluir los términos de prevención y control de la contaminación (DOF 6-julio-1971). En este contexto aún sanitarista en que se entendía a la contaminación, en el Código Sanitario expedido en 1973 se incluyó un capítulo dedicado al saneamiento del medio ambiente.

En enero de 1982 se publicó una nueva ley ambiental, la Ley Federal de Protección al Ambiente, y en 1983 la constitución fue nuevamente modificada para incluir aspectos ambientales en su artículo 25, y en 1987 en sus artículos 27 y 73 (DOF 10-ago-1987). En 1988 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (DOF 28-ene-1988). Entre marzo de 1988 y julio de 1994 se expidieron leyes estatales de medio ambiente en los 31 estados de la república (Querétaro fue el primer estado en contar con una ley ambiental propia y Campeche el último). La última ley ambiental en publicarse fue la del Distrito Federal el 9 de julio de 1996. Durante este periodo la Constitución fue modificada nuevamente en su artículo 122 (DOF 7-abr-1993). Finalmente la LGEEPA fue modificada en diciembre de 1996 (DOF 13-dic-1996). La LGEEPA tiene cuatro reglamentos en las siguientes materias:

- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Impacto Ambiental
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de la Contaminación generada por los Vehículos Automotores que circulan por el Distrito Federal y los Municipios de su Zona Conurbada

Además de estos reglamentos, la legislación ambiental mexicana incluye normas obligatorias y normas voluntarias. Respecto a las primeras, a raíz de la publicación de la LGEEPA en 1988 surgieron Normas Técnicas Ecológicas (NTE) en diversos aspectos ambientales. A partir de 1992, bajo los lineamientos de la Ley Federal de Metrología y Normalización, muchas de las NTE se han convertido en Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que incluyen un proceso de elaboración con mayor participación pública. Respecto a las segundas, las Normas Mexicanas (NMX) han existido desde hace ya muchos años, sin

embargo las relacionadas con aspectos ambientales son relativamente recientes. En virtud de la naturaleza de este trabajo debe mencionarse que existe una de ellas para la producción de fibras sintéticas.

A continuación se muestra el marco jurídico vigente aplicable al proceso de producción de resinas poliéster en la empresa objeto de este trabajo:

***Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente***

DOF 28 de enero de 1988, modificada en el DOF 13 de diciembre de 1996

**Art. 28.-** Las personas físicas o morales que pretendan realizar obras o actividades públicas o privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y normas oficiales mexicanas, requieren de la autorización de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca antes de ser iniciadas.

**Art. 146 y 147.-** Se requiere un estudio de riesgo para las actividades industriales, comerciales y de servicios consideradas riesgosas de acuerdo con las cantidades de sustancias peligrosas que manejen, almacenen o procesen. Además se debe contar con un Programa para la Prevención de Accidentes de acuerdo con lo que para tal efecto se establece en la guía correspondiente elaborada por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

***Reglamento de la LGEEPA en Materia de Impacto Ambiental***

DOF 7 de junio de 1988

**Art. 5.-** Las personas físicas o morales que pretendan realizar obras o actividades públicas o privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y normas oficiales mexicanas, requieren de la autorización de la Secretaría de Medio Ambiente, recursos Naturales y Pesca antes de ser iniciadas.

***Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos***

DOF 25 de noviembre de 1988

**Art. 8.-** Se requiere que la empresa se registre ante la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca como generador de residuos peligrosos. Se debe mantener una bitácora de los residuos peligrosos generados y mostrarse a la Secretaría cuando éste sea requerido. Los recipientes y contenedores de residuos peligrosos almacenados temporalmente deben estar identificados como tales indicando las características de peligrosidad y la fecha en que fueron generados.

**Art. 12.-** El personal responsable del manejo de residuos peligrosos debe haber sido entrenado y certificado.

**Art. 15 al 19.-** Las áreas de almacenamiento temporal de residuos peligrosos deben cumplir con los requisitos establecidos en el reglamento.

**Art. 23.-** Por cada embarque de residuos peligrosos la empresa deberá entregar al transportista un manifiesto de entrega de estos residuos y dos copias del mismo. Dentro de un plazo de treinta días a partir de la fecha de embarque, el destinatario de los residuos debe devolver al generador el original del manifiesto con la firma de recibido. En caso de no ser así la empresa deberá notificar a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca dicha irregularidad. Los manifiestos originales deben ser guardados por un periodo de diez años por lo menos.

**Art. 34.-** Debe elaborarse un reporte mensual de los residuos peligrosos generados y enviados para su confinamiento final y presentarse a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca en el mes correspondiente.

***Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera***

DOF 25 de noviembre de 1988

**Art. 17.-** Todas las fuentes fijas de emisiones a la atmósfera deben presentar cada año o con la periodicidad que se indique en la Licencia Ambiental Unica información relativa al inventario de emisiones, registro de generación de residuos, permisos de descarga de aguas residuales, etc. Además, los responsables de las fuentes fijas de emisiones a la atmósfera de jurisdicción federal deberán instalar puertos y plataformas de muestreo. Las plataformas y la localización de los puertos de muestreo deberán cumplir con los requerimientos establecidos en la norma NMX-AA-09. Si por alguna razón no es posible cumplir con todos los requerimientos establecidos en la norma antes mencionada, se podrá poner a consideración de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca la localización de los puertos de muestreo en condiciones distintas.

**Art. 18.-** Todas las fuentes fijas de jurisdicción federal que emitan o puedan emitir olores, gases, o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera requieren de una licencia de funcionamiento expedida por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

**Art. 23.-** La emisión de contaminantes atmosféricos que se generen por fuentes fijas de jurisdicción federal deberá canalizarse a través de ductos o chimeneas de descarga. Cuando por razones de índole técnica esto no sea posible deberá justificarse ante la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

***NOM-002-ECOL-1996***

DOF 3 de junio de 1998

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.



***NOM-043-ECOL-1996***

DOF 22 de octubre de 1993

En ella se establecen los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

***NOM-052-ECOL-1993***

DOF 22 de octubre de 1993

Listado de Residuos Peligrosos por su toxicidad al ambiente. Incluye Tolueno y envases y tambos vacíos usados en el manejo de materiales y residuos peligrosos.

***NOM-053-ECOL-1993***

DOF 22 de octubre de 1993

Determinación de Residuos Peligrosos por su Toxicidad al ambiente.

***NOM-054-ECOL-1993***

DOF 22 de octubre de 1993

La empresa deberá tomar en consideración la incompatibilidad que pudiera existir entre los residuos peligrosos almacenados de conformidad con lo establecido en esta norma.

***NOM-081-ECOL-1994***

DOF 13 de enero de 1995

Las fuentes fijas no deben generar ruido de manera tal que en los límites de la planta se rebasen los niveles establecidos en esta norma.

***NOM-085-ECOL-1994***

DOF 2 de diciembre de 1994

En esta norma se establecen los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera para ciertos parámetros de acuerdo con la capacidad de los equipos de combustión y de los combustibles utilizados.

***Otras normas y listados***

En esta sección se indican los listados nacionales aplicables para los materiales utilizados en la empresa, así como algunas normas internacionales en las que se incluyen dichos materiales.

**Primer Listado de Sustancias Tóxicas**  
*Gaceta Sanitaria, octubre 1987*

Artículo único. Con fundamento en el Artículo 278 Fracción III de la Ley General de Salud, y para efectos de control sanitario, y sin perjuicio de las atribuciones de otras Dependencias del Ejecutivo Federal, e ejercicio con lo señalado en el Artículo 9, Fracción IV y 17, Fracción I del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud, son sustancias tóxicas las que se determinan en la lista siguiente:

- Etilenglicol
- Estireno
- Anhídrido Ftálico
- Anhídrido Maléico
- Tetracoloretileno (Percloroetileno)
- Tolueno

**Segundo Listado de Sustancias Tóxicas**  
*Gaceta Sanitaria, diciembre 1987*

Artículo único. Con fundamento en el Artículo 278 Fracción III de la Ley General de Salud, y para efectos de control sanitario, y sin perjuicio de las atribuciones de otras Dependencias del Ejecutivo Federal, e ejercicio con lo señalado en el Artículo 9, Fracción IV y 17, Fracción I del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud, son sustancias tóxicas las que se determinan en la lista siguiente:

- Gas Ip
- Hidroquinona

**Primer Listado de Actividades Altamente Riesgosas**  
*DOF, 28 de marzo de 1990*

Sustancia	Cantidad de Reporte
Hidroquinona (sólido)	10 kg
Peróxido de Hidrógeno (líquido)	1,000 kg
Percloroetileno (tetracoloroetileno) líquido <sup>55</sup>	10,000 kg
Tolueno (líquido)	10,000 kg

**Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas**  
*DOF, 4 de mayo de 1992*

Sustancia	Cantidad de Reporte
Tolueno (líquido) <sup>60</sup>	100,000 kg
Estireno (líquido)	200,000 kg

<sup>55</sup> En virtud de que esta sustancia presenta además propiedades explosivas e inflamables, también será considerada, en su caso, en el proceso para determinar los listados de actividades altamente riesgosas correspondientes a aquellas en que se manejen sustancias explosivas e inflamables.



## Sustancias Extremadamente Peligrosas (SARA)

- Hidroquinona No. CAS: 123-31-9

La Hidroquinona esta en la lista de sustancias prohibidas, retiradas del comercio, restringidas o no autorizadas por los gobiernos de las Naciones Unidas.

### Normas oficiales mexicanas en fase de anteproyecto

Finalmente se indica a continuación un listado con normas oficiales mexicanas en materia ambiental que están en proceso de elaboración por la autoridad ambiental federal y que pudieran afectar las actividades de la empresa en un futuro.

#### *Identificación y etiquetado de materiales de envases y embalajes.*

Objetivo: Regular envases y etiquetado como protección al ambiente a corto plazo.

Tiempo de elaboración: Un año.

#### *Que establece los requisitos para el almacenamiento de residuos peligrosos.*

Objetivo: Regular el almacenamiento de residuos.

Tiempo de elaboración: Un año.

#### *Revisión de la NOM-052-ECOL-1997, de las características y los listados de los residuos peligrosos.*

Objetivo: Regular el listado de residuos peligrosos como protección al ambiente.

Tiempo de elaboración: Un año.

#### *Manejo Integral de residuos peligrosos.*

Objetivo: Regular residuos peligrosos.

Tiempo de elaboración: Dos años.

#### *Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión.*

Objetivo: Regular emisiones a la atmósfera.

Tiempo de elaboración: Un año.

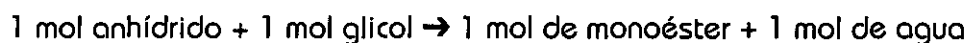
## ANEXO 2: MEMORIA DE CÁLCULO

### *Principales unidades y factores de conversión utilizados*

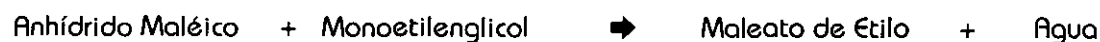
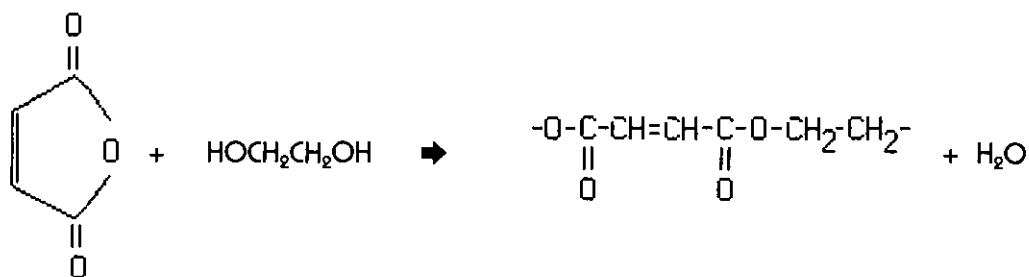
Btu	1054.8 Joules
Libra masa	0.4536 kg
Watt	joule / segundo
kW	0.7457 hp
kWh	3.6 MJ
cal	4.184 J
°F	°C(1.8) + 32
°C	°F - 32 / 1.8
Ft (pie)	0.3048 m
Galón	3.786 l

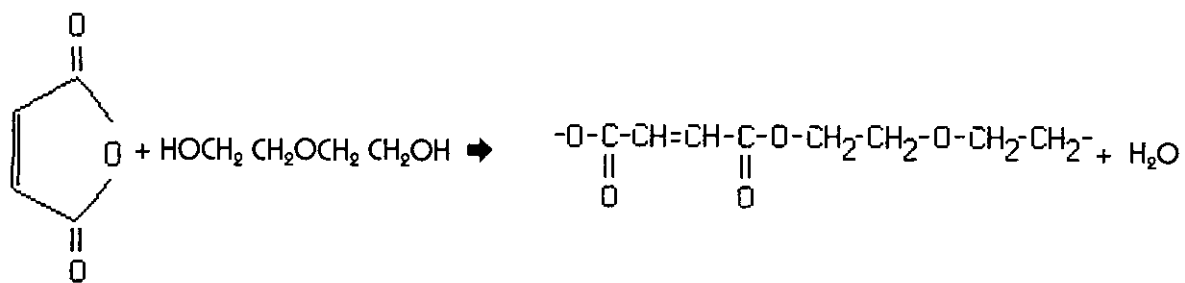
### *Balance de materiales*

Para realizar los balances de materiales de todas las operaciones involucradas se consideraron los datos proporcionados por la empresa para la elaboración de un "lote" de la resina poliéster. Para los balances teóricos de materiales se usaron varios escenarios en los que se utilizaron diversos reactivos limitantes, los anhídridos en el primer caso y el estireno en el segundo, los cuales fueron considerados como la base para la elaboración de los balances. Además cabe aclarar que para realizar los balances teóricos se consideró una reacción en cantidades equitativas de cada uno de los anhídridos con cada uno de los glicoles y que las relaciones estequiométricas utilizadas en forma general fueron:

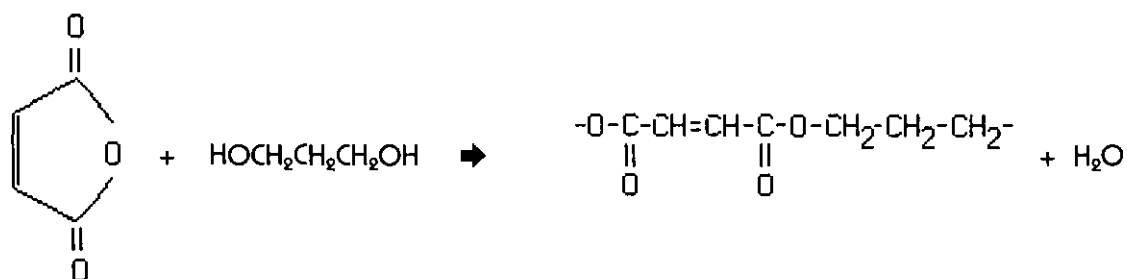


Las reacciones que tienen lugar durante la esterificación se presentan a continuación:

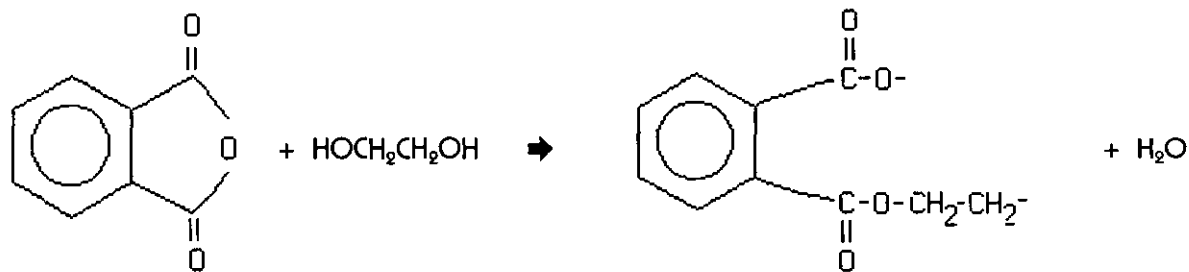




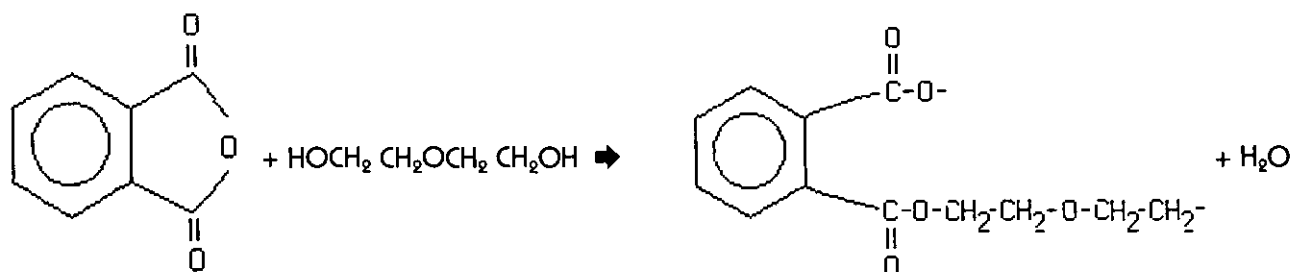
Anhídrido Maléico + Dietilenglicol  $\Rightarrow$  Maleato de Dietilo + Agua



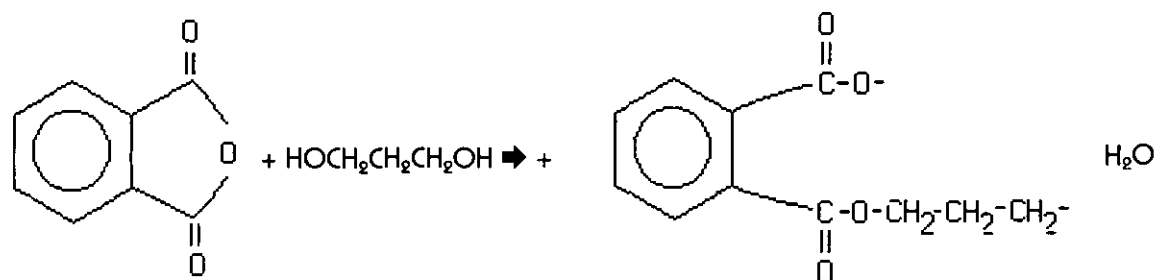
Anhídrido Maléico + Propilenglicol  $\Rightarrow$  Maleato Propilo + Agua



Anhídrido Ftálico + Monoetilenglicol  $\Rightarrow$  Ftalato de Etilo + Agua

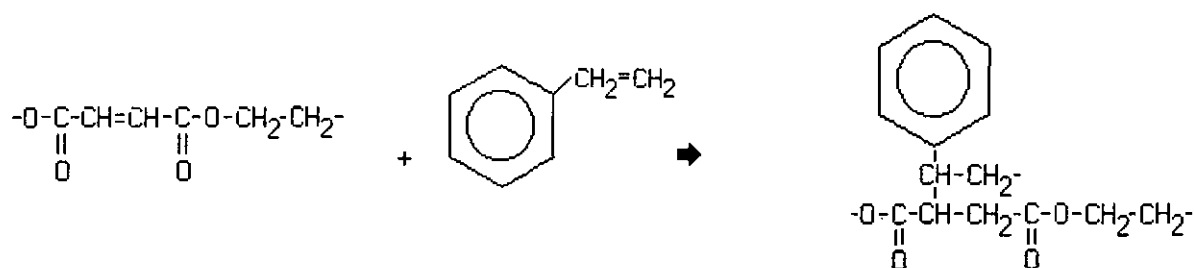


Anhídrido Ftálico + Dietilenglicol  $\Rightarrow$  Ftalato de Dietilo + Agua

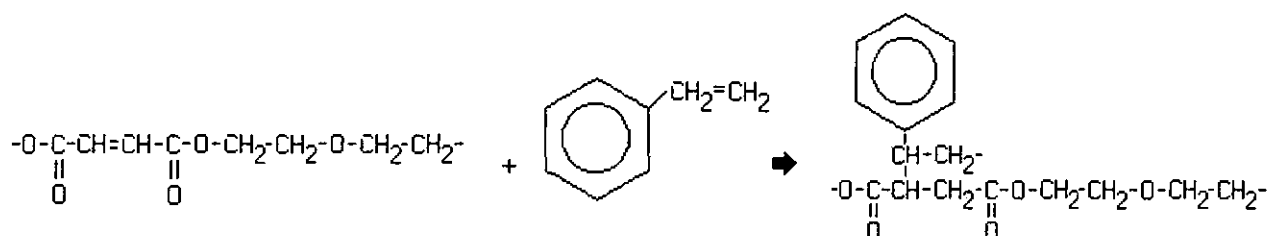


Anhídrido Ftálico + Propilenglicol → Ftalato de Propilo + Agua

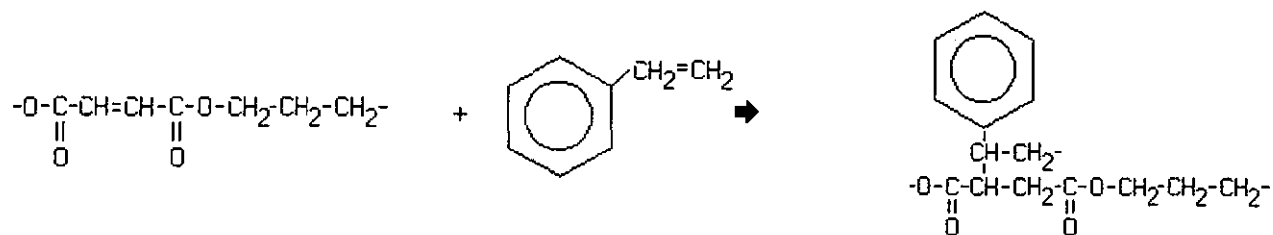
Las reacciones que tienen lugar durante la copolimerización son las siguientes:



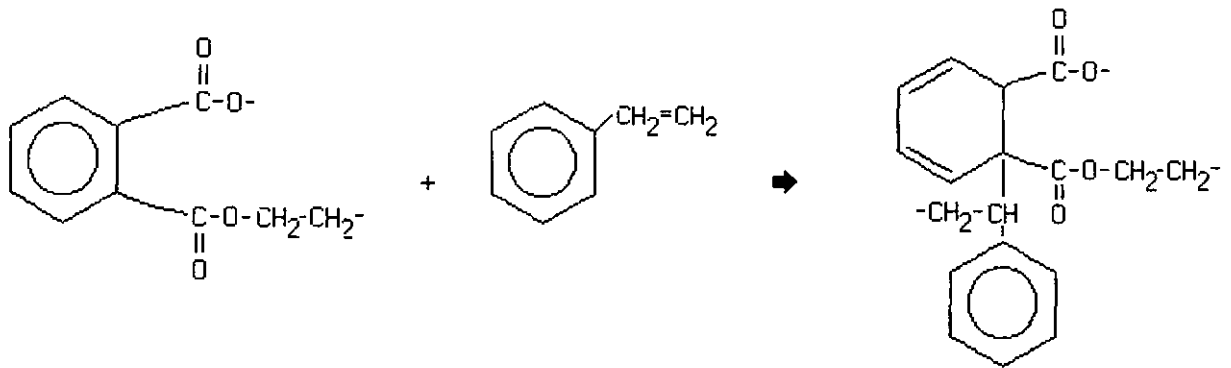
Maleato de Etilo + Estireno → Resina de polímero de maleato de etilo



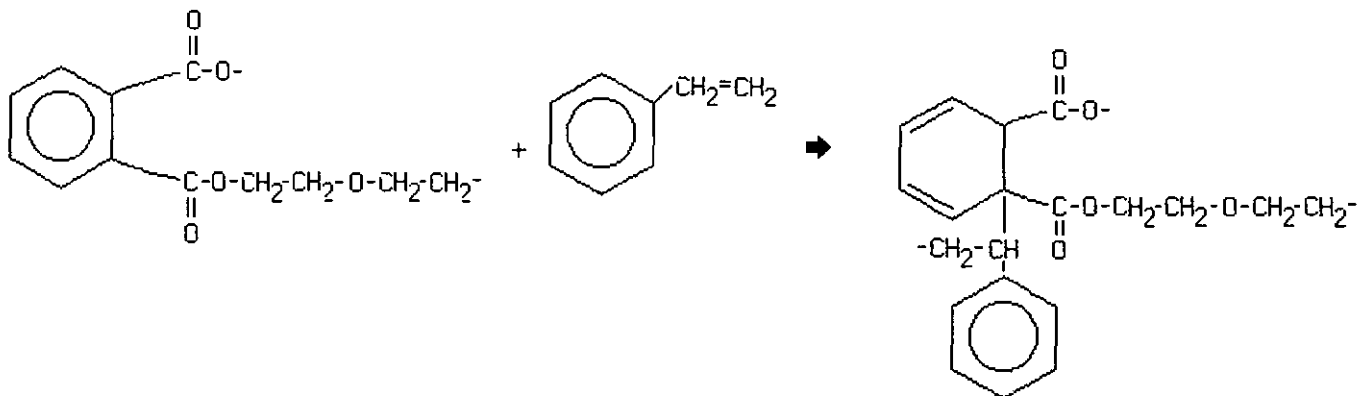
Maleato de Dietilo + Estireno → Resina de polímero de maleato de dietilo



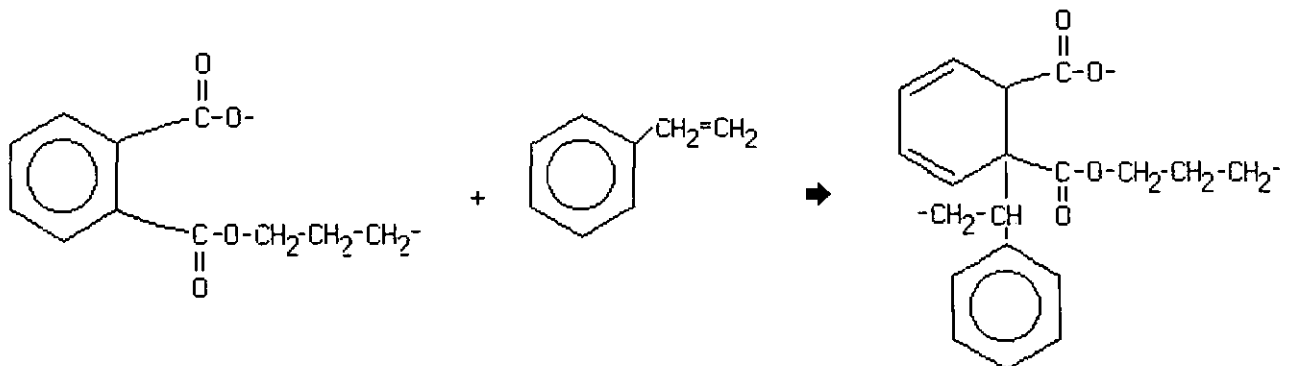
Maleato de Propilo + Estireno → Resina de polímero de maleato de propilo



Ftalato de Étilo + Estireno ➔ Resina de polímero de ftalato de etilo



Ftalato de Dietilo + Estireno ➔ Resina de polímero de ftalato de dietilo



Ftalato de Propilo + Estireno ➔ Resina de polímero de ftalato de propilo



Por otra parte, los pesos moleculares de las sustancias involucradas son<sup>57</sup>:

Dietilenglicol (DG) = 106.1  
Propilenglicol (PG) = 76.1  
Etilenglicol (EG) = 62  
Anhídrido Maléico (AM) = 98  
Anhídrido Ftálico (AF) = 148.1  
Estireno = 104  
Monoéster de EG y AM = 142  
Monoéster de DG y AM = 186  
Monoéster de PG y AM = 156.1

Monoéster de EG y AF = 192.1  
Monoéster de DG y AF = 236.2  
Monoéster de PG y AF = 206.2  
Poliéster de EG y AM = 246  
Poliéster de DG y AM = 290  
Poliéster de PG y AM = 260.1  
Poliéster de EG y AF = 296.1  
Poliéster de DG y AF = 340.2  
Poliéster de PG y AF = 310.2

Los cálculos utilizados para la obtención del balance teórico de materiales se muestran a continuación. Puede observarse que se presentan dos escenarios, en el primero de ellos los anhídridos maléico y ftálico son considerados los reactivos limitantes de la primera reacción. En lo que se refiere a los resultados obtenidos en este escenario puede notarse que del balance teórico y el real de la empresa existe una gran diferencia en cuanto a la cantidad de estireno utilizada, ya que teóricamente se requiere una mayor cantidad que la aplicada. Esto hace suponer que el producto debe contener una cantidad significativa de monoéster sin reaccionar, además de glicoles y anhídridos que no reaccionan por las relaciones estequiométricas inexactas en su aplicación. En el segundo escenario se parte de la suposición de que el estireno es el reactivo limitante, es decir, se pretende determinar que cantidades de las otras materias primas deben ser utilizadas si únicamente se usaran 880 kg de estireno, tal cual como se está haciendo actualmente en la empresa. Con ello se busca determinar los excesos de materia prima que están siendo añadidos a las reacciones del proceso e ilustrar la magnitud del problema. El tercer escenario supone una producción cuyo volumen es el mismo al que actualmente se obtiene pero en donde la dosificación de materias primas es correcta.

---

<sup>57</sup> Los pesos moleculares que se indican se obtienen considerando que una mol de glicol y una mol de anhídrido formarán una mol de monoéster más una mol de agua; también que una mol de monoéster y una mol de estireno producirán una mol de poliéster.

## Escenario 1: Anhídridos como reactivos limitantes

### Consideraciones

Compuesto	Volumen (kg)	Peso molecular	kmol/3 glicoles	kmol / glicol	k / glicol
<i>Reactivos limitantes</i>					
Anhídrido maléico	1217	98	12.41836735	4.139455782	405.6666667
Anhídrido ftálico	1217	148.1	8.217420662	2.739140221	405.6666667
			kmol / anhídrido		k / anhídrido
Etilenglicol	252	62	4.064516129		252
Dietilenglicol	968	106.1	9.123468426		968
Propilenglicol	710	76.1	9.329829172		710
H <sub>2</sub> O		18			
			kmol / monoéster		k / monoéster
Estireno	880	104	8.461538462		880

### Primera Reacción

	1 mol AM	+	1 mol G	=	1 mol monoéster	+	1 mol agua	Entra	Sale
Etilenglicol	98.0		62.0		142.0		18.0	160.0	160.0
Dietilenglicol	98.0		106.1		186.1		18.0	204.1	204.1
Propilenglicol	98.0		76.1		156.1		18.0	174.1	174.1
	4.14 moles		4.14 moles		4.14 moles		4.14 moles		
Etilenglicol (kg)	405.666667		256.646259		587.802721		74.510204	662.312925	662.312925
Dietilenglicol (kg)	405.666667		439.196259		770.352721		74.510204	844.862925	844.862925
Propilenglicol (kg)	405.666667		315.012585		646.169048		74.510204	720.679252	720.679252
	<b>1217.000000</b>		<b>1010.855102</b>		<b>2004.324490</b>		<b>223.530612</b>	<b>2227.855102</b>	<b>2227.855102</b>

	1 mol AF	+	1 mol G	=	1 mol monoéster	+	1 mol agua	Entra	Sale
Etilenglicol	148.1		62.0		192.1		18.0	210.1	210.1
Dietilenglicol	148.1		106.1		236.2		18.0	254.2	254.2
Propilenglicol	148.1		76.1		206.2		18.0	224.2	224.2
	2.74 moles		2.74 moles		2.74 moles		2.74 moles		
Etilenglicol (kg)	405.666667		169.826694		526.188836		49.304524	575.493360	575.493360
Dietilenglicol (kg)	405.666667		290.622777		646.984920		49.304524	696.289444	696.289444
Propilenglicol (kg)	405.666667		208.448571		564.810713		49.304524	614.115237	614.115237
	<b>1217.000000</b>		<b>668.898042</b>		<b>1737.984470</b>		<b>147.913572</b>	<b>1885.898042</b>	<b>1885.898042</b>

**1ª reacción**      **2434.000000**    **1679.753144**      **3742.308960**    **371.444184**    **4113.753144**    **4113.753144**

### Segunda Reacción

	1 mol ME	+	1 mol estireno	=	1 mol poliéster	Entra	Sale
EG y AM	142.0		104.0		246.0	246.0	246.0
DG y AM	186.1		104.0		290.1	290.1	290.1
PG y AM	156.1		104.0		260.1	260.1	260.1
EG y AF	192.1		104.0		296.1	296.1	296.1
DG y AF	236.2		104.0		340.2	340.2	340.2
PG y AF	206.2		104.0		310.2	310.2	310.2
	4.14 moles		4.14 moles		4.14 moles		
EG y AM (kg)	587.802721		430.503401		1018.306122	1018.306122	1018.306122
DG y AM (kg)	770.352721		430.503401		1200.856122	1200.856122	1200.856122
PG y AM (kg)	646.169048		430.503401		1076.672449	1076.672449	1076.672449
	2.74 moles		2.74 moles		2.74 moles		
EG y AF (kg)	526.188836		284.870583		811.059419	811.059419	811.059419
DG y AF (kg)	646.984920		284.870583		931.855503	931.855503	931.855503
PG y AF (kg)	564.810713		284.870583		849.681296	849.681296	849.681296

**2ª reacción**      **3742.308960**    **2146.121953**      **5888.430913**    **5888.430913**    **5888.430913**

## Escenario 2: Estireno como reactivo limitante

### Consideraciones

Compuesto	Volumen (kg)	Peso molecular	kmol/3 glicoles	kmol / glicol	k / glicol
Anhídrido maléico	499.0210359	98	5.092051386	1.697350462	166.3403453
Anhídrido ftálico	499.0210359	148.1	3.369487075	1.123162358	166.3403453
			kmol / anhídrido		k / anhídrido
Etilenglicol	174.8717949	62	2.820512821		174.8717949
Dietilenglicol	299.2564103	106.1	2.820512821		299.2564103
Propilenglicol	214.6410256	76.1	2.820512821		214.6410256
H <sub>2</sub> O		18			
<i>Reactivo limitante</i>			kmol / 3 monoéster	kmol/monoéster	k / monoéster
Estireno	880	104	8.461538462	2.820512821	880
				1.697350462	
				1.123162358	

### Primera Reacción

1 mol AM + 1 mol G = 1 mol monoéster + 1 mol agua					Entra	Salie
Etilenglicol	98.0	62.0	142.0	18.0	160.0	160.0
Dietilenglicol	98.0	106.1	186.1	18.0	204.1	204.1
Propilenglicol	98.0	76.1	156.1	18.0	174.1	174.1
		1.70 moles	1.70 moles	1.70 moles		
Etilenglicol (kg)	166.340345	105.235729	241.023766	30.552308	271.576074	271.576074
Dietilenglicol (kg)	166.340345	180.088884	315.876921	30.552308	346.429229	346.429229
Propilenglicol (kg)	166.340345	129.168370	264.956407	30.552308	295.508715	295.508715
	<i>499.021036</i>	<i>414.492983</i>	<i>821.857094</i>	<i>91.656925</i>	<i>913.514019</i>	<i>913.514019</i>



Etilenglicol	148.1	62.0	192.1	18.0	210.1	210.1
Dietilenglicol	148.1	106.1	236.2	18.0	254.2	254.2
Propilenglicol	148.1	76.1	206.2	18.0	224.2	224.2
		1.12 moles	1.12 moles	1.12 moles		
Etilenglicol (kg)	166.340345	69.636066	215.759489	20.216922	235.976412	235.976412
Dietilenglicol (kg)	166.340345	119.167526	265.290949	20.216922	285.507872	285.507872
Propilenglicol (kg)	166.340345	85.472655	231.596078	20.216922	251.813001	251.813001
	<i>499.021036</i>	<i>274.276248</i>	<i>712.646516</i>	<i>60.650767</i>	<i>773.297284</i>	<i>773.297284</i>

1ª reacción      *998.042072*      *688.769231*      *1534.503610*      *152.307692*      *1686.811302*      *1686.811302*

### Segunda Reacción



				Entra	Salie
EG y AM	142.0	104.0	246.0	246.0	246.0
DG y AM	186.1	104.0	290.1	290.1	290.1
PG y AM	156.1	104.0	260.1	260.1	260.1
EG y AF	192.1	104.0	296.1	296.1	296.1
DG y AF	236.2	104.0	340.2	340.2	340.2
PG y AF	206.2	104.0	310.2	310.2	310.2
	1.70 moles	1.70 moles	1.70 moles		
EG y AM (kg)	241.023766	176.524448	417.548214	417.548214	417.548214
DG y AM (kg)	315.876921	176.524448	492.401369	492.401369	492.401369
PG y AM (kg)	264.956407	176.524448	441.480855	441.480855	441.480855
	1.12 moles	1.12 moles	1.12 moles		
EG y AF (kg)	215.759489	116.808885	332.568374	332.568374	332.568374
DG y AF (kg)	265.290949	116.808885	382.099834	382.099834	382.099834
PG y AF (kg)	231.596078	116.808885	348.404964	348.404964	348.404964

2ª reacción      *1534.503610*      *880.000000*      *2414.503610*      *2414.50361*      *2414.50361*

### Escenario 3: Misma producción con relación estequiométrica correcta

#### Consideraciones

Compuesto	Volumen (kg)	Peso molecular	kmol/3 glicoles	kmol / glicol	k / glicol
<b>Reactivos limitantes</b>					
Anhidrido maléico	1019.501862	98	10.40308023	3.467693408	339.833954
Anhidrido ftálico	1019.501862	148.1	6.883874828	2.294624943	339.833954
			kmol / anhidrido		k / anhidrido
Etilenglicol	357.263738	62	5.762318351		357.2637378
Dietilenglicol	611.381977	106.1	5.762318351		611.381977
Propilenglicol	438.512427	76.1	5.762318351		438.5124265
H <sub>2</sub> O		18			
			kmol / monoéster		k / monoéster
Estireno	1797.843326	104	17.28695505		1797.843326

#### Primera Reacción



Etilenglicol	98.0	62.0	142.0	18.0	160.0	160.0
Dietilenglicol	98.0	106.1	186.1	18.0	204.1	204.1
Propilenglicol	98.0	76.1	156.1	18.0	174.1	174.1
	3.47 moles	3.47 moles	3.47 moles	3.47 moles		
Etilenglicol (kg)	339.833954	214.996991	492.412464	62.418481	554.830945	554.830945
Dietilenglicol (kg)	339.833954	367.922271	645.337743	62.418481	707.756225	707.756225
Propilenglicol (kg)	339.833954	263.891468	541.306941	62.418481	603.725422	603.725422
	<b>1019.501862</b>	<b>846.810730</b>	<b>1679.057148</b>	<b>187.255444</b>	<b>1866.312592</b>	<b>1866.312592</b>



Etilenglicol	148.1	62.0	192.1	18.0	210.1	210.1
Dietilenglicol	148.1	106.1	236.2	18.0	254.2	254.2
Propilenglicol	148.1	76.1	206.2	18.0	224.2	224.2
	2.29 moles	2.29 moles	2.29 moles	2.29 moles		
Etilenglicol (kg)	339.833954	142.266746	440.797451	41.303249	482.100700	482.100700
Dietilenglicol (kg)	339.833954	243.459706	541.990411	41.303249	583.293660	583.293660
Propilenglicol (kg)	339.833954	174.620958	473.151663	41.303249	514.454912	514.454912
	<b>1019.501862</b>	<b>560.347411</b>	<b>1455.939526</b>	<b>123.909747</b>	<b>1579.849273</b>	<b>1579.849273</b>

1ª reacción      2039.003724      1407.158141      3134.996674      311.165191      3446.161865      3446.161865

#### Segunda Reacción



EG y AM	142.0	104.0	246.0	246.0	246.0
DG y AM	186.1	104.0	290.1	290.1	290.1
PG y AM	156.1	104.0	260.1	260.1	260.1
EG y FF	192.1	104.0	296.1	296.1	296.1
DG y FF	236.2	104.0	340.2	340.2	340.2
PG y FF	206.2	104.0	310.2	310.2	310.2
	3.47 moles	3.47 moles	3.47 moles		
EG y AM (kg)	492.412464	360.640114	853.052578	853.052578	853.052578
DG y AM (kg)	645.337743	360.640114	1005.977858	1005.977858	1005.977858
PG y AM (kg)	541.306941	360.640114	901.947056	901.947056	901.947056
	2.29 moles	2.29 moles	2.29 moles		
EG y FF (kg)	440.797451	238.640994	679.438446	679.438446	679.438446
DG y FF (kg)	541.990411	238.640994	780.631406	780.631406	780.631406
PG y FF (kg)	473.151663	238.640994	711.792657	711.792657	711.792657

2ª reacción      3134.996674      1797.843326      4932.840000      4932.840000      4932.840000

## Balance de Energía

### Balance de Calor

Determinación de Cp de la mezcla de reacción								
	Cp Mezcla	Cp Tolueno	Cp EG	Cp DG	Cp PG	Cp AF	Cp AM	
Fase 1	0.50502602	0.03472212	0.06781895	0.23218440	0.17030054			
Fase 2	0.35984088	0.01601841	0.03128703	0.10711401	0.07856503	0.06140820	0.06544821	
Fase 3	0.35595399		0.03239097	0.11089345	0.08133714	0.06357494	0.06775750	
Fase 4	0.35595399		0.03239097	0.11089345	0.08133714	0.06357494	0.06775750	
Calor requerido por la mezcla								
	m (kg)	Cp (kcal/kg °C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	Q (kcal/t)	t (s)	Q (kcal/s)	Q (kJ/s)
Fase 1	2084.55	0.5050	80	10	73,693	4680	15.7463	65.8825
Fase 2	4518.55	0.3598	100	60	65,038	1800	36.1324	151.1781
Fase 3	4364.55	0.3560	190	155	54,375	11700	4.6475	19.4450
Fase 4	4364.55	0.3560	210	190	31,072	5400	5.7540	24.0747
Determinación del flujo de aceite								
	5.4540	0.6625	280	270			36.1324	
Calor proporcionado por el aceite								
	m (kg/s)	Cp (kcal/kg °C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	Q (kcal/t)	t (s)	Q (kcal/s)	Q (kJ/s)
aceite	5.4540	0.5475	280	10	806	1	806.2302	3373.2673
Fase 1					3,773,158	4680		15,786,891
	m (kg/s)	Cp (kcal/kg °C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	Q (kcal/t)	t (s)	Q (kcal/s)	Q (kJ/s)
	5.4540	0.5475	280	270	29.8604	1	29.8604	124.9358
Fase 2					65,038	1,800		272,120
Fase 3					349,366	11,700		1,461,749
Fase 4					161,246	5,400		674,653
Diferencia entre calor proporcionado y requerido								
	Proporcionado Q (kcal/t)	Requerido Q (kcal/t)	Diferencia Q (kcal/t)	Proporcionado Q (kJ/t)	Requerido Q (kJ/t)	Diferencia Q (kJ/t)		
Fase 1	3,773,158	73,693	3,699,465	15,786,891	308,330	15,478,561		
Fase 2	65,038	65,038	0	272,120	272,120	0		
Fase 3	349,366	54,375	294,991	1,461,749	227,506	1,234,243		
Fase 4	161,246	31,072	130,174	674,653	130,003	544,650		
Total	<b>4,348,808</b>	<b>224,178</b>	<b>4,124,631</b>	<b>18,195,414</b>	<b>937,960</b>	<b>17,257,454</b>		

#### Nomenclatura:

Cp - Capacidad calorífica  
 EG - Etilenglicol  
 DG - Dietilenglicol  
 PG - Propilenglicol  
 AF - Anhídrido ftálico  
 AM - Anhídrido maléico

m - Masa  
 T - Temperatura  
 Q - Energía  
 kcal - kilocaloría  
 kJ - kilojoule  
 t - Tiempo de operación

Las consideraciones hechas para la elaboración del balance de energía se mencionan en el capítulo 4 de este documento.

*Cálculo de pérdidas de calor en la tubería del sistema de calentamiento del reactor*

	Con aislamiento Escenario 1			Con aislamiento deficiente Escenario 2			Con más aislamiento Escenario 3			Con tubería más corta Escenario 3		
	Entrada	Salida	Total	Entrada	Salida	Total	Entrada	Salida	Total	Entrada	Salida	Total
2π	6.283185307	6.28318531		6.283185307	6.283185307		6.28318531	6.28318531		6.28318531	6.28318531	
ln 2	0.693147181	0.69314718		0.693147181	0.693147181		0.91629073	0.91629073		0.69314718	0.69314718	
K (Btu in/(h ft <sup>2</sup> °F))	0.55	0.55		0.72	0.72		0.55	0.55		0.55	0.55	
L (ft)	36.09	36.09	72.18	36.09	36.09	72.18	36.09	36.09	72.18	26.25	26.25	52.49
T <sub>1</sub> (°F)	536	518		536	518		536	518		536	536	
T <sub>2</sub> (°F)	59	59		59	59		59	59		59	59	
T (°F)	477	459		477	459		477	459		477	477	
Q (Btu in/(h ft <sup>2</sup> ))	85824.88	82586.20	168411.08	112352.57	108112.85	220465.42	64924.01	62474.05	127398.07	62418.09	62418.09	124836.19
t (h)	6.5	6.5		6.5	6.5		6.5	6.5		6.5	6.5	
Btu	6694340.54	6441723.92		8763500.34	8432802.22		5064073.13	4872976.03	9937049.15	4868611.30	4868611.30	9737222.60
Q (MJ)	7,061.19	6,794.73	13,855.92	9,243.74	8,894.92	18,138.66	5,341.58	5,140.02	10,481.60	5,135.41	5,135.41	10,270.82
Costo			\$1,060.02			\$1,387.66			\$801.87			\$785.75
Costo anual			\$101,761.60			\$133,215.18			\$76,979.68			\$75,431.67

*Cálculo del consumo energético del equipo eléctrico utilizado en el proceso*

	factor de conversión	hp	kW	horas	total (kWh)	MJ
consumo bombas						
sumergible en cisternas	0.746	0.125	0.093	4.00	0.373	1.3428
de engranes para estireno	0.746	1.000	0.746	0.25	0.187	0.6714
centrífuga de tina de glicoles a reactor	0.746	3.000	2.238	0.20	0.448	1.61136
centrífuga para enfriamiento de tanque de cor	0.746	1.500	1.119	5.00	5.595	20.142
circulación de aceite	0.746	10.000	7.460	6.50	48.490	174.564
ventilador aire cámara de combustión	0.746	2.000	1.492	6.80	10.146	36.52416
consumo reactor	0.746	3.000	2.238	3.00	6.714	24.1704
consumo tanque de corte	0.746	7.500	5.595	5.00	27.975	100.71
Consumo total / lote					99.927	359.73612
\$ / kWh						\$ 1.31
\$ electricidad / lote						\$ 130.81

*Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> a partir del consumo de combustible en el proceso*

	Gas Ip	Propano	Butano
Masa (kg)	480	96	384
Densidad (g/l)	1.96554	1.5617	2.0665
Volumen (m <sup>3</sup> )	244.208	61.471	185.821

Gas	Requerimientos	Factor de emisión		Producto		
		Entra	Sale			
Propano	O <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> combustible)	5.00				
	N <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> combustible)	18.82	18.82	1156.893	1156.893	
	Aire (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> combustible)	23.82				
	CO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> combustible)		3.00	<i>184.414</i>	<i>184.414</i>	
	H <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> combustible)		4.00	245.886	245.886	
Butano	O <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> combustible)	6.50				
	N <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> combustible)	24.47	24.47	4547.051		4547.051
	Aire (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> combustible)	30.97				
	CO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> combustible)		4.00	<i>743.286</i>		<i>743.286</i>
	H <sub>2</sub> O (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> combustible)		5.00	929.107		929.107
	Gases de combustión (m <sup>3</sup> )			7806.637	1587.193	6219.444
	CO <sub>2</sub> total (m <sup>3</sup> )			927.700	184.414	743.286

Los factores de emisión utilizados en el cálculo anterior fueron obtenidos del Ing. Alejandro Villalobos Iriarte, Gerente industrial de Petróleos Mexicanos.

Utilizando el valor teórico<sup>58</sup> para el volumen total de gases de combustión y los valores obtenidos experimentalmente para la composición de éstos se obtiene que las emisiones generadas por el calentador de aceite térmico son las siguientes:

CO <sub>2</sub>	590.95 m <sup>3</sup>
O <sub>2</sub>	580.02 m <sup>3</sup>
N <sub>2</sub>	6,633.18 m <sup>3</sup>
CO	2.34 m <sup>3</sup>

<sup>58</sup> Los valores teóricos se obtienen considerando una combustión completa en el quemador del calentador de aceite térmico. La presencia de CO en los valores medidos es indicativa de una deficiencia en la mezcla de combustión, por lo que conviene ajustar la relación aire-combustible alimentada al quemador.

### **ANEXO 3: CERTIFICACIÓN DE LA EMPRESA EN ISO 9000 € ISO 14000**

La Organización Internacional de Normas (ISO por sus siglas en inglés) fue fundada en 1946 con el propósito de desarrollar normas voluntarias de carácter internacional para las actividades de fabricación, comercio y comunicación. La organización se integra por más de 200 comités técnicos que trabajan en áreas específicas y las series más famosas por su impacto en el área industrial han sido la 9000 sobre sistemas de calidad total y la 14000 sobre aspectos ambientales, especialmente la norma 14001 sobre sistemas de administración ambiental.

La gran mayoría de las normas ISO son específicas para un producto, material o proceso en particular. Una de las características distintivas de la series ISO 9000 y de las normas ISO 14001 y 14004 es que son normas genéricas de sistemas de administración, por lo que son aplicables a cualquier organización, producto o actividad. Estas normas proporcionan a las empresas un modelo a seguir para el establecimiento y operación del sistema. Además estas normas incluyen lineamientos relacionados con las herramientas y terminología asociadas a los sistemas de administración de que tratan.

ISO 9000 está dirigida hacia la administración de la calidad, la cual es referida a todas aquellas propiedades de un producto (o servicio) que son requeridas por el cliente. La administración de la calidad significa lo que la empresa puede hacer para garantizar que sus productos cumplan con dichos requerimientos. ISO 14000 se enfoca hacia la administración ambiental de la empresa; es decir, sobre lo que la organización hace para reducir los impactos ambientales ocasionados por las actividades de la misma.

Es importante hacer notar que ambas, tanto ISO 9000 como ISO 14000 se orientan hacia la forma en que la organización hace su trabajo y no directamente en el resultado de dicho trabajo. Lo que se pretende es influir en todo aquello en lo que pueda hacerse algo para cumplir con la calidad requerida en el producto y para reducir los impactos ambientales negativos que la actividad de la empresa pueda producir.

#### **ISO 9000**

Esta serie fue publicada a principios de 1987 y existen tres alternativas distintas para que una empresa pueda ser certificada dependiendo de las actividades de la misma. La empresa puede escoger la norma que considere apropiada de las siguientes:



Norma de la serie ISO 9000	Aspecto que trata
9001	Sistemas de administración de calidad en organizaciones cuyo proceso incluye el diseño y desarrollo del producto, la producción del mismo y los servicios asociados al cliente.
9002	Sistemas de administración de calidad en organizaciones cuyo proceso no incluye el diseño y desarrollo del producto, pero sí la producción del mismo y los servicios asociados al cliente.
9003	Sistemas de administración de calidad en organizaciones cuyo proceso incluye básicamente controles de inspección y prueba para garantizar la calidad del producto o servicio de que se trate.

## ISO 14000

Esta serie ha venido siendo publicada desde 1997, iniciando con las normas 14001 y 14004. ISO 14001 es la única norma que requiere certificación por terceras partes. Todas las demás son guías.

Norma de la serie ISO 14000	Aspecto que trata
14001 y 14004	Sistemas de administración ambiental
14010 – 14015	Auditorías ambientales
14020 – 14025	Etiquetado ambiental
14031 – 14032	Desempeño ambiental
14040 – 14043	Análisis de ciclo de vida
14050	Glosario
14060	Aspectos ambientales en normas de productos

## Certificación

La certificación es un proceso de evaluación de un sistema de administración (en el caso de ISO 9000 e ISO 14000) en relación con los requerimientos de las normas ISO de que se trate, así como la posterior expedición de un certificado que confirma el cumplimiento de dicho sistema con los requerimientos antes mencionados.

La existencia de una tercera parte que audita y certifica al sistema de la organización favorece la credibilidad del procedimiento ante los clientes, así como el seguimiento imparcial de sus metas y objetivos que promueve un proceso de mejora continua. En ello la organización se beneficia de estrategias administrativas dirigidas hacia el mejoramiento en áreas importantes de su quehacer, así como de una auditoría y un control consistentes.

Un beneficio adicional se obtiene de uno de los principales agentes que promueven la instrumentación de estos sistemas de administración de las empresas, los clientes. Cada vez más, las exigencias de los clientes a sus proveedores se orientan más hacia aspectos que tradicionalmente no eran considerados en sus relaciones y que tiene que ver no sólo con el producto, sino con el desempeño de las empresas en otros campos como el ambiental. De esta manera, la certificación ISO funciona muchas veces como una herramienta competitiva más para la apertura de mercados antes inexistentes.

### **Requerimientos en la empresa para obtener la certificación ISO 9000 e ISO 14000**

La secuencia típica para la obtención de los certificados ISO 9000 e ISO 14000 es precisamente esa, primero ISO 9000 y después ISO 14000; sin embargo esto no quiere decir que necesariamente debe ser así. Probablemente la razón de ello es que cronológicamente fueron las normas ISO 9000 las que aparecieron primero. Lo cierto es que una vez obtenida la certificación ISO 9000 será mucho más fácil conseguir la siguiente debido a que ambas series tienen mucho en común y muchas necesidades estarán ya cubiertas cuando se haya tomado la decisión de solicitar la certificación en ISO 14000. Debido a que las actividades de la empresa contemplan el diseño de productos en una forma regular, a continuación se presentan brevemente los requerimientos de la norma ISO 9001 la cual es presumiblemente la más adecuada para este caso, y de la norma ISO 14001 que es la única que requiere certificación en esta serie hasta este momento.

#### Requerimientos de ISO 9001 Sistemas de Calidad: Aseguramiento de la Calidad en el Diseño, Producción, Instalación y Servicio

Para obtener la certificación en esta norma la empresa deberá demostrar que posee los sistemas y procedimientos necesarios para garantizar la buena calidad de sus productos y para controlar su producción, además de que dichos sistemas y procedimientos son conocidos y entendidos por todas aquellas personas involucradas con ellos.

Los criterios que serán examinados por el certificador independiente incluyen los siguientes:

- Contar con una política de calidad para la empresa que esté documentada y que incluya un compromiso para la mejora continua, la cual debe ser conocida y entendida dentro de la empresa, y debe ser instrumentada y mantenida. Las responsabilidades y la autoridad sobre los aspectos de calidad deberán haber sido asignadas.

- Establecer y mantener un sistema de calidad que incluya procedimientos para garantizar que los productos cumplen con las especificaciones establecidas. En este punto se da especial importancia a los planes, técnicas, equipo, controles, pruebas, recursos y pruebas necesarios para lograr dicha calidad.
- Establecer y mantener procedimientos para la revisión de contratos con clientes en los que se garantice que los requerimientos contractuales están apropiadamente definidos y documentados y que pueden ser cumplidos.
- Establecer y mantener procedimientos de control para la documentación relacionada con el sistema, así como para su mantenimiento.
- Establecer y mantener procedimientos documentales para garantizar la calidad de los productos adquiridos. Estos incluyen documentación sobre el tipo y especificaciones de las materias primas y de la normatividad aplicable a cada uno de ellos, también procedimientos de verificación, almacenamiento y mantenimiento de los materiales.
- Establecer y mantener procedimientos para la identificación y seguimiento de los materiales y productos en todas las fases de la producción, entrega e instalación (en su caso), ya sea mediante números de identificación o reportes.
- Identificar los procesos que afectan la calidad de los productos y establecer condiciones de control en aspectos tales como las instrucciones, equipo, ambiente, normas y monitoreo.
- Demostrar el cumplimiento de las especificaciones del producto mediante el uso de equipo calibrado y mantenido adecuadamente de forma tal que la precisión de las mediciones se encuentre dentro de límites aceptables. Establecer y mantener procedimientos para la inspección, medición y prueba de los equipos en forma independiente y documentada.
- Establecer y mantener procedimientos documentados para la identificación y disposición de productos que no cumplen con las especificaciones.
- Establecer procedimientos documentados preventivos para evitar el incumplimiento de especificaciones en los productos.
- Establecer y mantener procedimientos para el manejo, almacenamiento, empaque y entrega de los productos que eviten su daño o deterioro durante estas etapas.
- Establecer y mantener registros de calidad.
- Establecer y mantener un programa para realizar auditorías periódicas del sistema de calidad.
- Identificar las necesidades de capacitación y atenderlas.
- Identificar y utilizar técnicas estadísticas apropiadas para la verificación de la aceptabilidad del control del proceso y de las características de los productos.

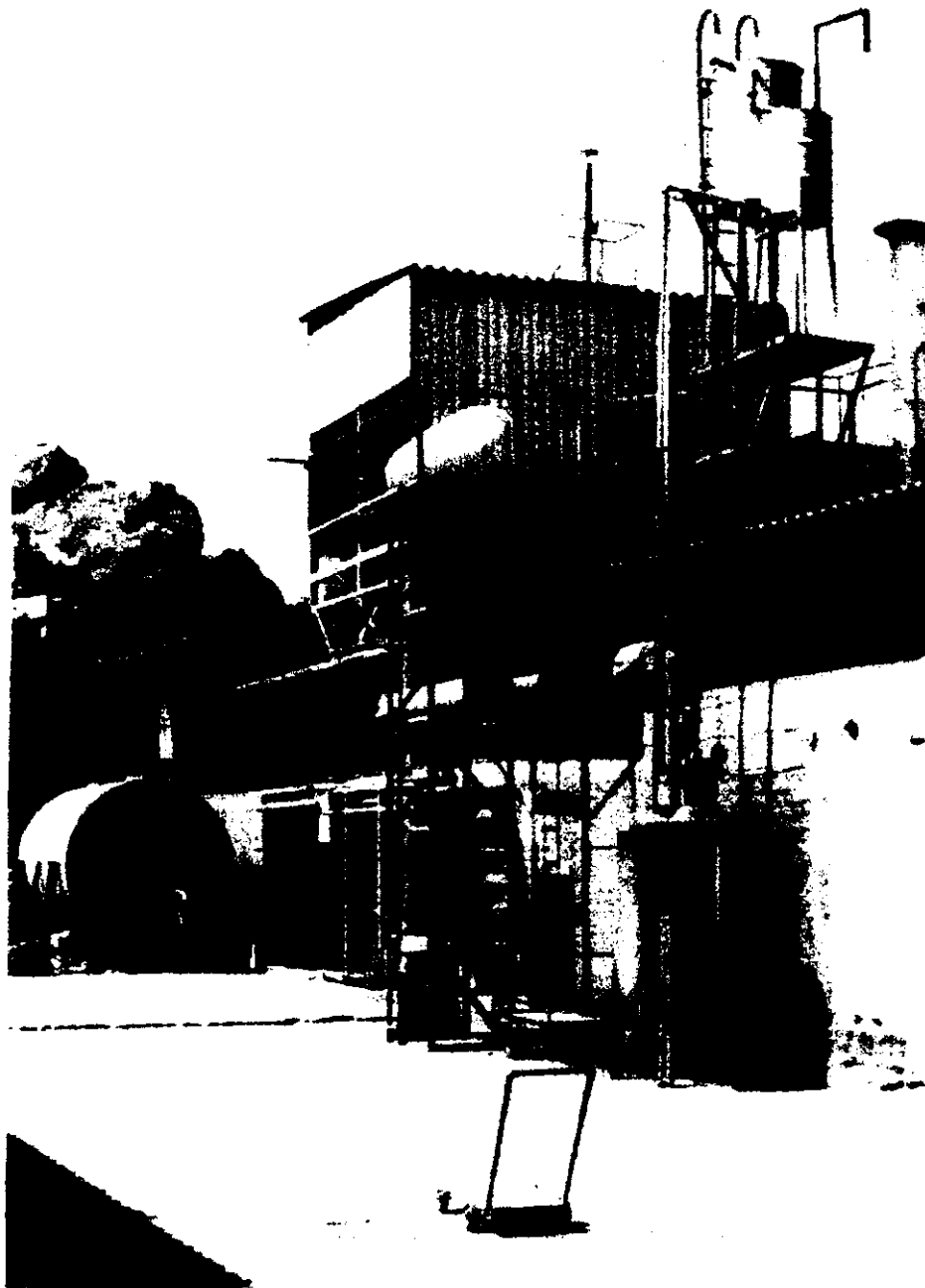
#### Requerimientos de ISO 14001 Sistemas de Administración Ambiental:

Para obtener la certificación en esta norma la empresa deberá demostrar que posee los sistemas y procedimientos necesarios para atender su desempeño ambiental, y que dichos sistemas y procedimientos son conocidos y entendidos por todas aquellas personas involucradas con ellos.

Los criterios que serán examinados por el certificador independiente incluyen los siguientes:

- Contar con una política ambiental para la empresa que incluya un compromiso para la mejora continua y la prevención de la contaminación, así como para cumplir con la legislación ambiental aplicable. Dicha política ambiental debe estar disponible para el público en general.
- Establecer y mantener un procedimiento para identificar los aspectos ambientales relacionados con las actividades, productos o servicios de la empresa.
- Establecer y mantener un procedimiento para identificar y tener acceso a la legislación ambiental aplicable a las actividades de la empresa.
- Establecer y documentar objetivos y metas ambientales para la empresa.
- Establecer y mantener programas para alcanzar dichas metas y objetivos, estableciendo los medios para alcanzarlos, el tiempo en el cual deban alcanzarse y las responsabilidades para el personal involucrado.
- Identificar las necesidades de capacitación y atenderlas.
- Establecer y mantener procedimientos de comunicación dentro y fuera de la empresa.
- Documentar la información sobre el sistema de administración ambiental y establecer procedimientos para su control y mantenimiento.
- Establecer y mantener procedimientos para identificar situaciones potenciales de emergencia y para responder a ellas.
- Establecer y mantener procedimientos documentados para dar seguimiento regular a los aspectos ambientales relevantes de las actividades de la empresa.
- Establecer y mantener procedimientos para definir responsabilidades y autoridad en el caso de no cumplir con los diversos aspectos del sistema de administración ambiental.
- Establecer y mantener procedimientos para la identificación, mantenimiento y eliminación de registros ambientales.
- Establecer y mantener un programa para realizar auditorías periódicas del sistema de administración ambiental.

ANEXO 4: MEMORIA FOTOGRÁFICA



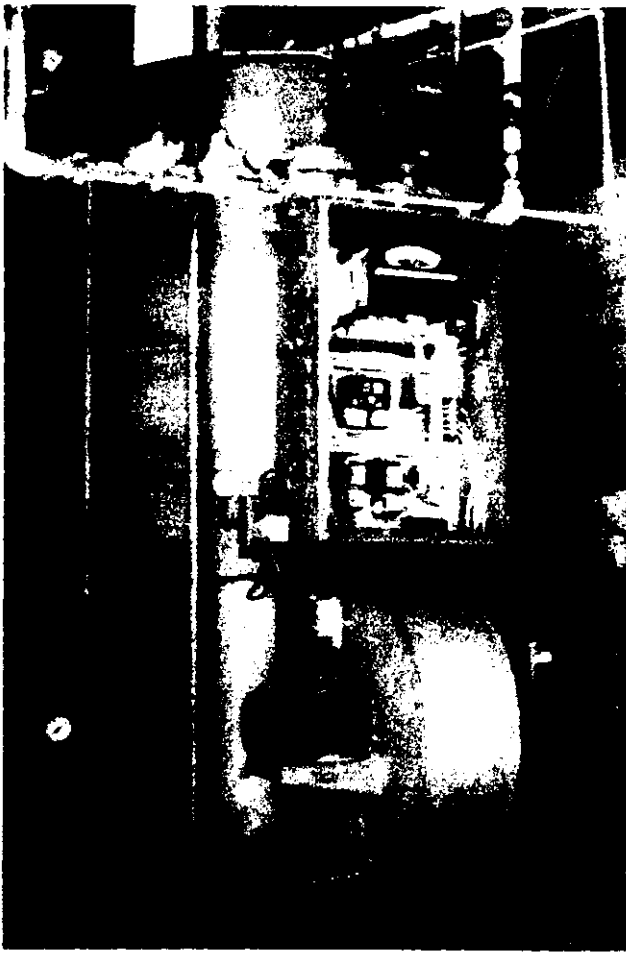
Vista del patio central de la planta



Cisternas de calentamiento de glicoles

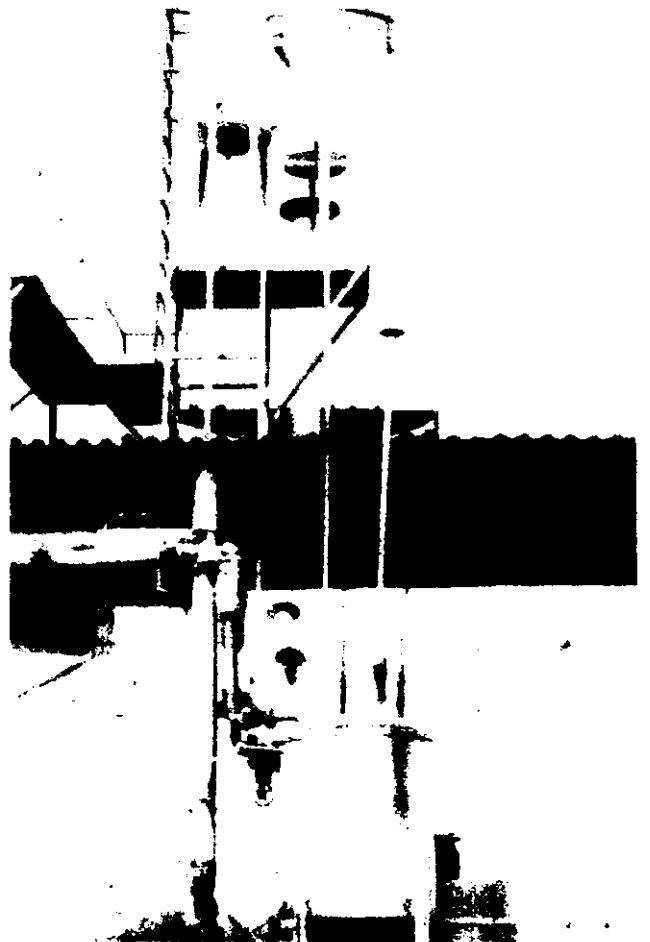
Reactor y tanque de corte





Calentador de aceite térmico

Vista parcial del sistema de calentamiento





Muestra de éster

Detalle de la tubería del sistema de calentamiento

