



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

166  
2ef.

FACULTAD DE QUÍMICA



EXÁMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUÍMICA

"REALIZACIÓN DE UNA AUDITORÍA AMBIENTAL EN  
UNA PLANTA QUE FABRICA RESINA POLIÉSTER  
INSATURADA, BASADA EN EL MÉTODO PROPUESTO  
POR LAS NACIONES UNIDAS"

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

ELIZABETH VERASTEGUI BARRANCO

MÉXICO, D.F.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

"REALIZACIÓN DE UNA AUDITORÍA AMBIENTAL EN  
UNA PLANTA QUE FABRICA RESINA POLIÉSTER  
INSATURADA, BASADA EN EL MÉTODO PROPUESTO  
POR LAS NACIONES UNIDAS"

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

ELIZABETH VERASTEGUI BARRANCO

MÉXICO, D.F.

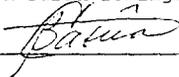
1997

**Jurado asignado:**

Presidente:	Prof. Durán Domínguez Ma. del Carmen
Vocal:	Prof. Saldívar Guerra Enrique
Secretario:	Prof. Luna Pabello Víctor Manuel
1er. Suplente:	Prof. Calderón Villagómez Hilda E.
2o. Suplente:	Prof. Ramírez Burgos Landy Irene

Sitio donde se desarrollo el tema: Mexicana de Resinas  
S.A. de C.V.

Asesor del tema: Dra-Ing. Ma. del Carmen Durán Domínguez



---

Supervisor técnico: I.Q.I. Roberto Morales Arteaga



---

Sustentante: Elizabeth Verastegui Barranco



---

## AGRADECIMIENTOS

### A mi Dios:

Que me dió la oportunidad de vivir, crecer, porque cada vez que miro el cielo me inundas de energía.

### A mis padres:

Esta es la oportunidad que se me presenta para hacer constar el valor y la integridad de una pareja, quienes ofrecieron su juventud y sus ratos de alegría por sus hijas, quienes paso a paso han venido dando luz de lo que ellos han deseado siempre: abandonar la obscuridad de la ignorancia.

Mi respeto, cariño y admiración a estos maravillosos seres. Gracias por su confianza que me han brindado para que cumpla cada uno de mis sueños.

### A mi hija:

A mi gran amor que me ha dado entusiasmo para realizar grandes cosas y las fuerzas para seguir adelante. El alma de todos mis sueños: Liz.

Gracias Dios por prestarme una hermosa flor para cultivar en Tu jardín.

A mis hermanas (Carmen, Adriana y Karina):

Por estar a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida, por darme el coraje y apoyo para alcanzar mis ideales y por compartir conmigo la gran aventura de ser mamá.

Al Ing. Roberto Morales:

A ese gran ser humano que me enseñó el camino, que ahora debo seguir sola. Gracias por enseñarme a ser más humana y mejor profesionalista. Gracias por tus valiosos comentarios en la elaboración de este trabajo. "Con una vela encendida se pueden prender muchas otras, sin disminuir la primera". Sifre Beahaloteja.

Al Dr. Gustavo Carrasco:

Por mostrarme un mundo desconocido para mí.

A mi Facultad de Química y profesores:

Por formarme como profesionalista pero antes como ser humano.

A mi México:

Por este país maravilloso, por la juventud de tu gente.

A la Dra. Carmen Durán:

Por su ayuda, paciencia y conocimientos que me brindo durante este trabajo.

A los profesores sinodales:

Por su tiempo, comentarios y su siempre buena disponibilidad.

A mis amigas (Claudia, Yero, Pary, Selena y Sandra):

Por todo los momentos bellos y difiles que compartimos juntas.

A ARM:

A ese hombre en el que encontré la brisa del mar en su sonrisa, el esplendor de las estrellas en sus ojos, la calidez de la luna en su ternura que vino a suavizar los momentos más maravillosos de mi vida. Tu gaviota.

A la empresa Mexicana de Resinas:

Por permitirme realizar mi tesis y brindarme la información solicitada.

A la Ing. Marcelina Holasoa:

Por toda su ayuda prestada en la elaboración de este trabajo y su siempre buena disposición, así como a todo el personal de Mexicana de Resinas que me apoyó con sus valiosos comentarios.

Al Arg. Gilberto Rojas y al Ing. Juan Luis Thierry

Por todas sus facilidades otorgadas durante la captura de este trabajo.

A la humanidad:

Por que formemos una conciencia ecológica de que sólo tenemos un único mundo.

"El aire es de un valor incalculable, ya que todos los seres vivos compartimos el mismo aliento, todos: los árboles, los animales, los hombres... el primer soplo de la vida que recibieron los hombres vino de ese aliento".  
De la carta del jefe piel roja de Seattle al presidente de Estados Unidos.

**ELIZABETH VERASTEGUI BARRANCO**

## RESUMEN

En este trabajo se realizó un estudio general del proceso de fabricación de resina poliéster insaturada, basándose en el método propuesto por las Naciones Unidas, el cual se describe en el "Manual de Auditoría y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales", con el fin de conocer, cuantificar y tratar de disminuir los residuos generados en la empresa estudiada y, paralelamente obtener beneficios tanto ambientales como económicos.

Para el logro de los objetivos planteados se dividió el estudio en tres secciones que constan de lo siguiente:

Fase I. Preevaluación.- Consistente en un estudio general del proceso (materias primas, proceso, producto terminado, subproductos y residuos).

Fase II. Balance de materia.- El balance de materia se realizó con el fin de conocer con precisión aquellas áreas donde se están generando pérdidas de materia prima y producto terminado, las cuales también contribuyen al aumento de contaminantes.

Fase III. Discusión, análisis y síntesis.- Apoyándose en la información recabada en las fases I y II se proponen medidas para aumentar la eficiencia del proceso y, consecuentemente, disminuir la cantidad de residuos. Asimismo, se plantea un estudio breve de algunos equipos para el control de contaminantes.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	...5
índice de contenido	...6
índice de tablas	...10
índice de figuras	...11
<b>CAPÍTULO I</b>	
Introducción	...12
<b>CAPÍTULO II</b>	
Fundamentos	...18
<b>CAPÍTULO III</b>	
Fase I. Preevaluación	...21
Paso 1. Preparación y enfoque de la auditoría	...21
1.1. Datos generales de la empresa	...22
1.2. Datos generales del sitio	...24
1.3. Materia prima	...27
1.4. Productos	...31
1.5. Subproductos	...31
1.6. Residuos generados en el proceso	...32
Paso 2. Listado de operaciones unitarias	...42
2.1. Descripción del proceso de fabricación de resina poliéster insaturada	...42
2.2. Listado de operaciones unitarias	...49
Paso 3. Elaboración de diagramas de flujo	...50
3.1. Diagrama de flujo de proceso de resina poliéster insaturada	...50

3.2. Diagrama de bloques de la planta de tratamiento de agua	...53
3.3. Diagrama de bloques del sistema de calentamiento	...55

#### CAPÍTULO IV

Fase II. Balance de materia	...58
Paso 4. Delimitación de entradas	...58
Paso 5. Uso del agua durante el proceso	...61
Paso 6. Corrientes de recirculación y/o reuso	...63
Paso 7. Delimitación de salidas	...63
Paso 8. Cuantificación de agua residual	...64
Paso 9. Cuantificación de emisiones atmosféricas	...64
Paso 10. Cuantificación de residuos líquidos y sólidos	...67
Paso 11. Recopilación de información de entradas y salidas del proceso por operación unitaria	...67
Paso 12. Derivación preliminar del balance de materia por operación unitaria	...67
Paso 13. Evaluación del balance de materia	...68
Paso 14. Refinación del balance de materia	...68

#### CAPÍTULO V

Fase III. Discusión, análisis y síntesis	...69
Paso 15. Medidas al corto plazo	...70
15.1. Cambio de filosofía	...71
15.2. Ordenamiento de materia prima	...71
15.3. Recepción de materia prima	...72
15.4. Almacén de materia prima	...73
15.5. Carga de materia prima	...73

15.6. Transferencias y manejo de materia prima	...74
15.7. Control de proceso	...74
15.8. Mantenimiento	...77
15.9. Aplicación de medidas sobre consumo de agua	...78
Paso 16 Caracterización de los residuos de mayor problema en la empresa en estudio	...78
Paso 17 Segregación de residuos	...79
Paso 18 Medidas al mediano y largo plazos para la reducción de residuos	...79
18.1 Medidas al largo plazo para control de proceso	...80
18.2. Equipo de control de contaminantes	...82
18.3 Otras medidas al largo plazo	...98
Paso 19 Evaluación ambiental y económica	...100
19.1 Evaluación ambiental	...100
19.2 Evaluación económica	...101
Paso 20 Diseño e implantación de un plan de acción para la reducción de residuos y para alcanzar una mejor eficiencia	...103
<b>CAPÍTULO VI</b>	
Conclusiones	...105
<b>CAPÍTULO VII</b>	
Anexos	
Anexo 1. Aditivos usados en la fabricación de resina poliéster insaturada	...107
Anexo 2. Hojas de seguridad del producto	...115

Anexo 3. Análisis realizados para control de proceso en la fabricación de resina poliéster insaturada	...118
Anexo 4. Control de calidad de producto terminado	...120
Anexo 5. Tiempo total de operación del reactor-tanque diluidor 5, para producir resina M-70	...122
Anexo 6. Control de calidad en la recepción de materia prima	...123
<b>CAPÍTULO VIII</b>	
Glosario de términos	...127
<b>CAPÍTULO IX</b>	
Bibliografía	...130

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1a. Condiciones de agua de proceso antes de tratamiento (Ambientec, 1995)	...33
Tabla 1b. Características de los residuos sólidos (IPN ESIQIE, 1996)	...35
Tabla 2. Listado de operaciones unitarias	...50
Tabla 3. Lista de equipo	...51
Tabla 4. Almacén de materia prima y pérdidas por manejo	...58
Tabla 5. Datos de entrada a proceso, resina M-70. Reactor-tanque diluidor 5	...61
Tabla 6. Uso del agua en el proceso	...62
Tabla 7. Datos de salida, resina M-70, reactor-tanque diluidor 5	...63
Tabla 8. Condiciones del agua de proceso después de su tratamiento	...65
Tabla 9. Evaluación económica	...101

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Croquis de ubicación de la planta en estudio	...23
Fig. 2. Diagrama de flujo del proceso	...46
Fig. 3. Diagrama de distribución de equipo	...52
Fig. 4. Diagrama de bloques de planta de tratamiento de aguas	...54
Fig. 5. Diagrama de bloques del sistema de calentamiento	...56

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

Durante los últimos veinte años, los sistemas de control de la contaminación "al final de la tubería" han sido usados para controlar los contaminantes que son generados por los procesos industriales. Si bien esos sistemas de control son útiles, también poseen una gran cantidad de problemas: generación masiva de residuos, riesgos a la salud y el ambiente, altos costos de operación, etc.

Ahora se ha comprendido que es más seguro y menos costoso prevenir que controlar o curar la contaminación.

Esta es la razón por la que el UNEP (United Nations Environment Programme) está promoviendo el concepto de "Producción más limpia" (26).

"Producción más limpia" significa la aplicación continua de una estrategia integral de protección ambiental para procesos y productos, de tal manera que se reduzcan los riesgos para los seres humanos y el ambiente.

Para los procesos, "Producción más limpia" significa la conservación de los recursos naturales y la energía, eliminando materiales tóxicos y reduciendo la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y residuos sólidos y

líquidos antes de que abandonen el proceso.

Para los productos, "Producción más limpia" significa reducir impactos ambientales a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción del material virgen hasta su disposición final.

"Producción más limpia" se logra a través de la aplicación del conocimiento (know-how), por la mejora de la tecnología y/o por el cambio de actitudes administrativas (management).

De aquí la necesidad de hacer uso de la auditoría ambiental, instrumento proactivo por definición, la herramienta de autorregulación por excelencia para ayudar a revisar y evaluar la situación de las unidades operativas.

En México, la auditoría ambiental surge debido a la serie de explosiones ocurridas en Guadalajara en 1992 y se indujo la instrumentación del Programa de Auditoría Ambiental a través de la creación de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, PROFEPA (11).

La atribución sustantiva de la PROFEPA es la vigilancia del cumplimiento de la ley para proteger el ambiente. Esto se logra mediante dos mecanismos básicos: la verificación normativa y la auditoría ambiental. La primera tiene la ventaja de ser un acto de autoridad; sin embargo, tiene una limitante: sólo se puede exigir el cumplimiento de

aquello que está normado. Por el contrario, la importancia de la auditoría ambiental en México radica en que, al ser un acto concertado, puede incluir situaciones aún no reglamentadas pero de urgente atención.

La auditoría ambiental es un medio de cumplimiento voluntario de la ley y consiste en el examen metodológico del proceso productivo de una industria, con el objeto de conocer las condiciones de contaminación y riesgo bajo las cuales está operando (11).

La esencia de la auditoría ambiental es verificar, analizar y evaluar la adecuación de las medidas adoptadas por la empresa auditada para minimizar los riesgos y controlar la contaminación ambiental.

La diferencia de los métodos para realizar una auditoría ambiental en México y del método propuesto por UNEP y UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) publicado en el "Manual de Auditoría y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales" radica en que en el método propuesto por las Naciones Unidas se propone realizar, además, un balance de materia para conocer con exactitud las áreas más problemáticas del proceso, situación que no es tomada en las auditorías ambientales mexicanas.

Tal vez, la mayor objeción que se puede poner a las auditorías ambientales en México es que se realizan para poner al día una instalación en cuanto a su cumplimiento

ambiental y que no prevén mecanismos para la mejora continua de los procesos.

La razón de esto estriba en que el país, junto con su planta industrial, está enfrentando grandes problemas financieros y no existe una tradición de cumplimiento ambiental, por lo que resulta más urgente la puesta al día en lo que se refiere a un cumplimiento mínimo de la mejora continua.

La auditoría ambiental como herramienta de cumplimiento voluntario ha demostrado su efectividad y tiene otras ventajas interesantes de explicar, como la posible excluyente de aplicación de sanciones por infracciones cometidas, siempre y cuando se hagan del conocimiento de la autoridad en forma espontánea junto con propuestas reales y calendarizadas para su solución.

El objetivo de este trabajo es realizar una auditoría ambiental en una empresa, basándose en el método propuesto por UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) y UNEP (United Nations Environment Programme), publicada en el "Manual de Auditoría y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales" (26).

Un desarrollo sustentable (económico y ambiental) sólo es posible si se adoptan métodos de producción que generen menos residuos líquidos y sólidos y emisiones a la atmósfera que los que actualmente generan los procesos industriales, sobre todo por que parte de esos residuos son

materias primas no aprovechadas y productos tanto primarios como secundarios que no han sido apropiadamente separados y/o recuperados.

En el pasado, la política de los residuos se concentraba en el tratamiento al final de la tubería, diseñando plantas de tratamiento e instalando equipo de control que previniera la contaminación del ambiente, sin preocupación por el desperdicio de materias primas, productos y energía. Hoy en día, ha emergido una nueva filosofía, la de prevenir su generación y reducirlos. Este cambio progresivo del tratamiento de contaminantes hacia la prevención de su generación tiene los siguientes beneficios:

- La cantidad de emisiones y residuos sólidos y líquidos disminuye (productos, subproductos y reactivos).
- El consumo de materia prima es reducido y, consecuentemente, los costos también son abatidos.
- Los costos de tratamiento de contaminantes son menores.
- El potencial de contaminación se aminora.
- Se mejoran las condiciones de trabajo.
- Los procesos son más eficientes.

En primer plano para prevenir y reducir la generación de

contaminantes, es necesario analizar los procesos, para poder identificar los orígenes de los residuos.

Los propósitos de realizar esta auditoría son:

◊Definir las fuentes, cantidades y tipos de contaminantes que son generados durante el proceso.

◊Recopilar información acerca de las operaciones y procesos unitarios, materias primas, productos y servicios auxiliares (agua principalmente).

◊Localizar las áreas más ineficientes del proceso de fabricación de resina poliéster insaturada auxiliándose del balance de materia del mismo.

◊Incrementar el conocimiento del proceso, lo que ayudará a que sea más eficiente.

◊Proponer opciones para la reducción de contaminantes ya sea al corto como al largo plazos.

En el siguiente capítulo se presenta la metodología de trabajo propuesta.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTOS

Para el logro de los propósitos señalados en el capítulo I, la auditoría ambiental a realizar, según el documento publicado por las organizaciones UNIDO y UNEP, tiene las siguientes bases:

#### **FASE 1. PREEVALUACIÓN**

En esta primera fase se realizará la recopilación de datos referentes a la empresa y al proceso de fabricación de resina poliéster insaturada y de esta manera obtener una visión global de los problemas ambientales.

#### **FASE 2. BALANCE DE MATERIA**

Elaborar el balance de materia del proceso de fabricación de resina poliéster insaturada con el fin de identificar con precisión las áreas ineficientes del proceso donde se están generando los contaminantes.

#### **FASE 3 DISCUSIÓN, ANÁLISIS Y SÍNTESIS**

En esta última parte de la auditoría se propondrán medidas al corto, mediano y largo plazos para la reducción de residuos sólidos y líquidos y emisiones atmosféricas.

evaluando los beneficios ambientales y económicos de las opciones propuestas.

#### DIAGRAMA 1 METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA AMBIENTAL

<b>FASE 1</b>	<b>PREPARACIÓN DE LA AUDITORIA</b>
<b>PREEVALUACIÓN</b>	Paso 1. Preparación y enfoque de la auditoría
	Paso 2. Listado de operaciones unitarias
	Paso 3. Elaboración de diagramas de flujo

<b>FASE 2</b>	<b>ENTRADAS DEL PROCESO</b>
<b>BALANCE DE</b>	Paso 4. Delimitación de entradas
	Paso 5. Uso del agua durante el proceso
	Paso 6. Corrientes de recirculación y/o reuso
<b>MATERIA</b>	<b>SALIDAS DEL PROCESO</b>
	Paso 7. Delimitación de salidas
	Paso 8. Cuantificación de agua residual
	Paso 9. Cuantificación de emisiones atmosféricas
<b>MATERIA</b>	Paso 10. Cuantificación de residuos líquidos y sólidos
	<b>DERIVACIÓN DEL BALANCE DE MATERIA</b>
	Paso 11. Recopilación de la información de entradas y salidas por operación unitaria
	Paso 12. Derivación preliminar del balance de materia por operación unitaria
	Paso 13. Evaluación preliminar del balance de materia
	Paso 14. Revisión del balance de materia

<b>FASE 3</b>	<b>OPCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES</b>
<b>DISCUSIÓN</b>	<p>Paso 15. Medidas al corto plazo</p> <p>Paso 16. Caracterización de los residuos de mayor problema en la empresa estudiada</p> <p>Paso 17. Segregación de residuos</p> <p>Paso 18. Opciones al largo plazo</p>
<b>ANÁLISIS Y</b>	<p><b>EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES</b></p> <p>Paso 19. Evaluación ambiental y económica</p>
<b>SÍNTESIS</b>	<p><b>PLAN DE ACCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES</b></p> <p>Paso 20. Diseño e implantación de un plan de acción para la reducción de residuos y para alcanzar una mejor eficiencia en el proceso.</p>

## CAPÍTULO III

### FASE I. PREEVALUACIÓN

En este capítulo se realizará un estudio general sobre las condiciones de la planta y el proceso con el fin de identificar las fuentes de contaminantes así como las causas de los mismos. Para ello, es necesario recopilar datos sobre la empresa y el proceso de fabricación de resina poliéster insaturada, realizar la identificación de contaminantes (emisiones atmosféricas, residuos líquidos y sólidos) y establecer el conocimiento de las operaciones unitarias y realización de diagramas de flujo.

### PASO 1. PREPARACIÓN Y ENFOQUE DE LA AUDITORÍA

Esta auditoría tiene como finalidad el análisis completo del proceso de fabricación de resina poliéster insaturada, con el objeto de identificar las fuentes donde se generan los desechos, logrando en consecuencia minimizar su generación y a la par un abatimiento en los costos de disposición de los mismos.

Como prerequisite es necesario recopilar información que proporcione datos suficientes para tener una visión general del proceso así como de la situación actual dentro de la planta en lo que a materia ambiental se refiere.

### 1.1. Datos generales de la empresa

Giro o actividad: Fabricación y distribución de resina poliéster insaturada

Domicilio: Potrerillos 12  
Parque Industrial Mezahualcóyotl  
Edo. de México  
(ver croquis de ubicación de la planta) (Fig. 1)

Proceso: Resina poliéster insaturada

Rama industrial: Química

Capacidad instalada: 1500 Ton/mes

Capacidad normal: 1000 Ton/mes

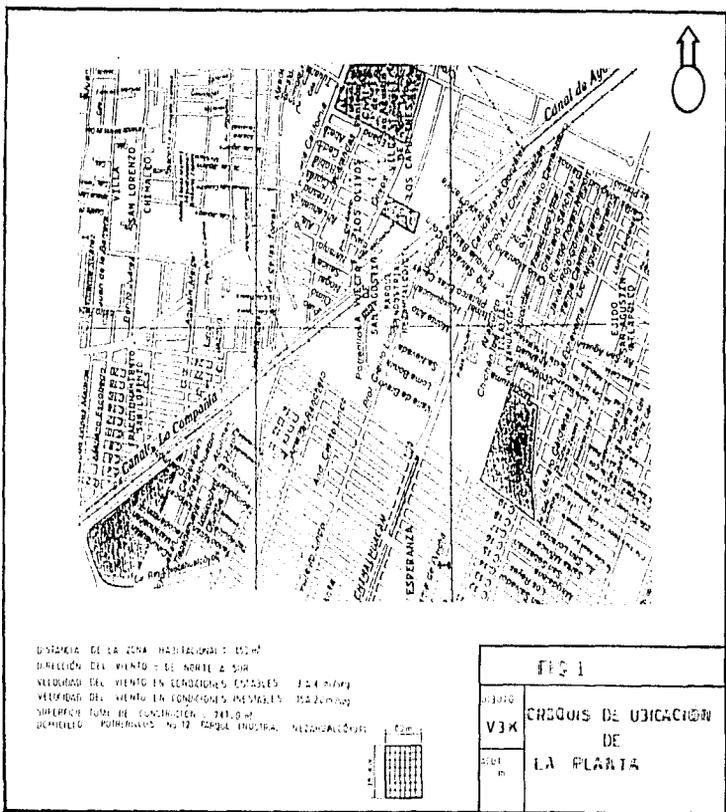
Personal que labora en la planta: La planta funciona las 24 h los 365 días del año con el siguiente personal:

Operativo: 24 personas 2 turnos  
16 personas 1 turno

Administrativo: 20 personas 1 turno

Total: 60 personas

Último análisis de riesgo: Febrero 1994, realizado por:  
Corp. Industrial Garey.



DISTANCIA DE LA ZONA INDUSTRIAL: 2500 m  
 DIRECCION DEL VIENTO: DE NORTE A SUR  
 VELOCIDAD DEL VIENTO EN CONDICIONES ESTABLES: 12.4 m/s  
 VELOCIDAD DEL VIENTO EN CONDICIONES INSTABLES: 12.2 m/s  
 SUPERFICIE TOTAL DE CONSTRUCCION: 240,000 m<sup>2</sup>  
 DIMENSIONES: 1000x240 m (12 PARCELA INDUSTRIAL, MECANICAL)



FIG 1

DESCRIPCION	CRUCIOS DE UBICACION DE LA PLANTA
VIX	
100 m	

## 1.2 Datos generales del sitio

### 1.2.1. Ubicación de la planta

Coordenadas.- Latitud Norte: 19°30'4"  
Longitud Poniente: 99°4'19"  
Altura sobre el nivel del mar: 2534 m

### Superficie.-

Total: 4008.08 m<sup>2</sup> (100%)  
Total construída: 1490.16 m<sup>2</sup> (37%)

### 1.2.2. Velocidad del viento

Generalmente la dirección del viento es de norte a sur y se estima que la velocidad promedio en condiciones estables es de 3 a 6 m/s.

### 1.2.3. Hidrología

Ríos superficiales principales:

Región hidrológica Alto Pánuco, una de las regiones hidrológicas más importante de la República Mexicana por el volumen de corrientes superficiales como por su superficie, que comprende toda la parte norte, noroeste y noreste de Valle de México.

Ríos subterráneos:

La existencia de estos acuíferos se localiza en las rocas basálticas, sedimentos aluviales y lacustres terciarios y recientes; algunos pozos son localizados a una profundidad de hasta 180 m.

Localización de los cuerpos de agua:

Hacia la zona noreste se localizan los ríos El Tejocote, El Manzano, Coatepec, en dirección noroeste se tiene el vaso regulador del lago de Texcoco.

#### 1.2.4. Urbanización de la zona

El área en estudio se sitúa en zona urbana, la distancia a la zona habitacional más cercana es a 320 m.

Las poblaciones cercanas a la planta son:

Fracc. Izcalli Mezahualcóyotl

Col. Esperanza

Col. San Agustín

Fracc. Los Olivos

Villa de los Capulines

#### 1.2.5. Flora y Fauna

Esta zona no cuenta con vegetación acuática.

Prácticamente, la vegetación terrestre está conformada por unos cuantos árboles de las escasas jardineras de calles y aceras. Por lo que se refiere a las especies animales, las que más abundan son las domésticas, tales como perros, gatos, aves, conejos y depredadores tales como las ratas, especialmente de cicacas.

#### 1.2.6. Otras empresas

Por lo que se refiere a las otras industrias que se encuentran en la zona industrial, la mayor parte de ellas son del giro manufacturero, alimentario y se cuenta con una cantidad importante de bodegas.

Las únicas empresas que utilizan compuestos químicos similares a los de la empresa estudiada son:

Polycat S.A. de C.V.-Produce catalizadores para resina poliéster insaturada.

Polisil S.A de C.V.-Fabricación de caucho sintético y silicón.

Especialidades Químicas S.A de C.V.- Elaboración de aditivos para resina poliéster.

Laminados Técnicos S.A de C.V.-Fabricación de láminas con fibra de vidrio y resina poliéster.

**1.3. Materia prima(16)**

1.3.1 Nombre químico: 1,2-Etanodiol  
Nombre comercial: Monoetilenglicol,  
etilenglicol  
Fórmula: C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>  
Clave CRETIB(1): Tóxico, inflamable  
Presión de vapor: 0.08 mm Hg 25°C  
Estado físico: Líquido  
Tipo de almacenamiento: Tanques  
Consumo mensual: 63 Ton  
Proveedor: Glicoles Mexicanos S.A de  
C.V., PEMEX

1.3.2 Nombre químico: 2,2-Oxibisetanol  
Nombre comercial: Dietilenglicol  
Fórmula: C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O<sub>3</sub>  
Clave CRETIB: Tóxico, inflamable  
Presión de vapor: 0.01 mm Hg 25°C  
Estado físico: Líquido  
Tipo de almacenamiento: Tanques  
Consumo mensual: 84 Ton  
Proveedor: Glicoles Mexicanos S.A de  
C.V., PEMEX

1.3.3 Nombre químico: 1-2-Propanodiol  
Nombre comercial: Monopropilenglicol  
**(i) Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable,  
Biológico- Infeccioso**

Fórmula:  $C_3H_8O_2$   
Clave CRETIB: Tóxico, inflamable  
Presión de vapor: 0.08 mm Hg 25°C  
Estado físico: Líquido  
Tipo de almacenamiento: Tanques  
Consumo mensual: 197 Ton  
Proveedor: Glicoles Mexicanos S.A de  
C.V., PEMEX

1.3.4 Nombre químico: Vinilbenceno, feniletileno

Nombre comercial: Monómero de estireno,  
estireno

Fórmula:  $C_8H_8$   
Clave CRETIB: Tóxico, inflamable  
Presión de vapor: 6.1 mm Hg 25°C  
Estado físico: Líquido  
Tipo de almacenamiento: Tanques  
Consumo mensual: 200 Ton  
Proveedor: PEMEX

1.3.5 Nombre químico: 2,5-Furanedion

Nombre comercial: Anhídrido maleico  
Fórmula:  $C_4H_2O_3$   
Clave CRETIB: Tóxico  
Presión de vapor: 0.16 mm Hg 25°C  
Estado físico: Sólido y/o fundido  
Tipo de almacenamiento: Tanques y/o sacos  
Consumo mensual: 188 Ton

Proveedor: Síntesis Orgánicas S.A de  
C.V.

1.3.6 Nombre químico: Anhídrido ftálico  
Nombre comercial: Anhídrido ftálico  
Fórmula:  $C_6H_4O_3$   
Clave CRETIB: Tóxico  
Presión de vapor: 0.01 mm Hg 25°C  
Estado físico: Sólido y/o fundido  
Tipo de almacenamiento: Tanques y/o sacos  
Consumo mensual: 311 Ton  
Proveedor: Síntesis Orgánicas S.A de  
C.V.

1.3.7 Nombre químico: 1,4 ácido butanodicarboxílico  
Nombre comercial: Ácido adípico  
Fórmula:  $C_6H_{10}O_4$   
Clave CRETIB: Tóxico  
Presión de vapor: 0.106 mm Hg 25°C  
Estado físico: Sólido  
Tipo de almacenamiento: Sacos  
Consumo mensual: 7 Ton  
Proveedor: Grupo Labrador S.A de C.V.

1.3.8 Nombre químico: 1,3 ácido bencendicarboxílico  
Nombre comercial: Ácido isoftálico  
Fórmula:  $C_8H_6O_4$   
Clave CRETIB: Tóxico  
Presión de vapor: No disponible

Estado físico: Sólido  
Tipo de almacenamiento: Sacos  
Consumo mensual: 12 Ton  
Proveedor: Amoco Chemicals

1.3.9 Nombre químico:

2,2 dimetil-1,3 propanediol

Nombre comercial: Neopentilglicol  
Fórmula:  $C_5H_{12}O_2$   
Clave CRETIB: Tóxico, inflamable  
Presión de vapor: No disponible  
Estado físico: Sólido  
Tipo de almacenamiento: Sacos  
Consumo mensual: 17 Ton  
Proveedor: BASF Corporation Chemicals  
Division..

1.3.10 Nombre químico:

Hidroquinona

Nombre comercial: Hidroquinona  
Fórmula:  $C_6H_6O_2$   
Clave CRETIB: Tóxico  
Presión de vapor: 1 mm Hg 25°C  
Estado físico: Sólido  
Tipo de almacenamiento: Tambores  
Consumo mensual: 0.153 Ton  
Proveedor: Eastman Chemical Company

1.3.11 Aditivos

Varios

Consumo mensual: 0.563 Ton

En el anexo 1, se presenta la lista de posibles aditivos utilizados en la fabricación de resina poliéster insaturada

#### 1.4. Productos

Nombre químico:	Resina poliéster insaturada
Nombre comercial:	Resina poliéster
Peso molecular:	4000-6000
Clave CRETIB:	Tóxico, inflamable
Presión de vapor:	3.62 mm Hg 25°C
Estado físico:	Líquido
Tipo de almacenamiento:	Tambores, tanques y pipas.
Producción mensual:	1000 Ton

En el anexo 2 se presenta un ejemplo de hojas de seguridad del producto.

#### 1.5. Subproductos

Nombre químico:	Agua residual
Clave CRETIB:	Tóxico
Estado físico:	Líquido
Tipo de almacenamiento:	Tanques
Producción mensual:	79 Ton
Método de disposición:	Planta de tratamiento de agua

## 1.6 Residuos generados en el proceso

### 1.6.1. Residuos líquidos

#### 1.6.1.1 Agua de proceso

Debido a la reacción de esterificación se forma un gran volumen de agua contaminada con glicoles, anhídridos, así como polímeros de bajo peso molecular.

El flujo mensual de agua generada es de 79 toneladas y está clasificada como residuo tóxico.

La planta cuenta con un sistema de neutralización para las aguas de proceso, el cual está conformado por:

- Tanque colector de agua de proceso
- Tanque homogeneizador
- Tanque coagulador-floculador
- Tanque de sedimentación
- Filtro de arena y grava
- Filtro de carbón activado
- Lecho de secado

La descripción del proceso de la planta de tratamiento de agua se mencionará más adelante.

Las condiciones promedio de las aguas generadas durante el proceso antes de pasar por tratamiento se presentan en la tabla 1a. Los análisis fueron realizados por AMBIENTEC, S.A. de C.V., en marzo de 1996 y son realizados trimestralmente (1).

TABLA 1a. CONDICIONES DE AGUA DE PROCESO ANTES DE  
TRATAMIENTO (1)

CONDICIÓN	RESULTADO PROM. DIARIO	LÍMITE MÁXIMO	LÍMITE MÁXIMO
		PERMISIBLE (1)	PERMISIBLE (1)
		PROM. DIARIO	INSTANTANEO
Temperatura°C	31	35	40
pH (unidades)	6.3	6.5	9.0
Sólidos sedimentables mg/L	3.0	5.0	10.0
Grasas y Aceites mg/L	27	60	100
Conductividad eléctrica µmho/cm	1670	5000	8000
Arsénico mg/L	0	0.5	1.0
Aluminio mg/L	0	10.0	20.0
Cadmio mg/L	0	1.0	1.0
Cianuros mg/L	0	1.0	5.0
Cobre mg/L	0	5.0	10.0
Cromo hexavalente mg/L	0	1.0	1.0
Cromo total mg/L	0	1.5	5.0
Fluoruro mg/L	0	1.0	5.0
Mercurio mg/L	0	0.01	0.01
Níquel mg/L	0	1.0	5.0
Zinc mg/L	0	5.0	10.0
Fenoles mg/L	0	5.0	10.0
Plomo mg/L	0	1.0	0.1
DQO mg/L	11,300	110	110
DBO <sub>5</sub> mg/L	19,140	110	110

(1) NMX-C01-E001-1993 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de las industrias extractivas, agroindustrias, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado.

(1a) Los límites se establecen para las condiciones particulares.

Las condiciones a la salida de la planta de tratamiento se indican en el siguiente capítulo.

#### 1.6.1.2. Tetrahydrofurano

Se genera en las pruebas de análisis cromatográfico. Este compuesto viene contaminado con resina poliéster insaturada, en la siguiente proporción (10):

Tetrahydrofurano:	99.94%
Resina poliéster insaturada:	0.06%

Se generan 0.05 m<sup>3</sup> anuales. Este residuo es considerado como tóxico y es almacenado en tambores metálicos de 20 litros, para ser posteriormente mandados a RIMSA (Residuos Industriales Multiquím S.A de C.V).

#### 1.6.1.3. Aceite térmico mineral

Bimestralmente se consumen 100 litros de aceite térmico para reponer las pérdidas ocasionadas por el calentamiento del mismo, la purga y desecho de los calentadores de aceite. Se generan aproximadamente 600 litros anuales, los cuales son almacenados en tambores de 200 litros para ser posteriormente mandados a Cementos Portland Moctezuma S.A de C.V., donde es utilizado como combustible alterno (10).

Este residuo está compuesto por:

Aceite térmico mineral parafínico 90%  
 Residuos carbonosos y óxidos 10%  
 El residuo es clasificado como inflamable.

1.6.2 Residuos sólidos

1.6.2.1. Lodos de la planta de tratamiento de aguas

Como resultado del tratamiento del agua se generan lodos, mismos que son controlados y enviados a RIMSA.

Se generan 30 toneladas anuales de lodos y son almacenados en tambores metálicos de 200 litros.

Las pruebas realizadas en marzo de 1996 (9), cuantifican los residuos sólidos con la composición que se presenta en la tabla 1b.

TABLA 1b. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Poliéster de bajo peso molecular (grupos aromáticos)	0.16 %
Polímero lineal de bajo peso molecular (grupos éster, éter y CH <sub>2</sub> )	4.89 %
Agua	87.45 %
Sales inorgánicas (Al y Na)	7.59 %
pH	5.7 %

No inflamable, no explosivo, no corrosivo, no reactivo, no tóxico, no biológico-infeccioso.

Aunque los lodos no se clasifiquen con ningún parámetro CRETIB, no deja de considerarse como un riesgo al ambiente debido a su contenido de materia orgánica de muy lenta biodegradabilidad.

#### 1.6.2.2.Estopa

Este residuo es generado durante la limpieza en el mantenimiento del equipo a proceso. La composición es la siguiente: (9)

Estopa: (algodón)	50%
Resina poliéster insaturada	30%
Fluido térmico	20%

Y se considera un residuo tóxico e inflamable.

Son generadas 1.2 toneladas anuales de estopa, las cuales son confinadas en tambores metálicos de 200 litros, para ser posteriormente mandados a RIMSA.

#### 1.6.2.3.Barreduras

Se generan 1.2 toneladas anuales, provenientes de la limpieza de la planta en el área de carga de materia prima a reactores y la limpieza de almacén; se compone primordialmente de (9):

Anhídrido ftálico.-	42%
Anhídrido maleico.-	18%

Arena y tierra.- 40%

Este residuo es clasificado como tóxico.

Las barraduras son almacenadas en tambores metálicos de 200 litros y son enviadas a RIMSA.

#### 1.6.2.4. Bolsas de polietileno de alta densidad

Se producen en la carga de materia prima a proceso, en una cantidad de 1 tonelada anual. La composición de este residuo es (9):

Polietileno de alta densidad.- 75%

Anhídrido maleico.- 14%

Anhídrido ftálico.- 11%

Se envían a RIMSA.

#### 1.6.2.5. Eventos extraordinarios

Como eventos extraordinarios son considerados las resinas geladas en los reactores, tanques de dilución o en almacén, se producen aproximadamente 6 toneladas anuales. Se compone únicamente de resina poliéster (100%).

Este residuo es clasificado como inflamable, debido a la presencia de estireno. Y son almacenados en tambores metálicos de 200 litros, para ser posteriormente enviados a RIMSA.

### 1.5.3. Residuos gaseosos

Las emisiones a la atmósfera generadas durante la fabricación de resina poliéster insaturada son las debidas al dióxido de carbono (gas inerte utilizado durante el proceso), el cual escapa a la atmósfera por los venteos de los reactores y que está arrastrando compuestos orgánicos volátiles que ocasionan malos olores. Mensualmente se consumen 16 toneladas de dióxido de carbono, las mismas que son descargadas sin ningún tratamiento previo. No se han evaluado las cantidades de compuestos volátiles orgánicos arrastrados.

Otras emisiones son las referidas a la combustión de diesel, las emisiones de compuestos orgánicos volátiles generados por el calentamiento de aceite térmico, así como las provenientes de las sustancias utilizadas y/o generadas durante el proceso, principalmente el estireno el cual es el componente más volátil utilizado en la fabricación de resina poliéster insaturada.

La composición del gas inerte a la salida de los reactores, de los venteos del sistema de calentamiento y las emisiones de compuestos orgánicos volátiles no han sido cuantificadas. Sólo se cuenta con los análisis de los gases de combustión, que se realizaron por Haz Mat de México, trimestralmente (15); además de éstos, quincenalmente se cuantifica el porcentaje de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y mancha de hollín, con un analizador

de gases de combustión.

Para los cinco calentadores se utiliza como combustible diesel, haciéndose uso de 30 toneladas mensuales del mismo.

#### 1.6.3.1 Análisis de gases de combustión (15)

##### 1.6.3.1.1 Calentador 1

Capacidad:	2 millones de BTU
Tipo de operación:	Semiautomática
Altura de la chimenea:	10 m
Diámetro de la chimenea:	0.15 m
Temperatura de los gases de combustión:	250°C

CONTAMINANTE	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (1)
CO <sub>2</sub> %	8.0	-
O <sub>2</sub> %	4.0	10.5
CO %	0.0230	0.0250
N <sub>2</sub> %	87.97	-
Mancha de hollín	2.67	5
Exceso de aire %	20	60

##### 1.6.3.1.2. Calentador 2

Capacidad:	2 millones de BTU
Tipo de operación:	Semiautomática
Altura de la chimenea:	10 m
Diámetro de la chimenea:	0.15 m

(1) NOM-085-ECO1-94

Temperatura de los gases de combustión: 250°C

CONTAMINANTE	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
CO <sub>2</sub> %	8.1	-
O <sub>2</sub> %	3.9	10.5
CO %	0.0225	0.0250
N <sub>2</sub> %	87.97	-
Mancha de hollín	2.5	5
Exceso de aire %	20	60

1.6.3.1.3 Calentador 3

Capacidad: 2 millones de BTU  
Tipo de operación: Semiautomática  
Altura de la chimenea: 10 m  
Diámetro de la chimenea: 0.15 m  
Temperatura de los gases de combustión: 255°C

CONTAMINANTE	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
CO <sub>2</sub> %	7.9	-
O <sub>2</sub> %	4.1	10.5
CO %	0.0240	0.0250
N <sub>2</sub> %	87.97	-
Mancha de hollín	2.33	5
Exceso de aire %	20	60

1.6.3.1.4 Calentador 4

Capacidad: 80 mil BTU

Tipo de operación: Semiautomática  
 Altura de la chimenea: 10 m  
 Diámetro de la chimenea: 0.15 m  
 Temperatura de los gases de combustión: 240°C

CONTAMINANTE	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
CO <sub>2</sub> %	9.0	-
O <sub>2</sub> %	5.0	10.5
CO %	0.0151	0.0250
N <sub>2</sub> %	85.98	-
Mancha de hollín	3.33	5
Exceso de aire %	28.19	60

1.6.3.1.5 Calentador 5

Capacidad: 4 millones de BTU  
 Tipo de operación: Semiautomática  
 Altura de la chimenea: 20 m  
 Diámetro de la chimenea: 0.15 m  
 Temperatura de los gases de combustión: 260°C

CONTAMINANTE	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
CO <sub>2</sub> %	8.0	-
O <sub>2</sub> %	4.0	10.5
CO %	0.0170	0.0250
N <sub>2</sub> %	87.98	-
Mancha de hollín	2.33	5
Exceso de aire %	20.75	60

### 1.6.3.2 Factor de emisión de SO<sub>2</sub>

La norma ecológica NOM-085-ECOL-94, establece la siguiente fórmula para calcular el factor de emisión de SO<sub>2</sub> a la atmósfera:

$$\text{Factor de emisión} = \frac{(3202/100) (\text{kg S/kg comb}) \times 2 (\text{kg SO}_2/\text{kg S})}{(\text{Poder calorífico del comb.}) \times (10 \text{ E}^6 \text{ kcal / kg comb})}$$

$$\text{Factor de emisión} = [\text{kg SO}_2 / 10 \text{ E}^6 \text{ kcal}]$$

El contenido de azufre del diesel centrifugado según datos proporcionados por PEMEX es de 0.5% con un poder calorífico de 0.01147 kcal/kg, sustituyendo en la fórmula:

$$\text{Factor de emisión} = \frac{(0.5/100) (\text{kg S/kg comb}) \times 2 (\text{kg SO}_2/\text{kg S})}{(0.01147) \times (10 \text{ E}^6 \text{ kcal / kg comb})}$$

$$\text{Factor de emisión} = 0.87 \text{ kg SO}_2 / 10 \text{ E}^6 \text{ kcal}$$

$$\text{Límite de la norma} = 4.05 \text{ kg SO}_2 / 10 \text{ E}^6 \text{ kcal}$$

## PAISO 2. LISTADO DE OPERACIONES UNITARIAS

### 2.1 Descripción del proceso de fabricación de resina poliéster insaturada

#### 2.1.0. Breve estudio de la química de la resina poliéster

La resina poliéster es un polímero; se entiende por

polímero, a una macromolécula formada por unidades repetitivas (llamadas monómeros), unidas entre sí de un modo regular.

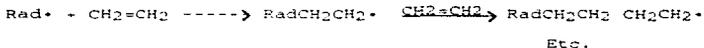
La polimerización se lleva a cabo de dos maneras:

a) Polimerización por reacción en cadena

En este tipo de polimerización ocurre una serie de reacciones, cada una de las cuales consume una partícula reactiva y produce otra similar, por lo que cada reacción individual depende de la anterior.

Dichas partículas reactivas pueden ser radicales libres, cationes o aniones.

Por ejemplo: Polietileno



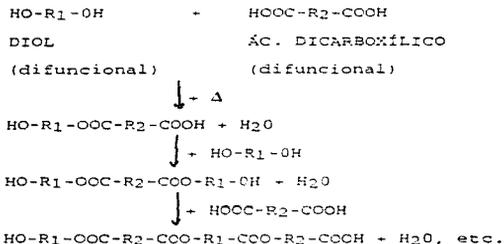
Cada radical libre se une a una molécula del monómero para formar un nuevo radical libre de mayor tamaño.

b) Polimerización por etapas

Consta de una serie de reacciones independientes entre sí, se forma un polímero simplemente porque el monómero tiene más de un grupo funcional. Generalmente existe pérdidas de moléculas sencillas.

Tal es el caso de la resina poliéster insaturada:

Grupos Funcionales: -COOH y -OH

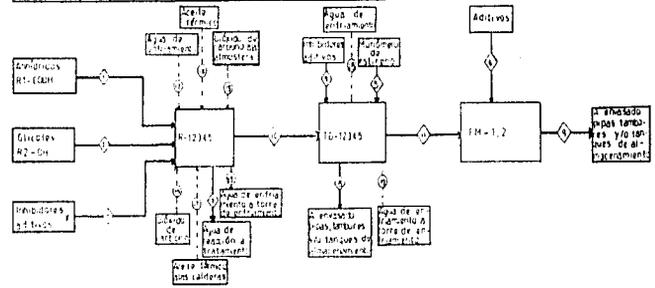
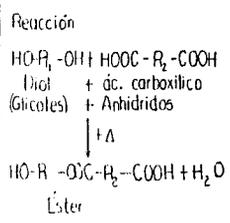


Si cada molécula del monómero contiene justamente dos grupos funcionales, el crecimiento sólo puede ocurrir en dos direcciones, con lo que se obtiene un polímero lineal. Pero si la reacción sucediera en más de dos posiciones, se generaría un polímero de red muy entrecruzado en sus enlaces.

Al combinar las dobles ligaduras del poliéster, pertenecientes a los ácidos carboxílicos, con un monómero del tipo vinílico, por ejemplo estireno, formará rápidamente con el poliéster enlaces entrecruzados. Para llevar a cabo esta reacción es necesario hacer uso de un acelerador de tipo peróxido.



Cuadro de Balance											
Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anhidridos	1850										
Glicoles		2250									
Aditivos			100	100		100					
Monomero de Estireno						500					
Poliglicol Ester insaturado								1000	1000	1000	
Aguas											1000
Temperatura	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	50°C	50°C	50°C	100°C	100°C	30°C
Presión	1 ATM										



LISTA DE EQUIPO	SERVICIO	ESPECIFICACIONES
R-12145	Reactor	R12145 15 ton acero al carbono R2145 123 ton acero al carbono R145 38 ton acero al carbono
T-12145	Tanque de separación	T0145 15 ton acero al carbono T0245 10 ton acero al carbono T0345 10 ton acero al carbono T0445 10 ton acero al carbono T0545 10 ton acero al carbono
M-1,2	Tanque mezclador	M1145 10 ton acero al carbono M2145 6 ton acero al carbono

Esc 11	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE RESINA POLIESTER INSATURADO
Ordo 20	
REV	

mecánicamente mediante un transportador helicoidal cerrado específicamente para los anhídridos y ácidos; los otros materiales (aditivos e inhibidores) son cargados manualmente.

#### 2.1.2.1. Primer paso. Reacción de esterificación y condensación de agua

1. Cargar glicoles (según formulación) al reactor, comprobando que las cantidades agregadas sean las indicadas.
2. Iniciar calentamiento a 80°C con agitación y alimentar gas inerte (en este caso se usa bióxido de carbono).
3. Agregar los ácidos. Cerrar el reactor y continuar el calentamiento del mismo hasta 110°C. A esta temperatura, suspender el calentamiento y extremar precauciones con la temperatura ya que existe una reacción exotérmica y la temperatura asciende a 140-150°C
4. Pasada la reacción exotérmica, (lo cual se detecta por un descenso de la temperatura de la masa reaccionante), suministrar calentamiento de manera que se controle la temperatura de la columna de destilación entre 88 y 96°C. Al inicio de la reacción se forma un gran volumen de agua, debido a la reacción inicial de esterificación y, conforme avanza la reacción, la formación de agua va siendo menor.
5. El grado de esterificación, en cualquier momento, se

controla en función del índice de acidez, viscosidad Gardner y peso molecular de la resina. La reacción se da por terminada al llegar a las condiciones de corte especificadas.

En el anexo 3, se presentan los análisis realizados para el control de proceso en la fabricación de resina poliéster insaturada.

6. Una vez lograda la esterificación hasta el grado deseado se enfría la masa reaccionante hasta una temperatura de 180°C, al alcanzar dicha temperatura se adicionan los inhibidores.

#### 2.1.2.2 Segundo paso. Dilución

1. Cuando inicia el enfriamiento del reactor, cargar estireno al tanque diluidor, verificando las cantidades.

2. Agregar inhibidores y aditivos faltantes al tanque de dilución y agitar hasta la homogenización.

3. Iniciar la descarga del reactor al tanque cuando la temperatura del reactor es de 180°C, mantener abierto el enfriamiento de modo que la temperatura en el tanque diluidor no exceda los 65°C.

4. Terminada la descarga, dejar enfriar (aproximadamente 50-40°C) el contenido del tanque diluidor.

### 2.1.2.3. Tercer paso. Mezclado

De acuerdo al tipo de resina fabricada, realizar los ajustes necesarios con los aditivos respectivos y muestrear para el análisis de control de calidad de producto terminado.

En el anexo 4 se presenta una descripción del control de calidad del producto terminado.

### 2.1.3. Tercera etapa. Envasado y almacenamiento

La resina poliéster insaturada como producto final es conducida en diferentes pasos finales del proceso (por ejemplo, ajustes a diferentes especificaciones), hasta ser almacenada en tambores y mecánicamente colocadas en su área respectiva, para su posterior distribución. Otras veces la resina es almacenada en tanques de almacenamiento o es bombeada a pipas.

## 2.2. Listado de operaciones unitarias

La tabla 2 presenta el listado de las operaciones empleadas en el proceso

TABLA 3. LISTADO DE OPERACIONES UNITARIAS

OPERACIÓN UNITARIA	FUNCIÓN
1. Reacción (-OH Y -COOH)	Formación del éster y condensación de agua
2. Enfriamiento	Disminución de la temperatura de la masa reaccionante para, de este modo, interrumpir la reacción de polimerización, una vez alcanzado el grado deseado de esterificación.
3. Dilución	Dilución del polímero con estireno, para formar (en presencia de un "catalizador") enlaces ramificados con las cadenas líquidas del polímero.
4. Mezclado	Ajuste con aditivos, según especificaciones de viscosidad y densidad del.

### PASO 3. ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE FLUJO

El diagrama de flujo para el proceso de fabricación de resina poliéster insaturada y los diagramas de bloques para la planta de tratamiento de agua residual y del sistema de calentamiento, respectivamente se presentan en las figuras 3, 4, y 5.

#### **3.1 Diagrama de flujo de proceso de resina poliéster insaturada**

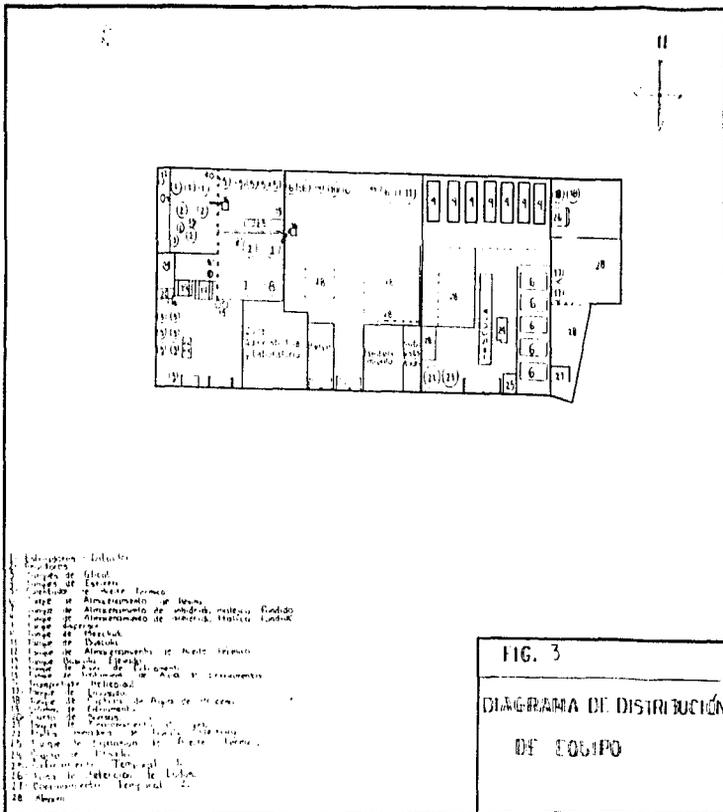
La planta cuenta con cinco reactores con su respectivo tanque de dilución así como dos tanques de mezclado. Sus características son las presentadas en la tabla 3. (Ver

diagrama de distribución de equipo) (Fig. 3)

TABLA 3. LISTA DE EQUIPO

EQUIPO	CAPACIDAD TON.	MATERIAL	TEMP. DE OPERACIÓN °C	PRESIÓN DE OPERACIÓN
Reactor 1	11.5	Acero inoxidable*	35-210	Atmosférica
Tanque de dilución 1	15	Acero inoxidable*	Menor de 35	Atmosférica
Reactor 2	12.3	Acero inoxidable*	35-211	Atmosférica
Tanque de dilución 2	15	Acero inoxidable	Menor de 35	Atmosférica
Reactor 3	12.3	Acero inoxidable**	35-211	Atmosférica
Tanque de dilución 3	15	Acero inoxidable*	Menor de 35	Atmosférica
Reactor 4	11.5	Acero inoxidable**	35-211	Atmosférica
Tanque de dilución 4	15	Acero inoxidable*	Menor de 35	Atmosférica
Reactor 5	12.3	Acero inoxidable**	35-211	Atmosférica
Tanque de dilución 5	15	Acero inoxidable*	Menor de 35	Atmosférica
Tanque mezclador 1	15	Acero inoxidable*	Menor de 35	Atmosférica
Tanque mezclador 2	15	Acero inoxidable*	Menor de 35	Atmosférica

\*Acero inoxidable 304



### 3.2. Diagrama de bloques de la planta de tratamiento de agua

#### 3.2.1 Descripción

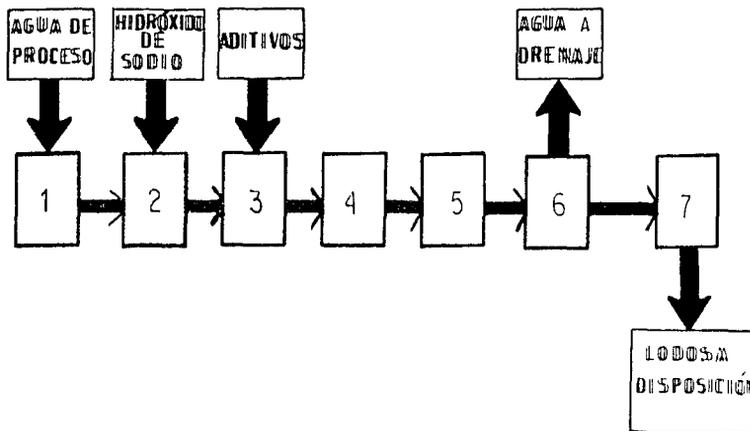
El diagrama de bloques de la planta de tratamiento de agua se presenta en la fig. 4.

El efluente de agua generada durante la reacción de esterificación se almacena en un tanque receptor.

El agua depositada en el tanque receptor es posteriormente transferida por bombeo, a un tanque homogeneizador donde se agrega NaOH para alcanzar un pH de 7, después es bombeada a un tanque coagulador-floculador en donde se aplican de manera dosificada, ciertos productos para generar una reacción química y ocasionar la aglomeración y precipitación de partículas disueltas y suspendidas. Uno de los productos utilizados para este fin es el sulfato de aluminio.

Los lodos que se depositan en el fondo se extraen por la purga.

El producto resultante es transferido por gravedad al tanque de sedimentación en el que se atrapa y aísla parte de la materia suspendida, reduciéndose la turbiedad causada por partículas muy finas. Finalmente el agua sale por gravedad a



- 1 TANQUE DE AGUA DE PROCESO
- 2 TANQUE HOMOGENEIZADOR
- 3 TANQUE COAGULADOR-FLOCULADOR
- 4 TANQUE DE SEDIMENTACIÓN
- 5 FILTRO DE ARENA Y GRAVA
- 6 FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO
- 7 LECHO DE SECADO

FIG. 4

ACO m	DIAGRAMA DE
Dibujo	BLOQUES DE
V.B.K.	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

unos filtros de arena y carbón activado, con el objeto de adsorber contaminantes orgánicos remanentes y mejorar el olor y color.

Los filtros de arena se retrociavan cada 3 meses.

Todos los lodos generados son colocados en un lecho de secado para drenar la humedad contenida y ser posteriormente mandados a confinamiento.

La arena y el carbón activados se regeneran cada 6 meses. Cuando ya no pueden regenerarse (después de 2 años) se dispone de ellos mandandose a RINSA.

### **3.3. Diagrama de bloques del sistema de calentamiento**

#### **3.3.1. Descripción**

El aceite de calentamiento circula dentro de un serpentín de tubos tipo "flux" y el quemador irradia la flama al tubo. El aceite circula al equipo calefactor en circuito cerrado, pero con venteo a un tanque de expansión, que a su vez tiene venteo a la atmósfera. Ver diagrama de bloques del sistema de calentamiento (Fig. 5).

La Secretaría del Trabajo y Prevención Social del Poder Ejecutivo Federal eximió a este sistema de pertenecer al grupo de equipos que trabajan a alta presión, dadas estas condiciones de venteo (16).

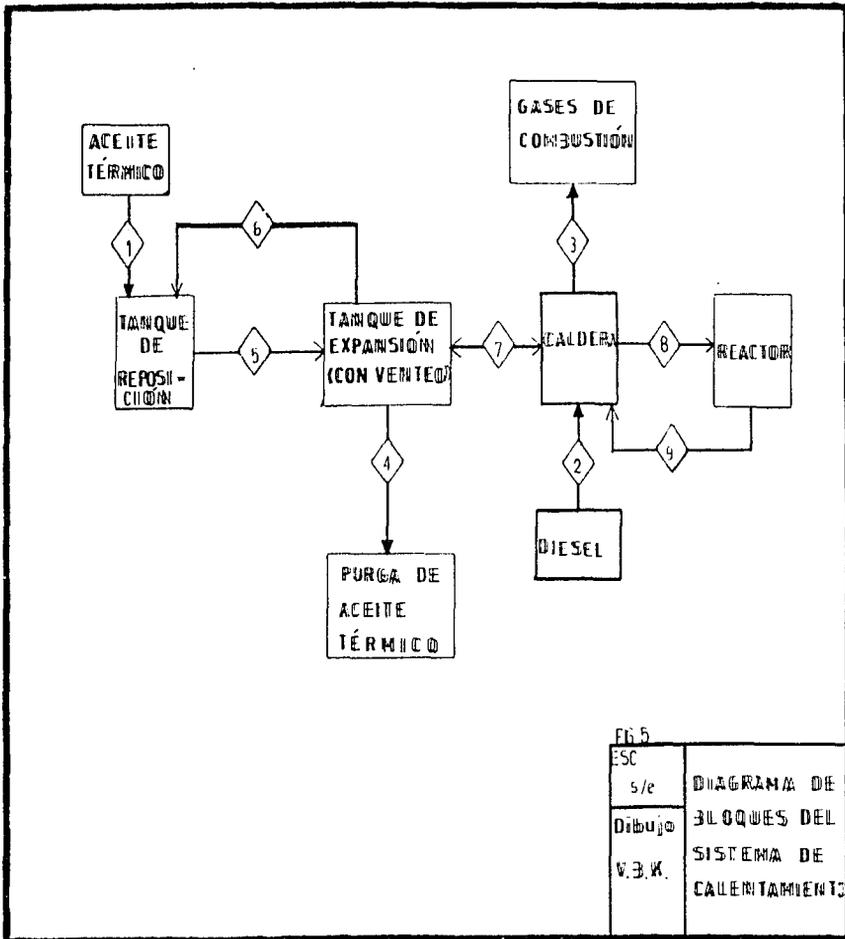


FIG. 5

ESC	s/e	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO
Dibujó		
V.B.K.		

Los cinco sistemas de calentamiento funcionan de forma similar.

Las composiciones de los gases de combustión fueron presentadas anteriormente en el inciso 1.6.3 (15).

## CAPÍTULO IV

### FASE 2. BALANCE DE MATERIA

Para el caso que se analizará no se contempla el estudio de servicios auxiliares tales como, agua de enfriamiento, aceite térmico, diesel, CO<sub>2</sub> y energía eléctrica debido a que éste es un trabajo inicial preliminar. En una segunda parte se harán también los balances de energía y la conceptualización global de la auditoría.

En esta parte se realizará el balance de materia del proceso de fabricación de resina poliéster insaturada, así como el estudio del consumo de agua durante el mismo y la emisión de gases y sólidos, con el propósito de identificar detalladamente las áreas donde se producen las pérdidas de materia prima y producto, con la consecuente generación de contaminantes. Para el logro de este objetivo es necesario evaluar todas las entradas y salidas del proceso (desde la recepción de materia prima hasta el almacén de producto terminado) para un confiable análisis del balance de materiales.

### PASO 4. DELIMITACIÓN DE ENTRADAS

Las mermas de materia prima y/o producto pueden generarse durante las cargas y transferencias, tanto de los almacenes de materia prima como de los equipos de proceso. Por ello, se realizó una investigación en las formas de manejo de

materiales así como las condiciones de la materia prima en el almacén.

En la tabla 4 se presenta la información recopilada. (Las pérdidas que pudieron ser cuantificadas en el transcurso de un mes, se presentan con los promedios obtenidos en ese lapso).

TABLA 4. ALMACÉN DE MATERIA PRIMA Y PÉRDIDAS POR MANEJO

MATERIA PRIMA	CANTIDAD COMPRADA Ton/semana	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO	PÉRDIDAS ESTIMADAS
Monometilenoalcohol	10.75	1 semana	10.75 kg/semana
Diclorometano	10.75	1 semana	10.75 kg/semana
Monopropilenoalcohol	4.125	1 semana	4.125 kg/semana
Hexapropilenoalcohol	4.125	1 semana	4.125 kg/semana
Anhidrido itálico	10.75	1 semana	10.75 kg/semana
Anhidrido succínico	10.75	1 semana	10.75 kg/semana
Ácido acético	10.75	1 semana	10.75 kg/semana
Acido acético	10.75	1 semana	10.75 kg/semana
Hydroquinona	10.75	1 semana	10.75 kg/semana
Alcornoque	10.75	1 semana	10.75 kg/semana
Estireno	10.75	1 semana	10.75 kg/semana
<b>TOTAL</b>	<b>269.931</b>		<b>12.3 kg/semana</b>

En la empresa en estudio se abastece de materias primas cada semana, por lo que las pérdidas por manejo son mínimas.

Para el caso de los materiales líquidos todos son bombeados directamente de la pipa de abastecimiento a los tanques de almacenamiento y de ahí son bombeados a los equipos cuando necesitan ser utilizados. Para evitar las pérdidas en estas

transferencias de material se vigila la descarga de las pipas, por lo que se han logrado minimizar los derrames de líquidos. A su vez, el personal de almacén se encarga de revisar todos los días el nivel de los tanques de almacenamiento. Al mismo tiempo, para prevenir riesgos por contaminación cruzada de estas sustancias se cuenta con tanques específicos para cada líquido. En la zona de carga, para coleccionar los posibles derrames, se cuenta con diques.

Por lo que se refiere a la materia prima sólida, todas ellas son adquiridas en sacos y almacenados en pilas; de ahí, por medio de un transportador mecánico helicoidal son cargados a los equipos. En esta operación es en la que se generan pérdidas de polvos, los cuales son recolectados para su posterior disposición. En el almacén se presenta ocasionalmente la ruptura de sacos. Cuando esto llega a suceder, se procura utilizar el material en el próximo lote a fabricar. Durante su estancia en el almacén, los sacos se encuentran protegidos del sol y la lluvia; asimismo, para menguar las pérdidas por transferencia, el almacén se encuentra instalado cerca del área de proceso.

En la empresa estudiada se fabrican 20 clases diferentes de resinas entre las que figuran:

a) De usos generales: Normalmente son resinas de tipo rígido, de reactividad media. Son empleadas en laminados, moldeo, recubrimientos y vaciados.

b) Especiales para laminado: De reactividad media y de tipo semirígido. Frecuentemente estas resinas vienen estabilizadas con compuestos absorbedores de rayos ultravioleta para prevenir la degeneración de las propiedades iniciales por la luz.

c) Para recubrimientos: Son resinas en las cuales se busca principalmente estabilidad mecánica y alta resistencia química.

d) Flexibles: Generalmente tiene baja resistencia mecánica y química. Se utilizan en piezas en las cuales es indispensable la absorción de esfuerzos mecánicos.

e) Semiflexibles: Producen superficies sumamente tersas y brillantes cuando se utiliza en conjunto con fibra de vidrio, dando una mejor apariencia de la pieza moldeada.

f) Poliéster para moldeo: Son resinas de alta reactividad que permiten ciclos de curado muy cortos.

g) Poliésteres de baja reactividad: Su característica principal es la baja temperatura que se produce por la reacción exotérmica durante la polimerización.

Independientemente de lo expuesto anteriormente, en todos y cada uno de estos tipos pueden obtenerse diferentes propiedades alternando los tiempos de gelado, los monómeros de entrecruzamiento, etc.

Debido a esta amplia gama, para efectuar el balance de materia se escogió la resina M-70 (de usos generales), que es la de mayor demanda. Aproximadamente en un mes se producen 13 lotes en promedio de este producto y se eligió el reactor cinco, el cual es el de mayor capacidad (Tabla 5).

TABLA 5. DATOS DE ENTRADA A PROCESO: RESINA M-70, REACTOR-TANQUE DIVIDIDO 5

MATERIA PRIMA	OPERACION UNITARIA	CANTIDAD/ LOTE kg
Monopropilenglicol	Reacción	3476.1
Dipropilenglicol	Reacción	3366.4
Neopentilenglicol	Reacción	1314.0
Neopentilglicol	Reacción	1470.0
Amidrina maleica	Reacción	2247.0
Amidrina itálica	Reacción	1470.0
Ácido adipico	Reacción	1700.0
Ácido isoftálico	Reacción	2700.0
Aditivos	Reacción	0
Hidroquinona	Enfriamiento	1.05
Aditivos	Filtración	1.7
Hidroquinona	Filtración	1.40
Estireno	Filtración	2.80
Aditivos	Molienda	11.0
<b>TOTAL</b>		<b>28,143.2</b>

En el anexo f se presenta la información sobre el tiempo total de operación del reactor-tanque dividido 5, para producir M-70.

#### PASO 5. USO DEL AGUA DURANTE EL PROCESO

En el proceso de fabricación de resina poliéster insaturada

sólo se hace uso de agua como medio de enfriamiento. Como anteriormente se mencionó, durante la reacción de esterificación se forma agua como subproducto.

Únicamente el agua generada en el proceso pasa por un tratamiento antes de ser descargada a la red de alcantarillado municipal. El agua de uso sanitario es descargada sin ningún tratamiento al drenaje. Por lo que se refiere al agua de enfriamiento, se le agrega un suavizador para prevenir la deposición de sales. Esta agua se cambia cada seis meses y es descargada directamente al drenaje sin ningún tratamiento previo, a pesar de contener esos suavizadores.

La empresa cuenta con dos torres de enfriamiento. Ambas torres tienen muy baja eficiencia, un  $\Delta T$  menor de  $5^{\circ}\text{C}$ . Actualmente se está instalando una nueva torre que permitirá obtener un agua de enfriamiento con una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  y, por lo tanto, aumentará el  $\Delta T$  a un intervalo de  $20-25^{\circ}\text{C}$ . Las torres funcionan las 24 horas.

TABLA 6. USO DEL AGUA EN EL PROCESO

	TORRE 1	TORRE 2
CAPACIDAD	7 m <sup>3</sup>	9 m <sup>3</sup>
VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN	70 GPM	70 GPM
NÚMERO DE CIELOS	3	3

Mensualmente se reponen 2 m<sup>3</sup> de agua para ambas torres, debido a las pérdidas ocasionadas por evaporación y purgas.

Las purgas son descargadas al drenaje sin ningún tratamiento.

Para las dos torres se cuenta con una cisterna de 19 m<sup>3</sup> de capacidad.

No se lleva bitácora de operación de las torres de enfriamiento.

#### PASO 6. CORRIENTES DE RECIRCULACIÓN Y/O REUSO

En el proceso de fabricación de resina poliéster insaturada, no hay corrientes de recirculación (a excepción de las de recirculación de aceite térmico y agua de enfriamiento), ni reuso de residuos.

#### PASO 7. DELIMITACION DE SALIDAS

El proceso de fabricación de resina poliéster, es un proceso cerrado, donde únicamente se genera resina poliéster y agua.

En la tabla 7 se presentan los datos de salida del proceso.

TABLA 7. DATOS DE SALIDA. RESINA M-70, REACTOR-TANQUE  
EILVIDOR 8

COMPONENTE	OPERACIÓN UNITARIA	CANTIDAD kg/lote
Agua	Reacción	1475.60
Resina poliéster insaturada	Perdida como producto final	20665.0
<b>TOTAL</b>		<b>28141.8</b>

### PASO 8. CUANTIFICACIÓN DE AGUA RESIDUAL

Mensualmente en la planta se generan aproximadamente 79 toneladas de agua como subproducto.

Como se refirió anteriormente (ver capítulo 3), el agua generada en el proceso sigue un tratamiento antes de ser descargada al drenaje.

Actualmente, se están llevando a cabo investigaciones para mejorar el tratamiento y reducir al mínimo posible la presencia de contaminantes ya que el agua todavía cuenta con la presencia de olores (sustancias disueltas altamente volátiles).

Las condiciones a la descarga de la planta de tratamiento de agua se presentan en la tabla 8.

En el laboratorio no se realizan análisis de las aguas tratadas.

### PASO 9. CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES ATMOSFERICAS

Durante el proceso, las emisiones atmosféricas generadas son causadas por el hidrógeno de carbono utilizado como gas inerte, los gases de combustión provenientes de los calentadores de aceite térmico, así como los vapores ocasionados por el almacenamiento de compuestos orgánicos líquidos y, por último, los polvos generados durante la carga de materia prima sólida a los equipos.

TABLA 3. CONDICIONES DE AGUA DEL PROCESO DESPUÉS DE SU TRATAMIENTO (4)

CONDICIÓN	RESULTADO PROM. DIARIO	LÍMITE MÁXIMO	LÍMITE MÁXIMO
		PERMISIBLE (1) PROM. DIARIO	PERMISIBLE (1) INSTANTÁNEO
Temperatura °C	23	-	30
pH (unidades)	-	6.5	8.5
Sólidos. sedimentables mg/L	menos de 0.5	5.0	10.0
Grasas y aceites mg/L	41.87	50	100
Conductividad eléctrica µmho/cm	1210	5000	8000
Arsénico mg/L	N.D.E.	0.5	1.0
Aluminio mg/L	N.D.E.	10.0	5.0
Cadmio mg/L	N.D.E.	0.1	1.0
Cianuros mg/L	N.D.E.	1.0	2.0
Cobre mg/L	N.D.E.	0.5	10.0
Cromo hexavalente mg/L	N.D.E.	0.1	1.0
Cromo total mg/L	N.D.E.	0.1	5.0
Fierros mg/L	N.D.E.	1.0	5.0
Mercurio mg/L	N.D.E.	0.01	0.1
Níquel mg/L	N.D.E.	1.0	5.0
Tián mg/L	N.D.E.	0.1	10.0
Fenoles mg/L	N.D.E.	0.5	1.0
Plomo mg/L	N.D.E.	1.0	5.0
BOD <sub>5</sub> mg/L	22.5	10	15
DBO <sub>5</sub> mg/L	22.5	10	15

(1) NOM-001-ECOL-1989

(2) Los límites de contaminación para uso de recreación y piscicultura

Por lo que se refiere a las emisiones de bióxido de carbono, escapan a la atmósfera sin ningún tratamiento previo y es altamente probable que arrastren compuestos orgánicos durante la reacción, los cuales son los causantes de olores en la planta y sus alrededores.

No se cuenta con la composición de estos gases. Mensualmente se consumen 15 toneladas de bióxido de carbono.

Los compuestos orgánicos volátiles en la planta no han sido monitoreados. Este análisis es necesario puesto que se trabajan compuestos volátiles, principalmente el estireno, que son considerados tóxicos.

Las emisiones de gases de combustión según se puede observar en el capítulo anterior se encuentran dentro de las normas oficiales.

No se cuenta con equipo de control de emisiones en las chimeneas, se lleva bitácora de operación y mantenimiento de los calentadores con las variables que pueden medirse in situ (por ejemplo: presión de atomización de aceite, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, mancha de hollín, temperatura de salida de los gases, tipo de falla y reparación efectuada).

No se lleva bitácora de purgas y cambios de aceite térmico.

Para el caso de los polvos generados durante la carga de

sólidos a los equipos se cuenta con un colector de polvos; sin embargo, ha presentado muchos problemas de funcionamiento.

#### PASO 10. CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

Las cantidades y composición de los residuos sólidos y líquidos, así como su método de disposición fueron mencionados en el capítulo 3.

#### PASO 11. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PROCESO POR OPERACIÓN UNITARIA

La información compilada referente a las entradas y salidas del proceso de resina poliéster insaturada por operación unitaria es tabulada en el siguiente paso.

#### PASO 12. DERIVACIÓN PRELIMINAR DEL BALANCE DE MATERIA POR OPERACIÓN UNITARIA

REACCIÓN:	
R-COOH	18000.0 kg
R-OH	- 12000.0 kg
Aditivos	- 3.0 kg
Agua	- 1476.00 kg
TOTAL	15567.0 kg

ENFRIAMIENTO:	
Hidrogenocloro	- 1.25 kg

<b>DILUCIÓN:</b>		
Estireno	+	8000.0 kg
Hidroquinona	+	1.85 kg
Aditivos	-	1.7 kg

<b>MEZCLADO:</b>		
Aditivos	-	110 kg

<b>TOTAL:</b>		
Resina poliéster insaturada (Teórico)	=	26665.4 kg
Resina poliéster insaturada (Real)	=	26665.0 kg

**PASO 13. EVALUACIÓN DEL BALANCE DE MATERIA**

En este punto se compararán los datos de entrada con los de salida reales para conocer cuánto se pierde en el curso del proceso.

**ENTRADAS:**

28.143.2 kg (Materia prima)

**SALIDAS:**

-1.470.86 kg (Agua)

- 26665.0 kg (Resina poliéster insaturada)

**PÉRDIDAS:**

1.4 kg

**EFICIENCIA:**

94.747 %

**PASO 14. REFINACIÓN DEL BALANCE DE MATERIA**

En el proceso de fabricación de resina poliéster insaturada tipo M-70 se obtuvo una eficiencia del 94.75%, considerando la formación de agua como subproducto. A pesar de obtener

una eficiencia prácticamente alta se puede observar que se están perdiendo 1.4 kg de total de materia prima que entra por lote de resina fabricada. Estas pérdidas son ocasionadas por los polvos que caen en el momento de cargarlos a los equipos, materia prima y/o compuestos intermedarios que están siendo arrastrados por el burbujeo del gas inerte y el agua generada. También hay que considerar que se ocasionan pérdidas por estancamiento del producto terminado en los equipos, bombas y líneas de transferencia, sobre todo cuando se manejan resinas de altas viscosidades.

## CAPÍTULO V

### FASE 3. DISCUSIÓN, ANÁLISIS Y SÍNTESIS

Una vez analizado el balance de materia e identificadas las áreas que están generando los problemas ambientales, pérdidas de materia prima y/o producto se procederá a proponer medidas al corto, mediano y largo plazos para aumentar la eficiencia del proceso, y consecuentemente, disminuir la cantidad de emisiones a la atmósfera, residuos sólidos y líquidos. Esto incluye la evaluación de técnicas opcionales de producción, la sustitución de materias primas y el mejoramiento de los métodos de control de proceso. Por desgracia, si no hay opción, debe considerarse el empleo de equipo de control de contaminación.

Con la implantación de estas medidas se busca la obtención de beneficios ambientales y económicos, los cuales serán evaluados.

También se diseñará un plan de acción para la reducción de contaminantes.

#### **3.0 Medidas para la reducción de contaminantes**

Las diferentes medidas para alcanzar este objetivo

requieren de varios grados de esfuerzo, tiempo y recursos económicos. Estas medidas pueden ser clasificadas en dos grupos:

#### 3.0.1. Al corto plazo

Incluyen medidas obvias para la reducción de contaminantes, control de proceso, manejo de materiales, así como procedimientos administrativos, los cuales pueden ser implementados de manera rápida y económica.

#### 3.0.2. Al mediano y largo plazo

Involucran modificaciones a procesos o sustitución de los mismos para eliminar los problemas de contaminación. En estas medidas se incluyen los equipos de control de contaminación.

### PASO 15. MEDIDAS AL CORTO PLAZO

Conjuntando la información visual obtenida durante la recopilación de datos y la arrojada por el balance de materia se pueden implantar medidas en áreas y/o operaciones donde un simple ajuste en los procedimientos ayudaría a mejorar notablemente la eficiencia de los procesos para reducir las pérdidas innecesarias.

A continuación se menciona una lista de sugerencias, las cuales pueden ser implementadas inmediatamente con o sin generar grandes costos extras.

#### 15.1. Cambio de filosofía ambiental en la empresa

1. Concientizar a todo el personal que labora en la empresa en estudio sobre la inminente necesidad de proteger el ambiente, comenzando en primer lugar al nivel de la gerencia.

2. Elaborar documentos que contengan la filosofía de la empresa acerca de la protección ambiental, de la contaminación y, sobre todo, la de invitar a todos y cada uno de los trabajadores a participar en este importante proyecto.

#### 15.2 Ordenamiento de materia prima

1. Evitar lo más que se pueda, el consumo de anhídridos maleico y ftálico en estado sólido; de preferencia que se utilicen ya fundidos; para lo que se requerirá un constante programa de mantenimiento en el sistema de calentamiento, en el cual se están presentando las principales fallas y lo que ocasiona el consumo limitado de anhídridos fundidos. Con la implantación de esta acción se eliminaría la mayor generación de polvos y envolturas en las que se presentan estos materiales.

### 15.3. Recepción de materia prima

1. Demandar a los proveedores un estricto control de calidad en lo que se refiere a la composición de materia prima, puesto que el control sobre la misma es necesario para poder definir tanto cantidades, tiempo de reacción y calidad el producto final, para lo cual se deberá apoyar en métodos confiables y lo más sencillos posible para su desarrollo. Por ejemplo, los glicoles utilizados para fabricar resina poliéster insaturada pueden venir contaminados con otros glicoles y/o un exceso de agua, lo que equivaldría a tener que agregar más glicol para lograr una mejor esterificación. De la misma forma, los anhídridos llegan a presentar la presencia de otros compuestos o bien contener impurezas metálicas lo que pudiera ocasionar gelación prematura de la resina en proceso o ya fabricada. Para el caso del estireno es vital verificar la presencia de poliestireno para evitar la gelación de la resina o la polimerización del mismo en los tanques de almacenamiento.

En el anexo 6 se presenta un guía para el control de calidad en la recepción de materia prima.

2. Verificar que la materia prima no presente daños en la envoltura y/o contenedores, asimismo, debe contar con los sellos de seguridad pertenecientes al proveedor.

3. En caso que la materia prima no cumpla con los requisitos de composición y presentación el lote debe ser rechazado.

4. Constatar que el peso de los sacos y volumen suministrado sea el mismo que indica el proveedor.

#### 15.4. Almacén de materia prima

1. Corroborar diariamente el nivel de los tanques de almacenamiento para evitar derrames ya que no se cuenta con alarmas de nivel.

2. Dedicar tanques exclusivos para cada uno de los materiales líquidos suministrados. De esta manera se disminuye el riesgo por contaminación cruzada y, al mismo tiempo, se evita la necesidad de limpiar los tanques constantemente.

3. Colocar tambores exclusivos (los cuales deben estar etiquetados) para cada uno de los materiales sólidos y, en el caso de que algún saco se rompa, inmediatamente pueda ser vaciado en su respectivo tambor.

Estos materiales deben tratar de utilizarse lo más pronto posible.

4. En caso de presentarse alguna fuga en cualquiera de los tanques de almacenamiento, tubería o equipo la falla debe

ser inmediatamente reparada. (Cada tanque tiene diques de contención para aislar la fuga y recuperar el material).

#### 15.5. Carga de materia prima

1. Inmediatamente después de cargar la materia prima a los equipos es necesario barrer los polvos que han caído y colocarlos en un tambor exclusivo para que puedan ser procesados en la elaboración de resinas que no requieran de una transparencia considerable.

#### 15.6. Transparencias y manejo de materia prima

1. Para el caso de materia prima sólida es necesario minimizar el número de veces que los materiales son movidos de sitio para evitar la ruptura de sacos.

#### 15.7. Control de proceso

1. Tratar que todas las condiciones de proceso sean similares en todos los lotes que se fabriquen, tales condiciones son: orden de carga de materia prima a los equipos, temperatura de reacción, suministro de gas inerte y calor, velocidad de agitación, control de la columna empacada, entre otras.

2. Antes de cargar la materia prima a los reactores, dar un barrido con el gas inerte para desplazar el oxígeno presente y evitar el oscurecimiento de la resina.

3. Al principio de la reacción se forma un gran volumen de agua debido a la esterificación inicial. Esta agua se evapora rápidamente pero el vapor de agua arrastrará vapores de glicol en una concentración mayor cuanto más bajo sea el punto de ebullición del glicol utilizado y más rápida sea la velocidad de calentamiento. Por lo tanto, para un calentamiento rápido será necesario que el condensador de reflujo trabaje eficientemente, lo suficiente para condensar este gran volumen inicial de vapor.

Para lograr la mejor separación de la mezcla agua-glicoles se pueden llevar a cabo las siguientes precauciones:

- Trabajar el domo de la columna en un intervalo de temperatura de 88-95°C; de esta manera se asegura que sólo el agua esté saliendo en forma de vapor.
- Al mismo tiempo, para evitar la evaporación rápida de los glicoles es importante que una vez terminada la reacción exotérmica (la cual algunas veces llega a alcanzar temperaturas de 150°C), suministrar calor lentamente para aumentar la temperatura a una razón de 10°C por hora, hasta llegar a 180°C, manteniéndose así por dos horas. Como la temperatura es inferior al punto de ebullición de la mayoría de los glicoles utilizados, se reduce la pérdida de los mismos, así como de los demás materiales empleados, puesto que la reacción avanza

lentamente. De esta forma se incrementa el rendimiento final ya que se minimiza la pérdida de materiales.

Después, la temperatura se continúa elevando hasta 205-210°C, conservándose ahí hasta obtener el grado de polimerización deseado, llevando siempre un control riguroso de la temperatura, ya que a temperaturas diferentes a este intervalo disminuye considerablemente la velocidad de reacción (además, a temperaturas más altas existe el peligro de gelación prematura y se incrementa notablemente el color de la resina). En el como ya se mencionó, se presentan los análisis realizados de proceso en la fabricación de resina poliéster insaturada.

- Debido a que la reacción de esterificación es reversible, una reintroducción de agua en condiciones favorables transformará a los poliésteres en los reactivos iniciales. Por lo tanto, es necesario determinar el contenido de agua para mantener valores máximos de 0.1 al 0.15% en peso para resinas poliéster por varias razones, principalmente:

1. Para hacer patente que la esterificación ha avanzado lo requerido y que el condensador no ha funcionado mal.
2. No ha tenido lugar ninguna falla mecánica en el sistema de tuberías, permitiendo al agua penetrar en la resina. Aunque se pueden aplicar varios métodos, el contenido de agua puede determinarse mejor en las resinas

de poliéster por el método de valoración de Karl Fischer (Ver anexo 6).

3. Cuantificar los consumos diarios de diesel utilizado como combustible, lo mismo para el aceite térmico, ya que no se lleva un registro sobre los cambios del mismo

4. Llevar bitácora de operación del tanque de almacenamiento del gas inerte (bióxido de carbono), donde se indique: cantidad utilizada, temperatura y presión.

#### 15.8 Mantenimiento

1. Elaborar un programa de mantenimiento periódico para todos los instrumentos de medición (presión, temperatura y flujo) con los que cuenta la planta, incluyendo también las básculas.

2. Realizar mantenimiento preventivo cada vez que un lote es terminado, principalmente en los calentadores, bombas, tuberías y válvulas. Esta operación debe realizarse antes que el siguiente lote sea cargado.

3. Establecer y aplicar un programa permanente de detección y reparación de fugas en la planta.

### 15.2. Aplicación de medidas sobre el consumo de agua

1. Realizar un registro de cada una de las corrientes de agua que son vertidas al drenaje, incluidas purgas y otras descargas fugitivas.
2. Llevar una bitácora de funcionamiento de la torre de enfriamiento y realizar análisis sencillos de las condiciones del agua, tales como pH y sólidos totales, los cuales permitirán conocer las condiciones alcalinas del agua, principal problema de corrosión en los equipos y disminución de la eficiencia de transmisión de calor.

### **PASO 16. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE MAYOR PROBLEMA EN LA EMPRESA EN ESTUDIO**

Haciendo uso de toda la información recabada se lograron identificar las áreas con mayor problema en la fabricación de resina poliéster incaturada.

En la elaboración de este producto se detectaron como residuos problemáticos y en orden de prioridad los que a continuación se mencionan:

1. Olores dentro de las instalaciones de la planta y alrededores a la misma (pérdida de compuestos orgánicos volátiles, COVs, promotores de la formación de ozono en el Valle de México).

2. Olor del agua tratada (con las mismas agravantes que las fugas anteriores).

3. Generación de polvos (con las mismas agravantes que las fugas anteriores).

En las opciones al mediano y largo plazo se analizarán las medidas con las que se podrían minimizar estos contaminantes.

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

#### **PASO 17. SEGREGACIÓN DE RESIDUOS**

La segregación de residuos ofrece posibilidades de reusar, reciclar y separar este "residuo" para evitar la necesidad de darles tratamientos para estabilizarlos y/o mandarlos a disposición y/o confinamiento.

En la empresa en estudio se puede evitar el envío de contenedores con barreduras (polvos que caen en el momento de ser cargados a los equipos), si en su lugar son recolectados, sin mezclarlos, para ser posteriormente utilizados en la fabricación de resinas oscuras.

#### **PASO 18. OPCIONES AL MEDIANO Y LARGOS PLAZO PARA LA REDUCCIÓN DE RESIDUOS**

Los problemas de generación de residuos no pueden sólo ser resueltos con la implantación de simples ajustes en los

procedimientos de almacenamiento, producción y mantenimiento sino que, al mismo tiempo, se requiere de realizar cambios a largo plazo en la planta.

Por lo que se refiere a la tecnología de fabricación de resina poliéster insaturada ésta no ha sido modificada, lo que no significa que no exista otra alternativa de fabricación (4.21). Habrá que iniciar estudios en esta dirección al mediano plazo.

#### 18.1 Medidas al largo plazo para control de proceso

Algunas modificaciones al proceso que pueden ser aplicadas son:

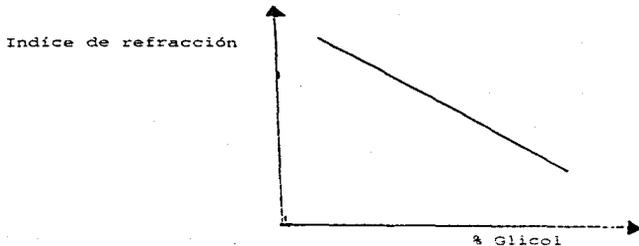
1. Evaluar la posibilidad tecnológica y económica de cambiar el empaque de la columna empacada (actualmente se encuentra empacada con anillos Raschig de acero con un diámetro nominal de 19 mm) por anillos Raschig de cerámica con un diámetro nominal de 6 mm el cual reduciría notablemente el porcentaje de espacios vacíos de un 30% a un 62% aumentando con ello el área de transferencia y, consecuentemente, la eficiencia de separación de la mezcla agua-glicoles o bien, apreciar la posibilidad de acomodar los empaques actuales para reducir los espacios vacíos (23).

2. Un buen control en la columna mejora su eficiencia. Sería conveniente colocar instrumentación que permita realizar mediciones de temperatura y flujo, tanto en el

domo como en fondo de la columna, ya que sólo se cuenta con un indicador de temperatura en el domo.

3. Realizar análisis para determinar la composición del líquido destilado; por ejemplo, evaluar el índice de refracción, para lo cual se debe contar con una curva patrón que auxilie en detectar de una forma rápida la presencia de glicoles en el líquido destilado (ver curva 1).

CURVA 1. Curva típica para el control de la composición del destilado



4. Colocar un sistema de vacío para que en el momento en el cual la velocidad de esterificación y la consecuente formación de agua comience a descender, dicha agua pueda ser eliminada, aumentando la eficiencia final de la reacción.

5. La realización lote a lote de un producto con el mismo perfil de calidad, asegurando que los tiempos de proceso, condiciones del mismo y materiales sean lo más estables posible es la razón fundamental del mejoramiento y la calidad. Para poder lograr la repetitividad de cada operación, proceso y producto terminado es necesario auxiliarse del control estadístico de proceso.

6. El control estadístico de proceso es una herramienta de recolección, organización, presentación y análisis de datos de las características y elementos de los productos y procesos, con el fin de minimizar las desviaciones, mediante la inferencia y extracción del comportamiento a través del tiempo y de esta forma cumplir consistentemente con los requisitos de calidad requeridos. Por estas razones, es vital empezar a trabajar en la implantación de métodos estadísticos, los cuales no son llevados a cabo por la empresa en la actualidad.

### 12.2 Equipos para el control de contaminantes

Debido a que las opciones mencionadas anteriormente (la sustitución de materias primas, manejo de materiales y el mejoramiento de los métodos de control de proceso), no logran del todo disminuir notablemente la generación de contaminantes, debe considerarse el empleo de equipo de control de los mismos. En vista de los costos relativamente elevados, es esencial una selección adecuada del equipo,

que debe concebirse para cumplir con los límites reglamentarios mexicanos, ya que las irregularidades están sujetas a penas severas.

Por lo general, la opción final en la selección del equipo está determinada por la capacidad de éste para cumplir con las normas oficiales, el costo uniforme anual más bajo (inversión del capital más costos de operación y mantenimiento), vida útil del equipo, espacio disponible, disponibilidad de servicios auxiliares, mínima contribución de contaminación del propio sistema de control, ya sea al aire, suelo y/o agua y las características de los contaminantes (es decir, propiedades físicas y químicas, concentración, distribución de forma y tamaño en caso de ser partículas, reactividad química, corrosividad, etc). Sin embargo, se puede realizar una selección preliminar, mediante la revisión de ventajas y desventajas de cada uno de los equipos de control (23).

#### 18.2.1. Equipo para el control de olores en la planta

Los olores generados dentro de la planta son consecuencia del arrastre de materia prima y compuestos orgánicos de bajo peso molecular generados durante la reacción y que están siendo acarreados por el gas inerte utilizado en el proceso. Este gas, una vez tratado, no se puede reutilizar en planta ya que resultaría incoesteable, debido a que para su reuso se requeriría de un circuito cerrado que comprenda

el sistema de control de gases y un sistema de compresión para poder introducirlo nuevamente al proceso. Sería, de cualquier forma, conveniente realizar un estudio de costo-beneficio.

#### 18.2.1.1. Estudio de los equipos de control

No se cuenta con los datos de composición a la salida del gas de arrastre, temperatura y flujo total promedio a tratar.

Es necesario realizar análisis para contar con estos datos para que se pueda hacer una mejor elección del equipo de control.

Existen cuatro métodos para el control de las emisiones gaseosas:

##### a) Adsorción

Algunos contaminantes pueden ser removidos por su adsorción en una superficie sólida. La adherencia de la fase adsorbida en el adsorbente es debida a fuerzas de atracción intermoleculares (van der Waals) entre ambos. La adsorción es reversible, la fase adsorbida es comúnmente removida del adsorbente introduciendo una corriente de vapor o vacío.

#### a.1. Ventajas

1. Magnífico control y respuesta a los cambios de las condiciones de proceso.
2. Capacidad de utilizar sistemas totalmente automáticos y operar sin personal, reduciendo errores humanos y contaminación intramuros.
3. Capacidad de eliminación de los contaminantes gaseosos o en forma de vapor de las corrientes de proceso hasta niveles extremadamente bajos.

#### a.2. Desventajas

1. Se deteriora progresivamente la capacidad del adsorbente a medida que se incrementa el número de ciclos.
2. La regeneración del adsorbente requiere de una fuente de vapor o vacío. La empresa no cuenta con ninguno de estos dos servicios auxiliares, lo que aumentaría notablemente el costo del equipo.
3. Costo de capital relativamente elevado.

## b) Absorción

En este proceso las sustancias no se retienen en la superficie sino que, pasando a su través, penetran y se distribuyen por todo el cuerpo del líquido, si es absorción gas-líquido; generalmente se utiliza un solvente de bajo costo para lavar los gases (como el agua, si es que son solubles en ella y se pueden enviar a tratamiento a la planta ya existente recirculándola nuevamente).

### b.1. Ventajas

1. Costo de capital relativamente bajo.
2. Requerimiento de espacio relativamente pequeño.
3. Capacidad para lograr eficiencias de transferencia de masa relativamente altas.

### b.2 Desventajas

1. Aumentaría el problema para la colocación final del agua, sin embargo, hay que tomar en cuenta que el gas inerte ya no está arrastrando una gran cantidad de vapores orgánicos puesto que el  $\text{CO}_2$  antes de ser descargado a la atmósfera pasa por la columna empacada lo que ayuda a que una gran cantidad de vapores se condensen y regresen al reactor, por lo que, el flujo de agua necesario para

lavarlos no sería demasiado y además se tendría la ventaja de utilizar el agua ya tratada de la misma planta.

2. Costos de mantenimiento relativamente elevados.

### c) Combustión

La combustión involucra una serie de reacciones químicas complejas en las cuales el oxígeno es combinado con moléculas orgánicas para convertirlas en  $\text{CO}_2$  y agua.

#### c.1. Ventajas

1. Sencillez de operación.
2. Capacidad para generar vapor o recuperar calor en otras formas.
3. Capacidad de destruir completamente los componentes orgánicos.

#### c.2 Desventajas

1. Posibilidad de retroinflamación con el subsecuente riesgo de explosión. Este riesgo aumenta, ya que el gas a tratar es  $\text{CO}_2$  y no es un flujo constante, por lo que se necesitaría contar con un soplador que permitiera mantener siempre la reacción de combustión.

2. Costos de operación elevados (en especial, los relacionados con el combustible).

3. Envenenamiento del catalizador (en el caso de incineradores catalíticos), con su consecuente método de disposición.

4. La combustión puede ser incompleta y crear más problemas de contaminación.

#### d. Condensación

Esta técnica se utiliza para tratar una corriente de salida, que consta de un vapor contaminante condensable y un gas incondensable. Un método para eliminar este tipo de contaminantes presentes en una corriente de gas de proceso es la condensación del vapor.

##### d.1. Desventajas

El gas de arrastre antes de ser arrojado a la atmósfera pasa por la columna de enfriamiento lo mismo que el agua generada durante la reacción, por lo que no sólo viene con grandes cantidades de incondensables sino también con vapor condensable, lo que ocasionaría utilizar grandes volúmenes de agua para su condensación.

#### 18.2.1.2. Opción propuesta

Estudiando las alternativas anteriores se puede ver que la mejor opción es tratar la corriente gaseosa con un sistema de absorción. Con este sistema se tiene la ventaja de poder reutilizar el agua generada en la reacción una vez ya tratada en lugar de vertirla al drenaje. También debe tomarse en cuenta que el flujo de agua generada por el lavado de gases se puede tratar en la misma planta de tratamiento de aguas ya que ésta no trabaja al 100% de su capacidad.

#### 18.2.2. Equipo para el control de olores del agua tratada

A pesar de que el agua generada durante la reacción de esterificación sigue un tratamiento primario (igualación, neutralización, coagulación-floculación, sedimentación y filtración) antes de ser descargada al drenaje sigue teniendo la presencia de olores, debido a que queda en el agua fundamentalmente materia orgánica disuelta tal como lo indican los parámetros de DBO<sub>5</sub>= 865.0 y DQO= 288.4 mg/L. Esta materia orgánica disuelta es susceptible de ser removida mediante un tratamiento terciario para la disposición final del agua tratada y/o reuso.

La remoción eficiente de estos parámetros se logra llevando el efluente contaminado con estos índices elevados a través de trenes de tratamiento compuestos por unidades que

permitan una depuración homogénea del agua a tratar (siempre y cuando sea factible).

#### 18.2.2.1. Estudio de los equipos de control

La depuración del agua se logra de tres maneras, de forma biológica, física o química, en donde las más usuales y económicas son la biológica y una combinación de un sistema físico-químico, puesto que la forma física solamente funciona para sustancias en suspensión.

Para este caso, dependiendo de estudios de biodegradabilidad, se propone utilizar la combinación del proceso biológico y físico-químico, siguiendo y aprovechando los equipos con los que se cuenta actualmente, para un posterior reuso del agua en la planta.

#### 1. Sistemas biológicos

Con el uso del sistema biológico los compuestos orgánicos biodegradables en solución se convierten en compuestos orgánicos en suspensión que, al ser floculados, se eliminan al sedimentarse por gravedad y posteriormente se estabilizan para disponer de ellos.

Para la elección preliminar del sistema biológico a proponer se efectuará el análisis comparando los reactores biológicos con un medio fijo o filtros de goteo, reactores

biológicos giratorios y lodos activados. Las lagunas no se consideraron debido a que ocupan mucha espacio.

a) Reactores biológicos con un medio fijo o filtros de goteo

En este tipo de proceso las aguas de desperdicio se diseminan sobre la superficie de un medio sólido donde crecen los microbios, que metabolizan los compuestos orgánicos de las aguas que fluyen sobre el medio fijo. El oxígeno del aire permite que ocurran reacciones aerobias en la superficie de la capa microbiana, pero en el fondo de esta capa, donde el oxígeno no penetra, tiene lugar un metabolismo anaerobio.

Por lo general, el agua se introduce a través de un distribuidor giratorio o una tobera de rocío fijo. El rocío se descarga por encima del medio de soporte (usualmente de plástico) permitiendo una mejor distribución sobre el medio y la transferencia de oxígeno antes. El efluente que sale del medio de soporte se recolecta en un tanque colocado debajo. Es importante que el fondo del filtro de goteo esté abierto al aire, para que éste recircule rápidamente y lleve el oxígeno necesario para las reacciones microbianas.

Los tiempos cortos de residencia del fluido en este tipo de reactores es su principal desventaja si se desea obtener un agua de mejor calidad.

#### b) Reactores biológicos giratorios

Son también reactores biológicos de un medio fijo, sólo que éstos contienen una serie de discos circulares de plástico, donde a medida que los discos se desplazan a través del agua, se les adhiere una pequeña capa de agua con contaminantes. Cuando los discos salen a la atmósfera, los microbios sobre la superficie del disco oxidan los compuestos orgánicos.

Este tipo de equipo es muy popular para el tratamiento de agua por su tamaño relativamente pequeño. Su desventaja es que solamente puede tratar cantidades relativamente bajas de aguas residuales (para que sean costeables).

#### c) Lodos activados

En el proceso de lodos o sedimentos activados se utiliza un reactor perfectamente mezclado en el que los sólidos en suspensión, o sea, los microorganismos, reaccionan con los compuestos orgánicos disueltos y generan nuevos sólidos microbianos que son enviados a un tanque de sedimentación para la separación de sólidos y agua tratada. Por lo general, parte de los microorganismos se reciclan del tanque de sedimentación al de aireación como reactivo, catalizador y minireactor y como se producen más sólidos que los que se pueden oxidar, siempre existen algunos sólidos que deben desecharse continuamente del sistema de lodos activados. Este es un problema bastante serio e

implica costos de aproximadamente el 100% de los del propio reactor.

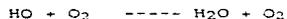
Generalmente, los tiempos de residencia son cortos, en promedio de 5 a 18 horas, dependiendo de la biodegradabilidad, lográndose una alta calidad en el efluente. Una desventaja es que los consumos de energía son de casi tres veces los de los reactores biológicos giratorios.

## 2 Sistemas físico-químicos

Para reusar el agua proveniente de la planta de tratamiento de agua es necesario colocar un sistema físico-químico de oxidación, tal como la inducción de ozono o rayos UV para oxidar cualquier remanente de materia orgánica en el agua.

### a) Ozono

Tiene las ventajas de no producir sólidos disueltos, es un efectivo virucida y bactericida, se decompone fácilmente a oxígeno por las siguientes reacciones:



Los radicales libres  $HO_2$  y  $HO$  tienen un gran poder de oxidación y probablemente son los centros activos para los procesos de desinfección.

Tienen la principal desventaja de necesitar mucha seguridad al manejarlo.

c) Rayos UV

Los rayos UV descomponen los enlaces complejos en enlaces más sencillos.

Tiene la ventajas de ser un efectivo bactericida y virucida, no contribuye a la formación de compuestos orgánicos y no causar efectos adversos al ambiente. La desventaja está en el costo de la fuente de luz ultravioleta y la energía consumida.

18.2.2.2. Opción propuesta

Debido a que el diseño de la planta de tratamiento es de 5  $m^3/día$  y el caudal a tratar en la empresa en estudio es menos de 3  $m^3/día$ , si la planta opera al 100% de su capacidad productiva y los equipos con los que se cuenta están diseñados para manejar este flujo, podría solamente verificarse si los contaminantes son biodegradables. Esto, si fuera positivo permitiría usar, ya sea todos activados o reactores biológicos dependiendo de los estudios técnicos y económicos, ya que ambos tienen cortos tiempos de

residencia y alta eficiencia de tratamiento, acoplado al sistema fisicoquímico existente.

Por lo que se refiere a la decisión de colocar un sistema de ozonización o rayos UV, se inclinaria por rayos UV, por el factor de seguridad, ya que la planta de tratamiento de agua está situada a unos pocos metros de los tanques de almacenamiento de resina y estireno, materiales sumamente inflamables, lo cual sería contraproducente en caso de presentarse alguna fuga de ozono.

#### 18.2.3. Equipo de control para la disminución de partículas

Las emisiones de polvos se disminuyen utilizando anhídridos líquidos en lugar de sólidos, sin embargo restan otros materiales que se presentan en el mercado sólo en estado sólido, como es el caso de neopentilglicol, ácido isoftálico, ácido adípico y algunos aditivos.

Por ello, se realizará también un análisis preliminar de selección de equipo.

##### 18.2.3.1. Estudio preliminar de los equipos de control

Se requiere recolectar los polvos para su posterior uso en la planta. Los polvos utilizados en la fabricación de resina poliéster son ácidos e higroscópicos. La carga a los equipos no es de manera continua y, tomando en cuenta que la mayoría de las resinas se procesan en 28 horas en

promedio y su carga se realiza aproximadamente en 20 minutos, se tienen los siguientes comentarios.

Con estos requerimientos se descartan de antemano los depuradores en húmedo y los precipitadores electrostáticos (los cuales están diseñados para operaciones continuas y son sumamente sensibles a los cambios en las condiciones de las partículas. Queda solo por analizar el uso de los ciclones y los filtros de bolsas.

a) Ciclones

a.1 Ventajas

1. Bajo costo de construcción.
2. Equipo relativamente sencillo con pocos problemas de mantenimiento.
3. Recolección final en seco.
4. Requerimientos de espacios relativamente pequeños.

b.1 Desventajas

1. Eficiencia de recolección de partículas relativamente baja.

b) Filtros de bolsas

b.1 Ventajas

1. Eficiencia muy alta de recolección de partículas gruesas y finas.
2. Relativamente sensible a las variaciones de la corriente del gas.
3. El material se recupera en seco.
4. Operación relativamente sencilla.

b.2. Desventajas

1. Requerimientos de mantenimiento relativamente altos (reemplazo de las bolsas, etc).
2. Se acorta la vida de las telas en presencia de ácidos.
3. Los materiales higroscópicos pueden causar el taponamiento de la tela, o bien, requerir aditivos especiales.

#### 18.2.3.2. Opción propuesta

Como se puede observar la mejor alternativa es el uso de ciciones de alta eficiencia, ya que los filtros de bolsas ocasionarían muchos problemas.

#### 18.3 Otras medidas al largo plazo

1. Debido al incremento del CO<sub>2</sub> en los últimos años por ser uno de los principales gases que ocasionan el efecto invernadero sería recomendable evaluar la posibilidad de utilizar en su lugar gas nitrógeno. Además el nitrógeno no contiene oxígeno, lo que disminuiría la oxidación de la resina (curva 2).

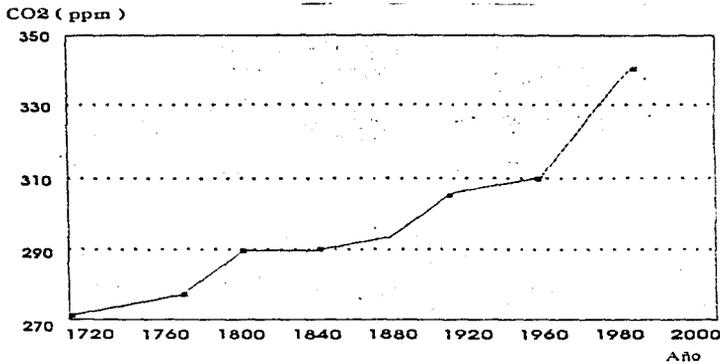
2. La empresa estudiada, como proveedora de resina poliéster insaturada, tiene la obligación de que su producto (ya en su aplicación final), genere la menor cantidad de compuestos orgánicos volátiles (principalmente las emisiones de estireno), para lo cual es necesario llevar a cabo investigaciones para determinar el peso molecular promedio de la resina en el cual las emisiones de compuestos orgánicos volátiles son mínimas (curva 2).

3. Realizar una auditoría energética para cuantificar el consumo de energía en la planta y poder tomar medidas para la reducción de su consumo.

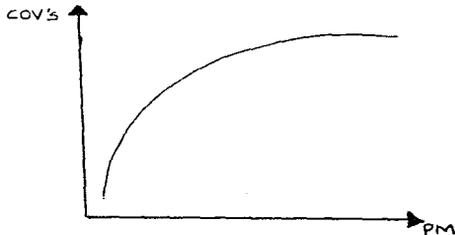
4. A pesar que los productos derivados de la combustión de diesel se encuentran bajo control, sería conveniente

realizar un estudio más profundo con el fin de conocer si las condiciones de las chimeneas son las más idóneas para la correcta dispersión de contaminantes y el ahorro energético.

CURVA 2. Incremento atmosférico de CO<sub>2</sub> (ppm)



CURVA 3. Variación de los compuestos orgánicos volátiles en función del peso molecular (PM)



## PASO 19. EVALUACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA

Anteriormente se propusieron opciones destinadas a la modificación del proceso de fabricación de resina poliéster insaturada para eliminar, hasta donde sea posible, el problema de la contaminación generada por la empresa en estudio. Con la implantación de estas medidas se busca obtener beneficios ambientales y económicos, los cuales se mencionan a continuación:

### 19.1 Evaluación ambiental

Con el tratamiento que se propone para tratar el agua generada en el proceso se aumentará la cantidad de lodos que tendrán que ser mandados a disposición. Sin embargo, si se logra operar eficientemente la planta de tratamiento, el efluente puede ser utilizado como agente para lavar el gas inerte, antes de ser desechado a la atmósfera; asimismo, puede ser utilizado en el sistema de enfriamiento de la planta.

En lo que se refiere a la recolección de los polvos, si éstos son recolectados para su posterior consumo, se evita el costo de mandarlos a disposición.

Con la implantación de las medidas planteadas se aumentaría notablemente la eficiencia del proceso, la salud de los trabajadores y la población vecina y en un futuro cercano

permitiría a la empresa competir a nivel mundial, puesto que actualmente es necesario cumplir con los requisitos de los estándares internacionales de certificación ambiental (ISO 14000) para obtener beneficios comerciales (11).

#### 19.2 Evaluación económica

Las opciones expuestas buscan disminuir la cantidad de residuos que son mandados actualmente a disposición, así como evitar las multas en las que se incurre por no cumplir con la legislación ambiental, sin olvidar que con un tratamiento eficiente del agua se evitaría el consumo externo de este servicio y el consecuente pago, ya que hay generación de este insumo por reacción química. La tabla 9 presenta algunos de estos rubros.

TABLA 9. EVALUACION ECONOMICA MENSUAL (DICIEMBRE, 1994)

	COSTO ACTUAL \$	AHORRO \$	COSTO FUTURO \$
Tambores de lodos a disposición	5800 (11)	-	5800 (11)
Tambores de balaas a disposición	450	-450	-
Tambores de polvos a disposición	500	-500	-
Multas (11)	18.000	-18.000	-
Agua (11)	7.000	-7.000	-
<b>TOTAL</b>	<b>11.750</b>	<b>-23.450</b>	<b>5800</b>

(i). La cantidad de lodos aumentará con la implantación de un tratamiento biológico y/o químico, aunque dependerá del sistema seleccionado.

(ii). Dato promedio mensual. Este dato es arbitrario.

(iii). Consumo mensual promedio.

Como se puede ver al aplicar las medidas propuestas se obtiene una reducción aproximada del 80% en los costos de disposición de los residuos y el pago de multas; asimismo, con el tratamiento eficiente del agua generada en la reacción se reduciría el consumo externo de agua, ya que se abastecería a toda la planta así como a las otras compañías asociadas.

PASO 20. Diseño e implantación de un plan de acción para la reducción de residuos y para alcanzar una mejor eficiencia

Debido al alcance de este trabajo por falta de mayor información analítica, no es factible realizar un plan de acción detallado para cada una de las opciones propuestas por lo que se da una visión general del mismo.

Antes que llevar a cabo el plan de acción es necesario convencer a todos los miembros de la empresa, principalmente al nivel gerencial, sobre el hecho de que es más eficiente y económico prevenir su generación que tratar los contaminantes.

Las medidas al corto plazo no requieren de grandes esfuerzos para llevarse a cabo, con simples ajustes en los procedimientos de trabajo pueden ser implantadas y siempre ser vigiladas para su correcto cumplimiento.

Por lo que se refiere a las medidas al mediano y largo plazos, como la mayoría se refieren al reemplazamiento y/o compra de equipo, deben efectuarse análisis más precisos y confiables sobre los factores de ingeniería, ambientales y económicos de las opciones mismas para encontrar las más adecuadas.

A continuación se desglosan algunos puntos a considerar.  
en orden de importancia:

#### FACTORES DE INGENIERÍA

1. Llevar a cabo análisis cualitativos y cuantitativos de los componentes a tratar.
2. Conocer las condiciones promedio de los componentes (flujo, pH, temperatura, presión, viscosidad, etc).
3. Características de diseño y funcionamiento del sistema de control.

#### FACTORES AMBIENTALES

1. Espacio disponible, disponibilidad de servicios auxiliares, contribuciones adversas del sistema de control hacia el ambiente mismo.

#### FACTORES ECONÓMICOS

1. Costos de capital (equipo, instalación, ingeniería, etc)
2. Costos de operación (servicios, mantenimiento y el costo de ciclo de vida, durante la vida útil esperada del equipo).

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la implantación de los opciones propuestas no sólo se desea cumplir con la legislación ambiental mexicana sino que, a la vez, se busca la aplicación de estrategias para la mejora continua del proceso haciéndolo de esta forma más eficiente; la disminución de los impactos ambientales del producto a lo largo de su ciclo de vida (consumo de materia prima, proceso y uso final); así como la conservación de los recursos naturales y la energía. Paralelamente, se buscó obtener un beneficio económico, aproximadamente un ahorro del 50% en los costos de disposición y multas.

Las recomendaciones hechas anteriormente deben ser analizadas por la gerencia, tanto desde el punto de vista ambiental, como técnico y económico para definir las más convenientes, así como para formular los planes a seguir para su implantación. Este trabajo es un esbozo general que servirá como base para realizar una auditoría ambiental más detallada con la ayuda de datos específicos y confiables.

No hay que olvidar que el cambio de actitudes administrativas y éticas es la base para el cumplimiento de los objetivos señalados, los cuales redundarán la obtención de beneficios adicionales tales como una imagen de

eficiencia, cumplimiento y buena calidad ante los mercados  
consumidores.

## CAPÍTULO VII

### ANEXOS

#### ANEXO 1. ADITIVOS UTILIZADOS EN LA FORMULACIÓN DE RESINA POLIESTER INSATURADA

**ADITIVO.-** Es todo aquel producto cuya finalidad es, modificar las propiedades del polímero.

De acuerdo con esta definición se pueden clasificar los aditivos en los siguientes grupos:

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 1. CARGAS INERTES                    | Aumentar peso y volumen,<br>disminuir peso, bajar<br>densidad, y/o modificar las<br>propiedades mecánicas.  |
| 2. ADITIVOS DE FUNCIÓN<br>ESPECÍFICA | Absorbedores de luz UV,<br>humectantes, depresores de<br>viscosidad, agentes ligantes,<br>dispersantes, niveladores de<br>superficie, eliminadores de<br>aire, agentes tixotrópicos,<br>retardantes a la flama,<br>agentes de secado,<br>colorantes (pigmentos) |
| 3. ADITIVOS REACTIVOS                | Promotores, co-promotores   |

A continuación se detalla cada uno:

### **1. Cargas inertes**

Las cargas inertes se usan para:

- i. Reducir costos
- ii. Proporcionar determinadas características físico-mecánicas al polímero.

#### **1.1 Características**

Las características que deben presentar las cargas inertes para poder ser utilizadas son:

- Inercia química
- Máxima pureza
- Porosidad y absorción mínimas
- Variedad en las dimensiones de los granos para facilitar su empleo
- Facilidad de dispersión
- Bajo costo
- 

Entre las cargas más comúnmente usadas se pueden mencionar las siguientes:

Alúmina, barita, microesfera de vidrio, caolín, talco, carbonato de calcio precipitado, carbonato de magnesio, piedra pómez molida, sílice, cuarzo, tierra diatomácea calcinada, polvo de aluminio.

### 1.2. Ventajas

- \* Aumento de la resistencia a la compresión y del módulo de elasticidad
- \* Menor peligro de fracturas (grietas) en el producto terminado, ya que disminuye el porcentaje de contracción de la resina
- \* Mejor aspecto y terminación de las superficies

### 1.3. Selección

- i. Una valoración comparativa entre el costo y las propiedades físico-químicas y mecánicas del producto a elaborar
- ii. Influencia de las cargas sobre el proceso que conduce a la polimerización de la resina
- iii. Naturaleza del medio con el cual habrá de permanecer en contacto el producto terminado
- iv. La proporción a usar de la carga con respecto al peso de la resina, depende de la naturaleza de la

carga y del efecto de la viscosidad resultante al mezclarla con la resina

## **2. Aditivos de función específica**

Como su nombre lo indica, estos productos se utilizan para obtener propiedades específicas en el polímero.

La selección de un aditivo de función específica se debe basar en una comparación del costo-beneficio y las propiedades deseadas en:

- i. El producto terminado
- ii. El proceso de fabricación
- iii. Vida útil de la resina

La proporción a usar de un aditivo de este tipo es pequeña y, normalmente es el fabricante del aditivo el que sugiere la relación a usar, variando ésta entre el 0.1 a 5% máximo en peso del aditivo con respecto a los sólidos de la resina. La principal desventaja que presenta el uso de aditivos de función específica es el costo de estos, ya que aún cuando el porcentaje a usar es pequeño, el costo final de la resina al incluirlo se ve incrementado de manera apreciable. Los aditivos de función específica más comúnmente utilizados son:

- Absorbedores de luz ultravioleta.- Proporciona mayor resistencia a la degradación provocada por la acción de los rayos UV cuando el producto terminado va a tener un uso a la intemperie.
- Humectantes.- Logran que la humectación de las cargas se realice de manera fácil.
- Depresores de viscosidad.- Productos que permiten abatir la viscosidad de una resina sin modificar su porcentaje de sólidos. Ej. Zirconatos y titanatos.
- Agentes ligantes.- Aumentan la fuerza de adhesión entre resina y carga. Estos aditivos son para tratar las cargas. Ej. Titanatos, silanos y zirconatos.
- Dispersantes.- Tienen la función de facilitar la integración de ciertas cargas y pigmentos en la resina y además mantener una emulsión estable.
- Eliminadores de aire.- Cambian la tensión superficial de la resina y facilitan la exclusión del aire atrapado en la resina.
- Agentes tixotrópicos.- Evitan que la resina se escurra al ser aplicada aún en superficies verticales.
- Retardantes a la flama.- Aumentan el efecto ignífugo de una resina con características de retardancia a la flama. Ej. Trióxido de antimonio, parafina clorada, alúmina hidratada.

- Niveladores de superficie.- Permiten obtener superficies lisas y homogéneas. Ej Silicones y parafinas.
- Agentes de secado.- Se obtienen superficies tersas y secas. Ej. Parafina, ceras y emulsiones de ambas.
- Colorantes.- Proporcionan el color deseado a la pieza terminada. Hay colores orgánicos e inorgánicos.

•

Entre los aditivos especiales pueden ennumerarse algunas cargas destinadas a modificar determinadas propiedades. Los polvos metálicos proporcionan mayor conductividad térmica, el grafito aumenta la conductividad eléctrica.

### 3. Aditivos reactivos

Estos aditivos se utilizan para lograr la polimerización de la resina.

#### 3.1 Selección

La selección de los aditivos reactivos debe hacerse de acuerdo a:

- i. Tipo de proceso productivo
- ii. Tipo de acabado requerido en el producto terminado.

### 3.2 Promotores

Son productos químicos que activan la descomposición de un catalizador, tipo peróxido, a temperaturas inferiores a las que tiene normalmente su descomposición es decir, estos productos permiten controlar el tiempo de vida útil de la resina durante el proceso de fabricación de piezas.

Sus características generales son las siguientes:

- Compatibilidad con resina poliéster o solubilidad en un producto compatible con ellas.
- No tóxico
- Bajo costo

Libre de coloración después del curado de la resina.

Los promotores más comúnmente usados son:

1. Nattolato u octato de cobalto al 6 y 12% (se utilizó entre 0.1-2% peso de la resina)	Ampliamente usado por su eficiencia y costo, empleado principalmente en procesos que se realizan a temperatura ambiente. Proporciona una ligera coloración rosada a la resina.
2. Temperatura de proceso	Esta variable actúa como un promotor o acelerador en procesos realizados a temperatura ambiente.

### 3.3. Co-promotores

Son productos cuya finalidad es la de obtener tiempos de curado cortos, teniendo tiempos de gelado normales.

Los co-promotores más utilizados son:

- Dimetilanilina.- Tiene la desventaja de proporcionar color a la resina
- Dietilanilina.- Poder de aceleración menor que la dimetilanilina.
- Etil aceto acetato.-Influencia minima en el tiempo de gelado, acortando los tiempos de curado de la resina (0.1 a 0.2)

ANEXO 2

HOJAS DE SEGURIDAD

APLICACIÓN : RESINA POLIÉSTER INSATURADA

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

NOMBRE DEL PRODUCTO RESINA POLIESTER INSATURADA		NOMBRE QUIMICO O FAMILIA RESINA POLIESTER INSATURADA	
PESO MOLECULAR 4000 - 10000		FORMA DEL EMBARQUE: TAMBOR DE 200 LITROS EN SOLUCION	
No. UN: 1950	IMO CLASS 3.3	CLASE DE RIESGO LIQUIDO INFLAMABLE	

COMPONENTES PELIGROSOS

O DE RIESGO  EXTREMO ALTO MODERADO LIGERO MINIMO	FUEGO SALUD  REACTIVIDAD ESPECIAL	CODIGO NFPA	COMPONENTE RESINA POLIESTER INSATURADA (MONOMEROS) DE MONOMERO DE ENTRENDO (MONOMEROS)
		CONCENTRACION DE EXPOSICION NO DETERMINADA (NO VERIFICADO)	

PROPIEDADES FISICAS-QUIMICAS

INTERVALO DE EBULLICION (°C): 100 - 190	PESO ESPECIFICO (AGUA = 1) 1.10 - 1.20
PRESION DE VAPOR (mmHg °C): 0.02	PORCENTAJE DE VOLATILES EN VOLUMEN 20 - 25
DENSIDAD DE VAPOR (AIRE = 1): 3.23	INTERVALO DE EVAPORACION (ETHER = 1) 1.0 - 1.5
SOLUBILIDAD EN AGUA: INSOLUBLE	APARIENCIA Y OLORES SOLUCION DE ASPECTO ACEITOSO CON OLORES A ESTIRENO

CLASIFICACIÓN : RESINA POLIÉSTER INSATURADA	
<b>DATOS - RIESGO DE FUEGO Y EXPLOSION</b>	
PUNTO DE INFLAMACIÓN: 311.7 °C	TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN 490 °C
<b>MEDIOS DE EXTINCIÓN:</b> USAR ESPUMA, BÍOXIDO DE CARBONO O POLVO QUÍMICO SECO	
<b>RIESGOS INUSUALES DE FUEGO Y EXPLOSIÓN :</b> EVADAS TEMPERATURAS Y EN CONDICIONES DE FUEGO , EL ESTIRENO POLIMERIZA RÁPIDAMENTE , SI ESTO OCURRE EN RECIPIENTE CERRADO, EXISTE LA POSIBILIDAD DE UNA RUPTURA VIOLENTA ( EXPLOSIÓN )	
<b>PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA EXTINGUIR EL FUEGO:</b> PARA COMBATIR SE DEBE UTILIZAR UN RESPIRADOR DE AIRE AUTÓNOMO CON EL FIN DE EVITAR LA INHALACIÓN DE HUMOS O GASES, NO SE CONOCEN PROCEDIMIENTOS ESPECIALES.	
<b>RIESGOS A LA SALUD.</b>	
<b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA:</b> EL ESTIRENO EN CONCENTRACIONES DE 200 PPM O MAYORES , ES IRRITANTE A TODAS LAS PARTES DEL APARATO TRACTO-RESPIRATORIO Y A LOS OJOS, PUEDE SER FATAL A 10 000 PPM , LA GENERACIÓN DE VAPORES DE ESTIRENO EN RESINAS POLIÉSTER RARAMENTE EXCEDE LAS 200 PPM.	
<b>PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:</b> PASADAR A LA VÍCTIMA A UN ÁREA VENTILADA MANTENER A TEMPERATURA COMFORTABLE EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS O LA PIEL, LAVAR CON AGUA ABUNDANTE Y FRIA DURANTE 15 MINUTOS SI SE INGERE, MANTENER A LA VÍCTIMA A TEMPERATURA COMFORTABLE, QUIETA Y NO INDUCIR EL VÓMITO, SOLICITE AYUDA MEDICA INMEDIATA	
<b>REACTIVIDAD</b>	
<b>ESTABILIDAD</b> BLE A CONDICIONES NORMALES (20°C Y 50% H2O)	<b>CONDICIONES A EVITAR</b> CALOR Y LUZ SOLAR DIRECTA
<b>MATERIALES A EVITAR (INCOMPATIBILIDAD)</b>	
<b>RIESGOS DE POLIMERIZACIÓN</b> PUEDE OCURRIR	<b>MATERIALES A EVITAR</b> ÁCIDOS FUERTES, REOXÍIDOS Y AGENTES OXIDANTES

CLASIFICACION : RESINA POLIÉSTER INSATURADA

### PROCEDIMIENTOS EN CASO DE DERRAME O FUGA

- EVITAR TODAS LAS FUENTES DE IGNICIÓN - RECOLECTAR EL PRODUCTO  
VENTILAR EL ÁREA - COLOCAR MATERIAL ABSORBENTE (TIERRA, ARENA, ETC.)  
COLOCAR DIQUES DE RETENCIÓN  
RECOGER Y COLOCAR EL PRODUCTO EN RECIPIENTES ADECUADOS, MARCANDO EL PRODUCTO

### DISPOSICIÓN DEL PRODUCTO RESULTANTE DEL DERRAME O FUGA

- INCINERAR EN UN EQUIPO APROPIADO.  
DISPONER EN UN BASURERO QUÍMICO DE ACUERDO A LAS REGULACIONES LOCALES, ESTATALES Y FEDERALES

### INFORMACIÓN DE PROTECCIÓN PERSONAL

#### PROTECCIÓN RESPIRATORIA:

- A) SI LA EXPOSICIÓN NO REBASA LOS LÍMITES TLV: USAR MASCARILLA CON FILTROS PARA VAPORES O ÁCIDOS  
B) EN CASO DE EXCEDER LOS LÍMITES DE RIESGO A LA SALUD: UTILIZAR EQUIPO AUTÓNOMO DE RESPIRACIÓN  
VENTILACIÓN:

EL EQUIPO DE VENTILACIÓN DEBE SER EL APROPIADO PARA MANTENER LAS CONCENTRACIONES DE EXPOSICIÓN POR DEBAJO DEL LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO (TLV). EL EQUIPO DEBE CONTAR CON FILTROS ADECUADOS PARA EVITAR CONTAMINAR EL AIRE.  
GUANTES DE PROTECCIÓN:

- A) GUANTES DE MULE - PROTECCIÓN A LA VISTA: GOGLES O CAPETA  
B) GUANTES DE PLÁSTICO RESISTENTE A PRODUCTOS QUÍMICOS - EQUIPO AUXILIAR DE PROTECCIÓN: (A) RESGADERAS DE EMERGENCIA  
O (B) ESTACIONES LAVA-OJOS

### PRECAUCIONES ESPECIALES

- PRECAUCIONES PARA EL MANEJO Y ALMACENAMIENTO  
- EVITAR EL PROLONGADO O REPETIDO CONTACTO CON LA PIEL. AJUSTAR Y EVITAR LA INHALACIÓN DE VAPORES CALIENTES O NIEBLAS DE HOCÍO.  
- ALMACENAR EL POLIÉSTER EN UN ÁREA FRESCA, POR DEBAJO DE LOS 25 °C Y FUERA DEL ALCANCE DE LOS RAYOS DEL SOL. LOS RECIPIENTES AÚN ESTANDO VACÍOS, PUEDEN CONTENER VAPORES Y RESIDUOS DÁTILOS Y EXPLOSIVOS. NO CORTE, PERFORO O SOLDE SOBRE O CERCA DEL RECIPIENTE. NO REUTILICE LOS RECIPIENTES SIEMPRE NO HAYAN SIDO LIMPIADOS PARA DICHO EFECTO POR PERSONAL CAPACITADO.  
- OTRAS PRECAUCIONES:  
- LA MEZCLA RESULTANTE DE ACELERADOR (SALES DE COBALTO) Y CATALIZADOR (PMK 50 %) ES EXPLOSIVA, POR LO QUE SE DEBEN ADICIONAR A LA RESINA POR SEPARADO. INTEGRAR EL ACELERADOR Y POSTERIORMENTE ADICIONAR EL CATALIZADOR MEZCLANDO PERFECTAMENTE

ANEXO 3. ANÁLISIS REALIZADOS PARA CONTROL DE PROCESO EN LA FABRICACIÓN DE RESINA POLIÉSTER INSATURADA

El grado de polimerización se controla en función del número ácido, viscosidad Gardner y peso molecular (7).

Número ácido

Se define como el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) requeridos para neutralizar los ácidos carboxílicos libres en 1 gramo de resina.

Número ácido =  $\frac{\text{ml KOH} \times \text{Normalidad de la solución de potasa} \times 56.1}{\text{peso de la muestra en gramos}}$

El número ácido es inversamente proporcional al peso molecular, es decir, el número ácido decrece conforme aumenta el peso molecular del polímero. La reacción se detiene cuando se alcanza un número ácido entre 25 y 30.

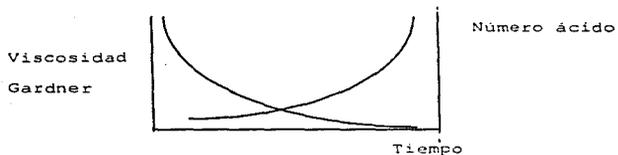
Viscosidad

Es la resistencia interna de un fluido, la cual hace posible que las partículas se desplacen unas sobre de otras cuando se les aplica una fuerza.

Viscosidad Gardner (o medida de elevación de la burbuja)

Consiste en comparar la velocidad de elevación de la burbuja de la muestra con los patrones a la misma temperatura (25°C) y es directamente proporcional al peso molecular del poliéster curva (3.1).

Curva 3.1. Curva para control de producción



Viscosidad Gardner y número ácido frente a tiempo de reacción.

#### Peso molecular

El peso molecular del poliéster es determinado por medio de cromatografía de líquidos, utilizando como líquido de arrastre tetrahidrofurano. El peso molecular oscila entre 4000-6000.

## ANEXO 4. CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO

### TERMINADO

A la resina poliéster insaturada ya como producto terminado se le realizan las siguientes pruebas:

#### Viscosidad

La viscosidad es conocida como la resistencia interna que un fluido ofrece al sufrir una deformación cuando está sujeta a un esfuerzo cortante. Considerando que la fuerza de gravedad, se define como la facilidad para el desplazamiento de cierta masa por unidad de tiempo (masa/tiempo x longitud), la viscosidad final de la resina esta dada por la concentración final del poliéster en el monomero de entrecruzamiento, por ejemplo, estireno. la viscosidad de la resina determina la facilidad de manejo con relación a la fluidez y la tensión superficial o la posibilidad de penetrar y mojar a los agentes de carga o refuerzo. La viscosidad en el caso de las resinas poliéster como producto terminado es medida con el viscosímetro de vástago rotatorio (viscosímetro rotacional Brookfield). En éste, la fuerza es inducida por un cilindro o disco que puede girar a 3 velocidades independientes, con la resina líquida a 25°C.

#### Tiempo de gelado

Esta prueba cubre la determinación del intervalo de tiempo que va desde la mezcla inicial de los aceleradores (generalmente peróxido) de la polimerización, hasta el momento en que comienza la solidificación del mismo, esto bajo condiciones aproximadas a las de uso.

Esta propiedad marca el tiempo límite de trabajo (por estar en estado líquido).

#### Temperatura máxima

Durante la polimerización de la resina poliéster se genera una reacción exotérmica. A la máxima temperatura alcanzada por un termopar se le conoce como temperatura máxima. Las temperaturas máximas deben ser menores de 190°C para evitar encogimiento, rupturas y/o grietas del producto terminado y disminuir el riesgo de que se quemé el molde de trabajo.

#### Tiempo de curado

Es el tiempo que va desde el inicio de la mezcla del acelerador con la resina hasta que se alcanza la temperatura máxima. Se busca que de preferencia, sean lapsos cortos para disminuir los tiempos de operación.

ANEXO 5. TIEMPO TOTAL DE OPERACION DEL REACTOR-TANQUE DILUIDOR 5, PARA PRODUCIR RESINA M-70

OPERACION	TIEMPO (HORAS)	COMENTARIOS
Carga de reactor	1	Materia prima a reactor
Reacción	30	Tiempo desde que se inicia el calentamiento hasta que termina la reacción.
Enfriamiento	2	De 110 a 15°C
Descarga	7	Temperatura máxima de descarga de 65°C
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	Tiempo total de operación

ANEXO 6. CONTROL DE CALIDAD EN LA RECEPCIÓN DE  
MATERIA PRIMA

Es necesario realizar un control de calidad en las materias primas debido a que permite predecir: cantidades, tiempo de reacción y calidad del producto final. Este control se apoya en técnicas confiables y reproducibles; además, se buscan métodos que puedan desarrollarse en un tiempo mínimo.

Estireno

1. Contenido de polimero

a) Objetivo

Determinar cualitativamente la presencia de poliestireno insoluble en el estireno y evitar la gelación prematura de la resina o del mismo estireno en los tanques de almacenamiento.

b) Procedimiento

A 20 mL de estireno adicionar 80 mL de metanol anhidrido y agitar vigorosamente. Observar la turbidez.

c) Resultado

La mezcla no debe presentar turbidez, en caso contrario, se rechaza.

## Anhidridos

### 1. Solubilidad

#### a) Objetivo

Determinar la solubilidad en benceno o xileno de los anhidridos maleico y ftálico para detectar la presencia de impurezas.

#### b) Procedimiento

Pesar y g de anhidrido y colocarlo dentro de un matraz Erlenmeyer seco. Agregar 20 mL de xileno o benceno químicamente puro y agitar. Observar la presencia de o ausencia de sedimentos y turbidez.

#### c) Resultado

La mezcla formada debe ser transparente y libre de partículas insolubles.

### 2. Punto de fusión

#### a) Objetivo

Determinar el punto de fusión de los anhidridos maleico y ftálico, con el fin de conocer la pureza de ambos.

#### b) Procedimiento

Pesar 10 g del anhidrido a analizar e introducir la muestra en un tubo de ensaye. Colocar un termómetro e introducir la muestra en un baño de aceite de silicón, calentar. Leer la temperatura en el momento en que se funden los primeros cristales.

#### c) Resultados

El punto de fusión de ambos anhidridos no debe exceder los límites siguientes:

Anhidrido maleico            53-55°C  
Anhidrido ftálico            130-131°C

Glicoles

1. Viscosidad

a) Objetivo

Determinar la viscosidad de los glicoles. La viscosidad está en función del contenido de agua y/o presencia de otros glicoles.

b) Procedimiento

En un vaso de precipitados de 500 mL colocar la muestra a analizar a 25°C.

Preparar el viscosímetro, nivelándolo y seleccionar una velocidad de 60 r.p.m. Introducir el husillo del viscosímetro en el glicol.

Encender el viscosímetro y dejar trabajando durante un minuto. Accionar el freno y apagarlo. Tomar lectura y multiplicar por el factor correspondiente para obtener el valor de la viscosidad.

c) Resultados

TEMPERATURA	VISCOSIDAD (cps) 25°C
MONOETILENGLICOL	18
DIETILENGLICOL	17
MONOPROPILENGLICOL	38

## 2) Humedad

### a) Objetivo

Determinar el contenido de humedad en los glicoles por el método de Karl Fischer (7).

### b) Procedimiento

#### b.1 Determinación del factor de corrección

1. Agregar metanol en el vaso celda, hasta cubrir las puntas del electrodo. Neutralizar la humedad, adicionando el reactivo necesario para que la aguja del amperímetro (detector) del instrumento se mantenga por lo menos 30 segundos en la posición de 40 a 42 mV y se debe de conservar el wire a color carola. Anotar el volumen gastado de reactivo Karl Fischer.

Realizar el análisis por triplicado.

Factor =  $W_{agua}$  (mg) /  $V_{solución}$  gastado (mL)

#### b.2 Determinación de humedad en la muestra problema

Para calcular la humedad en la muestra problema se obtiene el valor del volumen gastado de solución Karl Fischer (siguiendo el mismo procedimiento en que se baso para obtener el factor).

### c) Resultado

§ Humedad =  $((V_{vol}$  gastado mL x Factor) /  $W$  muestra mg) x 100

La humedad en los glicoles no debe exceder del 0.1%.

## CAPÍTULO VIII

### GLOSARIO DE TÉRMINOS

**AEROBIO.-** Dícese de los organismos que no pueden vivir sin el oxígeno del aire.

**AUDITORÍA AMBIENTAL.-** Medio de cumplimiento voluntario de la ley y consiste en el examen metodológico del proceso productivo de una industria, con el objeto de conocer las condiciones de contaminación y riesgo bajo las cuales se está operando.

**CONTAMINACIÓN.-** Cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire o tierra, que será o puede ser perjudicial para el hombre y otras formas de vida. En un sentido más amplio, la contaminación se define como el desorden termodinámico que es el producto derivado de la conversión de energía y el uso de los recursos.

**DBO.-** Demanda bioquímica de oxígeno; medida que cuantifica la cantidad de oxígeno disuelto empleado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable. Determina la cantidad aproximada de oxígeno que se necesita para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

## CAPÍTULO VIII

### GLOSARIO DE TÉRMINOS

**AEROBIO.-** Dicese de los organismos que no pueden vivir sin el oxígeno del aire.

**AUDITORÍA AMBIENTAL.-** Medio de cumplimiento voluntario de la ley y consiste en el examen metodológico del proceso productivo de una industria, con el objeto de conocer las condiciones de contaminación y riesgo bajo las cuales se está operando.

**CONTAMINACION.-** Cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire o tierra, que será o puede ser perjudicial para el hombre y otras formas de vida. En un sentido más amplio, la contaminación se define como el desorden termodinámico que es el producto derivado de la conversión de energía y el uso de los recursos.

**DBO.-** Demanda bioquímica de oxígeno; medida que cuantifica la cantidad de oxígeno disuelto empleado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable. Determina la cantidad aproximada de oxígeno que se necesita para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

DQO.- Demanda química de oxígeno; cuantifica la cantidad de material oxidante, que es consumido al oxidar los compuestos químicos presentes en el agua en estudio. Este equivalente de material oxidante a material disuelto que puede ser oxidado se mide con un agente químico fuertemente oxidante (como el dicromato de potasio) en medio ácido.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO.- Diagrama que describe la secuencia ordenada y concatenada de las operaciones unitarias que se llevan a cabo en la transformación de la materia y energía del proceso.

EMISIÓN.- Residuo descargado a la atmósfera, generado durante un proceso (generalmente en estado gaseoso).

GASES.- Compuestos que a temperatura y presión ambiente se comportan como el aire.

POLVOS.- Materia sólida dispersa en el aire, producto de la acción mecánica y/o química sobre un sólido.

OPERACIÓN UNITARIA.- Serie de pasos de un proceso en los que ocurren transformaciones físicas y/o fisicoquímicas.

PROCESO.- Sucesion de fases para la transformación de las propiedades físicas y químicas de los materiales.

RESIDUO.- Material diferente del producto final que queda después de efectuado un proceso, ya sea en fase gaseosa, líquida y/o sólida y que no tiene un uso directo en el propio proceso.

SEGREGACIÓN.- Se refiere a la separación de residuos ya sean peligrosos o no, y/o los que son generados en pequeñas o grandes cantidades con el fin de facilitar su tratamiento.

VISCOSIDAD.- Es conocida como la resistencia interna que un fluido ofrece al sufrir una deformación cuando está sujeto a un esfuerzo cortante.

## CAPÍTULO IX

### BIBLIOGRAFÍA

1. AMBIENTEC. 1996. Análisis trimestrales de las aguas residuales generadas. Información confidencial de la empresa. México D.F. México.
2. Amoco Chemical Company. 1990. How ingredients influence unsaturated polyester properties. Bulletin IP-70b, pp. 2-25. Chicago, EEUUA.
3. Belste, S. y Blount, W. 1994. Optimizing resins for low VOC. Eastman Chemical Products. pp. 2-7 Inc. Nueva Orleans, EEUUA.
4. Bikales, M. 1988. Encyclopaedia of polymer science and engineering. Vol 12. pp. 256-290. Nueva York, EEUUA.
5. Blanco-Matas, A. y Villegas, Ch. 1990. Resinas y recubrimientos orgánicos. Ed. Química, pp. 221-241. México D.F. México.
6. Bobalek, E.G., Kendall, H.B., Chae, Y.C. y Moore, E.R. 1967. Polyesterification in batch and falling film reactors. J. Paint Technol., 39:57-69.

7. Bonardi, P. y Pistoni, G. 1995. Pesina poliestere insatura. Sturchi per pazzzeria. Ed. Nuova Libria Editrice, pp. 9-69. Solonia, Italia.
8. Bufete Químico S.A de C.V. 1996. Análisis del agua de proceso. Información confidencial de la empresa. México D.F. México.
9. ESIOIE-IPN. 1996. Caracterización de los residuos sólidos. Información confidencial de la institución. México D.F. México.
10. ESIOIE-IPN. 1996. Análisis de la composición de los residuos líquidos. Información confidencial de la institución. México D.F. México.
11. Gaceta ecológica. 1995. La auditoría ambiental en México. Poder Ejecutivo Federal. Secretaría del Medio Ambiente. Recursos Naturales y Pesca. Diciembre. México D.F. México.
12. Geribo, S. 1992. Controlling toxic air pollutants. Second forum and industrial exhibition on environmental protection, pp. 1-13. Monterrey, México.
13. Godish, T. 1991. Air Quality. Ed. Lewis Publishers, 2a. ed., pp. 32-163, 312-361. Michigan, ESUUA.

14. Goodman, S.H. 1986. Handbook of Thermoplastic. Noyes Publication, pp. 54-65. Nueva Jersey, EEUUA.
15. Haz Mat de México. 1997. Análisis de los gases de combustión. Información confidencial de la empresa. México D.F. México.
16. MERESA. 1994. Estudio de análisis de riesgo. Información confidencial de la empresa. México D.F. México.
17. MERESA. 1996. Hojas de seguridad. Información Confidencial de la empresa. México D.F. México.
18. Metcalf y Eddy. 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. Ed. McGraw Hill, pp. 287-755. Nueva York, EEUUA.
19. Monsanto Chemical Company. 1952. Alkyd resins. Ed. Monsanto, pp. 37-51. EEUUA.
20. Morrison, T.R y Boyd, N.R. 1990. Química orgánica. Ed. Addison, quinta edición. México D.F. México.
21. Murgler C.G. y Kirk, R.E., Othmer, D.F. 1979. Encyclopaedia of chemical technology. Vols. 7 y 20. Ed. Board, pp. 575-654. 629-668. Nueva York EEUUA.
22. Noyacs, L. 1991. Understanding high performance resins. Fabrication News, mayo, pp. 11-22.

23. Perry, R. 1992. Manual del ingeniero químico. Vols. 5 y 6, Ed. Mac Graw Hill, sexta edición. México, D.F. México.
24. Rousseau, R.W. 1987. Handbook of separation process technology. Ed. John Wiley y Sons, pp. 6-30. Nueva York, EEUUA.
25. Siegenthales, U. y Oeschger, H. 1987. Biospheric carbon dioxide emissions during the past 200 years reconstructed by deconvolution of ice core data. Tellus, 39 B, pp. 140-154.
26. UNEP. 1991. Producción limpia. Boletín informativo. UNEP IE/PAC, febrero, México, D.F. México.
27. UNIDO-UNEP. 1991. Audit and reduction manual for industrial emissions and wastes. Pub. UN. Viena-Paris, Austria-Francia.