

12  
Zg



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**ESTUDIO TECNICO Y ANALISIS DE COSTOS DE  
TRES ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LOS  
RESIDUOS PLASTICOS NO PELIGROSOS GENERADOS  
EN LAS UNIDADES MEDICAS DEL IMSS EN EL D.F.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A N :  
GARCIA ALVAREZ VELIA  
RIVERA ROMERO ESTHER**

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



**LA FACULTAD DE  
ESTUDIOS SUPERIORES**

**ASESOR: ING. BENJAMIN RANGEL GRANADOS**

**MEXICO, D. F.**

**1996**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**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 ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA DE  
INGENIERIA QUIMICA**

**OF/IQ/JU/082/016/96**

**C. ESTHER RIVERA ROMERO y  
VELIA GARCIA ALVAREZ  
P R E S E N T E.**

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

**PRESIDENTE: ING. ROMAN CAMPILLO GOMEZ**  
**VOCAL: ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS**  
**SECRETARIO: ING. MIGUEL ANGEL VARELA CECILLO**  
**SUPLENTE: ING. GABRIEL CRUZ SEPEDA**  
**SUPLENTE: ING. MARTHA FLORES BECERRIL**

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

México, D.F., 29 de mayo de 1996

  
**ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS**  
**JEFE DE LA CARRERA**

---

**DEDICATORIA:**

*Con todo mi amor y gratitud dedico este trabajo a mis padres Esther y Enrique, porque es el resultado del cariño, apoyo y confianza que siempre han tenido en mí.*

*A mis hermanos: Enrique, Susana, Alfonso, Mónica, Gabriel y Sandra, y a la familia Calderón Casillas, porque han estado conmigo en todos los momentos de mi vida.*

*Esther.*

*Como testimonio de mi agradecimiento y respeto, este trabajo lo dedico con todo amor a mis padres: José y Concepción, porque son el tesoro más grande de mi vida. Y gracias a su confianza, cariño, estímulo, paciencia, enseñanzas y fe, he logrado la culminación de esta meta.*

*A Enrique, Mirna, René, Jesús y Vero, mis hermanos, con quienes juntos hemos compartido nuestras vidas, y con los que sé siempre contaré.*

*Velia.*

---



---

*AGRADECIMIENTOS:*

*Agradecemos a Dios, por habernos permitido culminar esta etapa de nuestras vidas y poderla compartir con nuestros familiares y amigos.*

*Agradecemos también:*

*A todo el personal de la División de Innovación y Adaptación Tecnológica (DINATEC) de la Jefatura de Servicios de Conservación, así como a las unidades médicas estudiadas y a los laboratorios de Control de Calidad, pertenecientes al Instituto Mexicano del Seguro Social, por su total apoyo y facilidades prestadas para la realización del presente trabajo.*

*De la misma forma a la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente a la Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza" y a todos los profesores que nos brindaron su tiempo, conocimientos y apoyo incondicional a lo largo de nuestra formación profesional.*

*A Tere, Silvia, Conchis y Estela, por su amistad y todos los gratos momentos que compartimos junto a ustedes.*

*Y a tí Fernando por tu tiempo, comprensión e invaluable amistad.*

*VELIA Y ESTHER,*

---

# CONTENIDO

PÁGINA

## INTRODUCCIÓN.

### **CAPITULO 1. EL IMSS Y SU PROGRAMA DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS.** 1

1.1 EL IMSS, FUNCIONES Y EXTENSIÓN. 1

1.2 PROGRAMA DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS 1

### **CAPITULO 2. PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS GENERADOS EN UNIDADES MÉDICAS.** 4

2.1 EL PROBLEMA DE LA BASURA. 4

2.2 LOS RESIDUOS PLÁSTICOS. 5

2.3 RESIDUOS PLÁSTICOS GENERADOS EN UNIDADES MÉDICAS. 5

2.4 GENERACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN LAS UNIDADES MÉDICAS DEL IMSS. 6

2.5 DISPOSICIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS PROVENIENTES DE UNIDADES MÉDICAS DEL IMSS. 8

### **CAPITULO 3. LEGISLACIÓN EN MÉXICO SOBRE EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.** 10

3.1 NORMATIVIDAD APLICABLE A LOS RESIDUOS PELIGROSOS. 10

3.2 REGLAMENTACIÓN PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS NO PELIGROSOS 14

3.3 MANEJO ACTUAL DE LOS RESIDUOS PROCEDENTES DE UNIDADES MEDICAS EN EL D.F. 15

3.4 NORMAS APLICABLES AL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS. 16

### **CAPITULO 4. PROPIEDADES GENERALES, CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE PROCESAMIENTO DE LOS PLÁSTICOS.** 17

4.1 POLIMERIZACIÓN. 17

4.2 PROPIEDADES GENERALES. 18

4.2.1 Estructura molecular. 18

4.2.2 Morfología y resistencia de enlaces 20

4.2.3 Tacticidad. 20

4.2.4 Cristalinidad. 21

	<b>PÁGINA</b>
4.3 COMPORTAMIENTO TÉRMICO.	22
4.4 COMPORTAMIENTO MECÁNICO.	23
4.5 PROPIEDADES ELÉCTRICAS	24
4.6 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS MAS COMUNES.	24
4.6.1 Termoplásticos	24
4.6.2 Termofijos.	25
4.6.3 Características de los plásticos más comunes.	26
4.7 PROCESAMIENTO DE PLÁSTICOS.	34
4.7.1 Moldeo por extrusión.	34
4.7.2 Moldeo por inyección.	36
4.7.3 Moldeo por soplado.	37
<b>CAPITULO 5. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS DE LAS UNIDADES MEDICAS DEL IMSS.</b>	<b>40</b>
5.1 TIPO DE MUESTREO Y DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA.	40
5.2 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS PLÁSTICOS PRESENTES EN LA MEZCLA DE RESIDUOS	43
5.3 TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.	45
5.3.1 Primera etapa: Composición.	46
5.3.2 Segunda etapa: Composición promedio por estrato.	47
5.3.3 Tercera etapa: Composición poblacional.	49
<b>CAPITULO 6. TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS NO PELIGROSOS PROCEDENTES DE UNIDADES MEDICAS.</b>	<b>52</b>
6.1 RECICLADO.	52
6.1.1 Tipos de reciclado.	53
6.1.2 Reciclado secundario.	53
6.2 LA INCINERACIÓN.	54
6.2.1 Proceso de combustión.	56
6.2.2 Operación del sistema de incineración.	57
6.2.3 Incineración de residuos.	57
6.2.4 Incineración de residuos plásticos.	58
6.2.5 Pirólisis.	60
6.2.6 Incineradores para sólidos.	61
6.3 DISPOSICIÓN FINAL.	66
6.3.1 Relleno sanitario	66

	PÁGINA
<b>CAPITULO 7. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS PARA LAS TRES ALTERNATIVAS.</b>	<b>73</b>
7.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN.	73
7.2 ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL RECICLADO.	74
7.2.1 Inversión.	75
7.2.2 Costos fijos.	76
7.2.3 Costos variables.	77
7.2.4 Capital de trabajo.	78
7.2.5 Bases de comparación.	78
7.2.6 Análisis económico.	79
7.3 ANÁLISIS DE COSTOS PARA INCINERACIÓN.	87
7.4 ANÁLISIS DE COSTOS PARA RELLENO SANITARIO.	88
7.4.1 Equipo.	88
7.4.2 Sueldos.	88
7.4.3 Uso de celda.	89
7.4.4 Combustible.	89
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>Anexo 1. CELDA ESPECIAL PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECCIOSO.</b>	<b>100</b>
<b>Anexo 2. MÉTODOS DE SEPARACIÓN Y RECICLADO DE RESIDUOS PLÁSTICOS</b>	<b>104</b>
<b>Anexo 3. ANÁLISIS DE MERCADO PARA EL RECICLADO DE LOS PLÁSTICOS GENERADOS EN UNIDADES MEDICAS.</b>	<b>113</b>
<b>Anexo 4. DIRECCIONES DE LOS HOSPITALES QUE FUNCIONAN COMO ALMACENES TEMPORALES DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS SIN BIOLÓGICO INFECCIOSO.</b>	<b>126</b>
<b>Anexo 5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RUTAS PARA RECICLADO</b>	<b>128</b>
<b>Anexo 6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RUTAS PARA RELLENO SANITARIO.</b>	<b>132</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>138</b>

**RESUMEN**

---



## RESUMEN

Los residuos sólidos no peligrosos procedentes de unidades médicas, en la actualidad y casi como regla general suelen disponerse en rellenos sanitarios, no obstante, algunos de los materiales que componen a este tipo de residuos poseen características reaprovechables, los cuales con un adecuado procedimiento pueden ser recuperados o en su defecto, recibir algún tipo de tratamiento que disminuya la cantidad (peso o volumen) que de estos se deposita en los rellenos sanitarios correspondientes.

Entre los residuos con características reaprovechables que se generan en este tipo de unidades y de los que aún no se ha analizado la posibilidad de un manejo distinto al de la disposición final, se encuentran los materiales plásticos.

De esta forma, el presente trabajo muestra el estudio de tres alternativas para el manejo de los residuos plásticos generados en las unidades médicas, para ello se proponen como alternativas para el manejo de los mismos el reciclado, la incineración y la disposición final en rellenos sanitarios.

La elección de una alternativa para el manejo de los residuos debe sustentarse en una serie de principios legales, técnicos, ambientales, económicos y culturales; para el mejor desempeño de la misma.

En el estudio aquí presentado se desarrollan y analizan cada uno de los principios anteriormente señalados; a lo largo de siete capítulos.

Previo al desarrollo de los aspectos técnicos económicos y ambientales, fue necesario determinar la composición promedio de los residuos plásticos en cuestión, para ello y para el análisis de mercado y de costos, se empleó como objeto de estudio a las unidades médicas del IMSS en el D.F., porque dicha institución plantea la posibilidad de implantar un programa de separación de residuos, lo que facilitaría el manejo de los residuos independientemente de el procedimiento de manejo que se empleó.

Los resultados de esta forma obtenidos se analizan, comparan y evalúan en el capítulo de costos, y finaliza con la conclusión del análisis realizado.

## **INTRODUCCIÓN**

---

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la preocupación por el aspecto ambiental va en aumento y es necesaria una mayor participación tanto del gobierno, la industria y la población para no descuidar este importantísimo aspecto.

De esta forma, en el IMSS se pretende establecer como política interna en cada una de sus instalaciones la separación de los residuos en el momento mismo de su generación. Básicamente este programa está encaminado a no generar "basura", sino residuos separados, los cuales, dependiendo de sus características, se buscaría la forma de derivarlos a la industria para su recuperación, y los que no sea posible recuperar se les daría disposición final.

Actualmente, los residuos no peligrosos del IMSS se disponen en rellenos sanitarios, pero de implantarse el programa de separación de residuos se lograría disminuir la cantidad de residuos que se envían a rellenos y obviamente los costos asociados a esta forma de disposición, pero también se contribuiría a la conservación del Ambiente.

Por otra parte el IMSS ha realizado pruebas para la implantación de este programa en sus unidades, así como una serie de estudios dirigidos a la recuperación de los residuos reciclables por la industria. No obstante, existe una categoría que aún no ha sido estudiada, esta es la que se refiere a los plásticos, principalmente los procedentes de las unidades médicas, los cuales son dispuestos invariablemente en rellenos sanitarios.

De esta forma en el presente documento se proponen y analizan tres alternativas para el manejo de los residuos plásticos sin características peligrosas que se generan en las unidades médicas del IMSS, con el propósito de que esta institución las valore y tome en cuenta en el momento de decidir como manejar sus residuos.

Con la anterior finalidad, las técnicas aquí analizadas fueron: el reciclado como alternativa para el reaprovechamiento de los residuos plásticos que mediante algún proceso puedan ser devueltos a la vida útil por la industria, la incineración como método de tratamiento y el relleno sanitario como forma de disposición final.

Dicho análisis se desarrolla a lo largo de siete capítulos iniciando con los objetivos, funciones, extensión y demás características del IMSS, el segundo capítulo define los problemas asociados a los residuos generados en las unidades médicas, centrándose en los de material plástico.

El capítulo tercero contiene el marco normativo nacional vigente, que regula el manejo de los residuos dentro de las unidades médicas, así como fuera de ellas.

Las propiedades físicas, químicas, mecánicas y características de los plásticos más comunes así como los métodos para su procesamiento se presentan en el capítulo cuarto, el quinto se refiere al estudio realizado para determinar la composición porcentual de los residuos plásticos del IMSS.

Los aspectos técnicos para cada una de las tres técnicas propuestas se desarrollaron en el capítulo sexto, para finalizar con el análisis y la comparación de sus costos, en un período de 10 años, desarrollado dentro del séptimo capítulo.

Se incluyen además en los anexos, los resultados de tres análisis de gran importancia para el aspecto de costos, como son: el estudio de mercado correspondientes y dos análisis de rutas.



## **CAPITULO 1**

---

### **EL IMSS Y SU PROGRAMA DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS**



## CAPITULO 1.

### EL IMSS Y SU PROGRAMA DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS.

Para tener un mayor conocimiento de las actividades del Instituto Mexicano del Seguro Social y el porqué de la inquietud de brindarle un tratamiento a sus residuos, a continuación se describen las principales funciones y el número de derechohabientes que atiende y que son generadores de los residuos a tratar.

#### 1.1. EL IMSS, FUNCIONES Y EXTENSIÓN.

El Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) es una Institución dedicada a otorgar un mejor nivel de vida y mayor bienestar a los trabajadores y sus familias, otorgando servicios a más de 50 millones de derechohabientes<sup>1</sup>, a través de acciones en el campo de la salud, cultura, recreación y la protección económica en caso de accidente, vejez, cesantía o muerte del trabajador.

Para el cumplimiento de estas funciones, en la actualidad el Instituto cuenta a nivel nacional con 6372 inmuebles en los que laboran aproximadamente 340,000 trabajadores.

Los inmuebles del IMSS se clasifican en dos tipos, los de tipo no médico, que son aproximadamente 1216 entre centros de capacitación, de seguridad social, teatros, guarderías, centros recreativos, oficinas, deportivos, almacenes y laboratorios especializados. Dentro de los de tipo médico cuenta con 5156 unidades donde se presta atención médica directa, las cuáles a su vez son clasificadas en tres niveles de atención:

- 1) Primer Nivel. Para las unidades de medicina familiar, UMF.
- 2) Segundo Nivel. Se encuentran los hospitales generales de zona o regionales, HGZ.
- 3) Tercer Nivel. Para los hospitales de especialidades y centros médicos nacionales.

#### 1.2. PROGRAMA DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS.

Durante el desarrollo de las actividades cotidianas, en el IMSS se producen alrededor de 32.2 toneladas diarias de basura solamente en el Distrito Federal.

Para el manejo de sus residuos, el Instituto implantará a nivel nacional un sistema de clasificación y manejo de residuos denominado "tal se puede", el cual se basa en la separación de los residuos en el sitio y el momento de su generación, evitando en

<sup>1</sup>Coordinación General del Programa IMSS-Solidaridad, Listado del Departamento de Informática, Mayo de 1994.

primera instancia la mezcla de los residuos peligrosos con los que no presentan esta característica.

Además de disminuir la cantidad de basura, en la misma proporción que se produzcan residuos separados con características reaprovechables, a los que se buscará reincorporarlos en los procesos productivos, influyendo finalmente en la preservación del ambiente y dirigiendo hacia una menor explotación de los recursos naturales.

Cabe señalar que el programa de separación "¡si se puede!" , ya ha sido implantado en algunas unidades para identificar sus alcances. Esto se realizó debido a que no se contaba con antecedentes para el manejo específico de los residuos provenientes de unidades médicas, tanto para los que presentan características biológico-infecciosas como para aquellos que no lo poseen.

El programa implantado maneja cuatro categorías de separación de residuos, siendo estas:

1. **RECICLABLES.** Productos que por su naturaleza o las características del proceso que los generó, es factible su recuperación para incorporarlos nuevamente a los procesos productivos.

Esta categoría se subdivide a su vez en cuatro grupos de materiales que son los más comúnmente desechados como el vidrio, metal, plástico, papel y cartón.

2. **NO RECICLABLES.** Aquellos residuos que por ser una mezcla de dos o más componentes es difícil su recuperación.

3. **CON RIESGO DE INFECTO-CONTAGIOSIDAD.** Cualquier tipo de residuo que estuvo en contacto con agentes de carácter contaminante, como biológico-infeccioso y patógeno.

4. **TÓXICO PELIGROSO.** Cuando el residuo tiene por sí sólo características peligrosas como corrosivas, explosivas, radioactivas, inflamables, irritantes, entre otras.

Para la disposición de los residuos generados dentro de las unidades médicas existen contenedores específicos para cada tipo de material desechado, haciendo más fácil un posible reaprovechamiento de las diferentes variedades de materiales, incluyendo los residuos plásticos.

La cantidad de estos residuos en las unidades médicas está en función del grado de atención que proporcionan, como se muestra en la tabla comparativa 1.1. Debido a que los artículos médicos utilizados en cada nivel difieren por su aplicación, en el segundo nivel dado que existe hospitalización la cantidad de material de curación desechada es mayor y variada, comparada con una unidad médica de primer nivel donde solamente se otorgan consultas.

Otro parámetro lo es también el número de usuarios, en los hospitales existe gran cantidad de afluencia tanto de pacientes internados como de los familiares que asisten a visitarlos, y todo ello contribuye a la generación y composición de residuos en las unidades médicas.

<b>TABLA 1.1 COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN UNIDADES MÉDICAS DEL INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL (IMSS). (% PESO)</b>			
<b>TIPO DE RESIDUO</b>	<b>PRIMER NIVEL</b>	<b>SEGUNDO NIVEL</b>	<b>TERCER NIVEL</b>
<b>RECICLABLES</b>	77	74	73
<b>NO RECICLABLES</b>	12	15	14.5
<b>TÓXICO-PELIGROSO</b>	01	01	0.3
<b>INFECTOCONTAGIOSO</b>	10	10	12.2
<b>TOTAL</b>	100	100	100

FUENTE: IMSS Jefatura de Servicios, Orientación y Quejas 15/01/94.

Un aspecto que debe resaltarse es que la participación de todo el personal que asiste a las unidades médicas tanto trabajadores como usuarios, es el factor principal para que la separación de los residuos se realice directamente en el momento de su generación, y se tengan los resultados de acuerdo al programa del Instituto Mexicano del Seguro Social.

## **CAPITULO 2**

# **PROBLEMATICA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS GENERADOS EN UNIDADES MÉDICAS**



## CAPITULO 2.

### PROBLEMATICA DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS GENERADOS EN UNIDADES MÉDICAS.

#### 2.1. EL PROBLEMA DE LA BASURA.

El vivir en una sociedad de consumo que junto con la mayor revolución tecnológica a dado lugar a la mayor producción de residuos en toda la historia de la humanidad. Además el constante aumento de los miamos, exige una política de gestión tanto a nivel industrial como urbano.

Es conveniente establecer lo que en lo sucesivo y de acuerdo con las leyes en nuestro país se conoce como *residuo*, así se denomina a "cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó" <sup>(2)</sup>.

Cuando el residuo no tiene un valor útil o económico y por el contrario es un problema para su disposición, se convierte en **BASURA**.

"Basura es la mezcla de dos o más residuos (sólidos en su mayoría), que producen contaminación, focos de infección y mal aspecto" <sup>(3)</sup>.

En la República mexicana se estima que se producen 62,000 toneladas al día y de estas 19,000 ton/día son generadas en el Distrito Federal <sup>(4)</sup>.

La basura está compuesta principalmente por: papel, vidrio, cartón, madera, metales, plásticos, cuero, tela, residuos orgánicos, cenizas y tierra. La proporción de cada uno de estos materiales va ha ser muy variable de un país a otro, incluso de una región a otra en un mismo país, debido a los diferentes hábitos de consumo.

La basura, por su origen se clasifica en tres categorías:

1.- **MUNICIPAL**. Que agrupa a todos los residuos procedentes de hogares, instituciones comerciales y de servicio, así como los de la construcción y demolición de obras y edificios y los de la limpieza y mantenimiento de avenidas, parques y jardines.

De acuerdo con el D.D.F la basura municipal se compone en su mayoría de residuos de comida, 50% aproximadamente, además de papel, vidrio, metales, madera, cuero, tela, etc. <sup>(4)</sup>.

---

(2) Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, D.O.F., 28 de enero de 1988.

(3) IMSS. Jefatura de Servicios de Conservación. DINATEC 1994.

(4) Datos directos proporcionados por la Subdirección de Obras, Área de Servicios Urbanos, DDF.



**2.-INDUSTRIAL.** A esta categoría pertenecen los residuos provenientes de la actividad industrial y estos pueden ser de dos tipos:

a) Los asociados a las actividades del personal de soporte de la empresa como son; oficinas, comedores, centros recreativos, entre otros, pero que básicamente son de tipo municipal.

b) Los que se originan a partir del proceso de manufactura como son, empaques, contenedores, piezas defectuosas, remanentes, y demás.

Estos últimos dado su gran volumen de su generación y la poca o nula sujeción que presentan los hacen de gran interés para las empresas recicladoras.

**3.- AGRÍCOLA.** Este tipo de residuos están compuestos por empaques, envases y remanentes de insecticidas, fertilizantes, semillas, etc., así como de equipo y/o herramienta en desuso.

## **2.2. LOS RESIDUOS PLÁSTICOS.**

La aplicación de los materiales plásticos se ha extendido actualmente a casi todas las áreas de producción y consumo de todos los sectores de nuestra sociedad, por otra parte, las estadísticas permiten predecir que la industria de los plásticos continuará creciendo basado en la demanda de sus productos. Debido al corto periodo de utilidad de éstos, se ha considerado como un problema a las grandes cantidades que son generadas de estos materiales una vez que han sido utilizados y se desechan, para finalmente formar parte de los rellenos sanitarios. Además del problema de contaminación ambiental que generan, pues la mayoría de los plásticos que se manejan no son degradables tan fácilmente como los materiales a los que he sustituido (papel, madera y vidrio principalmente).

Los residuos plásticos pueden ser de dos tipos con base a su origen, siendo:

1. Municipal.
2. Industrial.

## **2.3. RESIDUOS PLÁSTICOS GENERADOS EN UNIDADES MÉDICAS.**

La introducción de los materiales plásticos en el campo de la medicina representa un poderoso auxiliar en el tratamiento y diagnóstico de enfermedades, además el número de artículos de este material sigue en crecimiento.

Los residuos plásticos generados en unidades médicas tienen tres orígenes principales:

1. Empaque y envase de equipos, materiales, reactivos y medicamentos.
2. Instrumental, equipos, accesorios, prótesis e implantes.
3. Misceláneos provenientes de cafeterías, salas de juntas, salas de espera, auditorios, y demás servicios con que cuenta la unidad.

Un aspecto adicional es el uso que de éstos artículos se hace en la unidad médica, ya que en ciertas especialidades puede reducirse a sólo algunas piezas de un artículo específico, pero para productos de uso más general puede extenderse a millones.

Entre los materiales de curación se observa un factor común, que todos ellos son de material desechable.

Los materiales termoplásticos empleados en mayor grado para la elaboración de material y artículos de uso médico son: policloruro de vinilo (PVC), Acrilonitrilobutadienostireno (ABS), Polietileno de alta y baja densidad (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), Celcon y Nylon.

Por otra parte al hablar de residuos generados en unidades médicas inevitablemente se les relaciona con materiales peligrosos, propiamente de tipo biológico-infeccioso, no obstante que este porcentaje varía entre el 40% al 10% del total de los residuos sólidos producidos, y puede disminuir del 20% al 10% al llevarse a cabo la separación de los mismos en el momento y sitio de su generación, según datos del PNUMA<sup>(5)</sup>.

Adicionalmente, los residuos biológico-infecciosos son considerados como peligrosos por la legislación actual en México y como tales serán manejados, y no entran a discusión en este apartado debido a que no son el caso del estudio. Nos encargaremos de los residuos plásticos que no han tenido contacto con pacientes, por lo que carecen de riesgo de contagio para quienes lo manejan y además, son los que mayormente se generan dentro de las unidades médicas.

#### 2.4. GENERACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN LAS UNIDADES MÉDICAS DEL I.M.S.S.

El IMSS ha desarrollado indicadores para estimar la cantidad de residuos sólidos que se producen en sus inmuebles, con base al tamaño del mismo y las actividades que en él se desarrollen.

Los indicadores para las unidades médicas se manejan en términos de *cama censable* para las que cuentan con área de hospitalización (HGZ y ESPECIALIDADES) y en *consultorios* para las unidades de medicina familiar (UMF), esto se representa en la tabla 2.1.

TABLA 2.1. INDICADORES	
NIVEL	INDICADOR
Primer	3.70 kg/día * Consultorio
Segundo y Tercer	2.47 kg/día * Cama Censable

FUENTE: IMSS. 8 de Junio de 1992.

(5) Datos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, 1990.

Además se cuenta con porcentajes que indican la composición por grupos de materiales que integran el total de los residuos por unidad. En el caso específico de los materiales plásticos los porcentajes son:

**TABLA 2.3 PARTICIPACIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA COMPOSICIÓN DE BASURAS**

NIVEL	PORCENTAJE (%)
Primer	6.16
Segundo	26.79
Tercer	28.08

FUENTE: IMSS, 8 de Junio de 1992.

El problema en el manejo de los residuos plásticos del Instituto legalmente se reduce únicamente a los considerados como peligrosos, ya que el resto no lo es y se considera de tipo municipal, es decir, no peligrosos y su manejo no representa mayores problemas que los involucrados con la recolección y disposición final de la basura común.

**TABLA 2.4 RESIDUOS PLÁSTICOS SEPARADOS EN LAS UNIDADES MÉDICAS DEL IMSS EN EL D.F.**

NIVEL	Primer	Segundo	Tercer	TOTAL
No. DE UNIDADES	39	12	25	76
CONSULTORIOS O CAMAS CENSABLES	1254	2539	3943	7763
INDICADOR DE RESIDUOS TOTALES	3.7	2.47	2.47	---
RESIDUOS TOTALES (kg/día)	4639.8	6271.33	9739.21	20650.34
INDICADOR DE RESIDUOS PLÁSTICOS	6.16	26.79	28.08	---
PLÁSTICOS ESPERADOS (kg/día)	285.79	1680.10	2273.4	4239.2

De esta forma la cantidad de residuos plásticos procedentes de unidades médicas pertenecientes al IMSS dentro del Distrito Federal, sería de 4.24 ton/día.

Por otra parte, el IMSS está próximo a poner en marcha en todos sus inmuebles un programa de separación de residuos con la finalidad de reducir la cantidad de basura que produce y al obtener residuos separados, promover y facilitar su recuperación contribuyendo así a la protección del ambiente. La cantidad de residuos plásticos producidos actualmente en las unidades médicas del Instituto asciende a 4.24 toneladas diarias y no se conoce el mecanismo más viable para promover su reaprovechamiento.

## **2.5. DISPOSICIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS PROVENIENTES DE UNIDADES MÉDICAS DEL IMSS.**

En el año de 1985 a raíz de los sismos, se incrementó la demanda de los servicios médicos, esto produjo a su vez un aumento en la generación de los residuos provenientes de las unidades de atención a la salud, es entonces cuando surge el Programa de Recolección de Residuos Sólidos para este tipo de unidades mediante el sistema de contenedores, el cual abarca:

- Contenedores.
- Camiones compactadores.
- Hidrolavadores y
- La transportación hacia el relleno sanitario correspondiente.

El programa de contenedores cubre la totalidad de las unidades médicas de la Dirección General de Servicios Médicos del D.D.F. y atiende además en forma parcial a otras instituciones como el I.M.S.S., I.S.S.S.T.E., PEMEX, Secretaría de Salud SSA y algunos hospitales particulares.

Hasta el año de 1988 los residuos hospitalarios se transportaban hacia los sitios de disposición final operados por el DDF sin ningún método de separación, mezclándose con residuos municipales. Ello debido a la inexistencia de normatividad aplicable que reglamentara el manejo de estos residuos y las dependencias gubernamentales encargadas de hacerlo. Es a partir de 1989 debido a las disposiciones normativas para el control adecuado de este tipo de residuos por parte de la Secretaría de Desarrollo Social, que estos son canalizados hacia el relleno sanitario de Bordo Poniente (para el área metropolitana), que cuenta con una celda especial para llevar a cabo la disposición final de residuos provenientes de unidades médicas.

También se depositan en este lugar y bajo el mismo procedimiento, los residuos generados dentro de las instalaciones médicas y no médicas del IMSS, mediante la contratación de los servicios de empresas particulares para la recolección de los residuos.

En las unidades ubicadas en las delegaciones foráneas no existe un sistema o reglamento específico para dicha disposición, debido a que cada delegación o subdelegación decide qué hacer con los residuos de sus respectivas unidades, pudiendo ser enviadas a tiraderos oficiales o clandestinos.



Retomando el tema de las características y condiciones de separación de residuos médicos, se tiene que en el IMSS el 10% se emplea en análisis y de estos el 7% presentan riesgos de infecto-contagiosidad, siendo los más peligrosos los punzocortantes.

Por otra parte los materiales empleados en curación así como sangre y sus fracciones, además de los de carácter infeccioso deben ser tratados dentro de las instalaciones de la unidad médica por métodos físicos o químicos antes de ser dispuestos, tal como lo indique la autoridad correspondiente.

Cabe mencionar que muchos de estos residuos estuvieron contenidos en recipientes plásticos y algunos de ellos recibieron este tratamiento antes de ser separados y clasificados, no así los que son o fueron recipientes de reactivos o desechos con características tóxicas o peligrosas, a los que en general no se les trata antes de disponerlos.



**CAPITULO 3**

---

**LEGISLACIÓN EN MEXICO SOBRE EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

**CAPITULO 3.**

**LEGISLACIÓN EN MÉXICO SOBRE EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.**

La revisión del Marco Legal referente al manejo de los residuos sólidos provenientes de unidades médicas es importante para establecer los lineamientos que guían las acciones y estrategias tanto nacionales como locales para el manejo adecuado de este tipo de residuos, y así contribuir a la protección del ambiente.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)<sup>(6)</sup>, clasifica a los residuos en dos categorías, peligrosos y no peligrosos.

**3.1. NORMATIVIDAD APLICABLE A LOS RESIDUOS PELIGROSOS.**

La LGEEPA define a los residuos peligrosos como "todo aquel residuo en cualquier estado físico que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológica-infecciosa (CRETIB) representan un peligro para el equilibrio o el ambiente".

Para la determinación e identificación de los residuos peligrosos existe a su vez la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL/1993<sup>(7)</sup> que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo "peligroso" por su toxicidad al ambiente (Fig. 3.1). Por lo tanto todos aquellos residuos que no se encuentren clasificados dentro de esta norma se consideran como no-peligrosos.

En lo referente a residuos sólidos provenientes de unidades médicas, el IMSS estima que aquellos que presentan características de peligrosidad, corresponden a dos categorías con la siguiente proporción:

TÓXICOS	20%
BIOLÓGICO-INFECCIOSO	75%
RADIATIVOS	5%

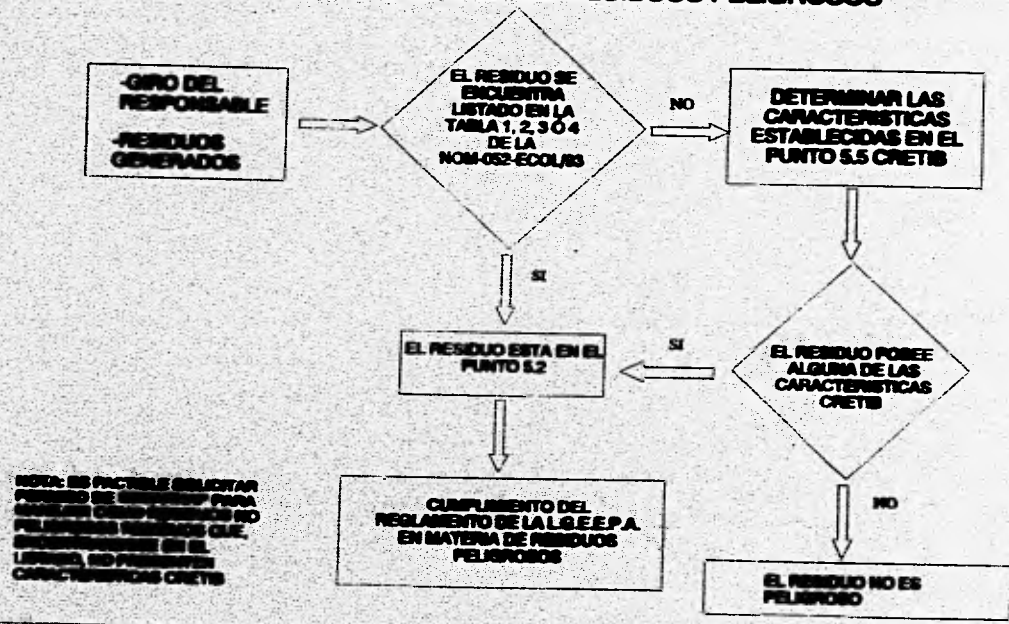
Como puede observarse, los residuos biológico-infeccioso son los generados en mayor cantidad dentro de las unidades médicas. A este respecto la presente norma abarca las siguientes categorías:

- 1) Sangre y sus derivados.
- 2) Residuos de cepas y agentes infecciosos.
- 3) Residuos patológicos.
- 4) Residuos no anatómicos derivados de unidades de pacientes.
- 5) Residuos de objetos punzocortantes usados.
- 6) Residuos infecciosos misceláneos.

(6) Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, D.O.F., 28 de enero de 1988.

(7) D.O.F. 18 de Octubre de 1993, reformado en noviembre de 1994.

**FIG. 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA IDENTIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS**



En general, para el manejo tanto de materiales como de residuos peligrosos existe una serie de reglamentos, normas y acuerdos específicos para cualquier tipo de residuo que se trate, pero para el caso de los residuos peligrosos biológico-infeccioso se emitió la Norma Oficial Mexicana dirigida al manejo de los mismos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de noviembre de 1995 como " Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL/1995" y que establece los requisitos para la clasificación, separación, envasado, almacenamiento, recolección, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infeccioso que se generen en los establecimientos que presten atención médica tales como hospitales y consultorios médicos, así como laboratorios clínicos, laboratorios de producción de biológicos, de enseñanza y de investigación tanto humanos como veterinario.

En esta norma los procedimientos que destacan para el manejo de los mismos son:

1. Los residuos biológico-infecciosos se deben manejar en forma independiente del resto de los residuos, desde su generación hasta el momento de su disposición final.
2. Los establecimientos generadores de residuos peligrosos biológico-infecciosos, además de cumplir con lo establecido en el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos , deberán cumplir con las siguientes fases de manejo de sus residuos:
  - Identificación de los residuos y de las actividades que los generan.
  - Envasado de los residuos generados.
  - Recolección y transporte externo.
  - Almacenamiento temporal.
  - Recolección y transporte externo.
  - Tratamiento.
  - Disposición final.
3. Los residuos peligrosos biológico-infecciosos deberán ser tratados por métodos físicos o químicos que la SEMARNAP establezca, de manera que garanticen la eliminación de microorganismos patógenos y hacer irreconocibles los residuos.
4. La disposición final para los residuos sometidos a tratamientos será igual a la de los residuos no peligrosos.
5. La recolección y transporte de los residuos peligrosos deberá realizarse conforme a lo dispuesto en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (D.O.F. 25/11/88) y el Reglamento para el Transporte de Residuos Peligrosos (D.O.F. 07/04/93) junto con las respectivas Normas Oficiales Mexicanas.
6. Los transportes recolectores deberán contar con el logotipo y leyenda internacional de residuo peligroso biológico-infeccioso y con base a un código de colores.
7. Establecer las características de la celda especial para la disposición de los residuos biológico-infeccioso (anexo 1).

El organismo gubernamental encargado de formular las normas, inspeccionar y hacer que se cumplan dichos reglamentos, es la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), por medio del Instituto Nacional de Ecología (INE) y de la



Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), todo ello en pro del ambiente y la salud.

A continuación se presenta una lista de las normas que actualmente aplican en el manejo de los residuos sólidos peligrosos.

<b>TABLA 3.1 NORMATIVIDAD PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS PELIGROSOS.</b>	
NORMA	ESPECIFICACIÓN
<u>NOM-052-ECOL/93</u>	Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
<u>NOM-053-ECOL/93</u>	Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
<u>NOM-054-ECOL/93</u>	Señala la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma NOM-052-ECOL/1993.
<u>NOM-055-ECOL/93</u>	Indica los requisitos que deben reunir los sitios destinados a confinamiento controlado de residuos peligrosos, con excepción de los radioactivos.
<u>NOM-056-ECOL/93</u>	Establece los requisitos para el diseño, construcción y operación de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
<u>NOM-057-ECOL/93</u>	Señala los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
<u>NOM-058-ECOL/93</u>	Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
<u>NOM-087-ECOL/94</u>	Establece los requisitos para la clasificación, separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico - infecciosos que se generan en establecimientos que prestan atención médica.
<u>NOM-002-SCT2/94</u>	Listado de las sustancias que son usualmente más transportadas.
<u>NOM-003-SCT2/94</u>	Sistemas de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.



<u>NOM-004-SCT2/94.</u>	Características de las etiquetas de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.
<u>NOM-006-SCT2/94.</u>	Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de las unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
<u>NOM-007-SCT2/94.</u>	Envases y embalajes destinados al transporte de materiales y residuos peligrosos.
<u>NOM-009-SCT2/94.</u>	Compatibilidad en el almacenamiento y transporte de materiales peligrosos.
<u>NOM-EE-59/94</u>	Envase y embalaje, símbolos para el manejo, transporte y almacenamiento.

### 3.2. REGLAMENTACIÓN PARA EL MANEJO DE RESIDUOS NO PELIGROSOS.

Un residuo no peligroso es aquel que proviene de actividades desarrolladas en hogares, mercados, establecimientos mercantiles y servicios, vías públicas y espacios de convivencia y uso general.

Los residuos sólidos no peligrosos son manejados por la autoridad local correspondiente, que para el caso de la Ciudad de México es el Departamento del Distrito Federal<sup>(8)</sup>.

Para el manejo de los residuos sólidos en el Distrito Federal, aplica el Reglamento para el servicio de limpia de la Ciudad de México, publicado en el D.O.F el 06/07/89 del que destacan las siguientes disposiciones:

- 1o. El Departamento de Distrito Federal será la autoridad a la que le compete prestar el servicio de limpia.
- 2o. El D.D.F será el encargado de diseñar, construir y operar directamente o bajo el régimen de concesión, unidades de transferencia, plantas de tratamiento de residuos sólidos y sitios de disposición final.
- 3o. Los propietarios o administradores de establecimientos mercantiles, industriales o similares que produzcan más de 200 kg/día de residuos, podrán convenir con la delegación correspondiente para la recolección y transporte de sus residuos, cubriendo los derechos que para tal efecto disponga la Ley de Hacienda del Distrito Federal.

(8) Reglamento de la Ley General de Salud para el Distrito Federal, DOF, 19 de Enero de 1987.

4o. En el caso en que no se establezcan convenios de los establecimientos, sus dueños o administradores deberán cubrir los gastos de recolección y transporte de los residuos a los sitios que determine la delegación respectiva, debiendo observar las disposiciones sanitarias aplicables.

5o. El D.D.F. vigilará la disposición de los depósitos especiales u hornos incineradores.

### 3.3 MANEJO ACTUAL DE LOS RESIDUOS PROCEDENTES DE UNIDADES MÉDICAS EN EL DISTRITO FEDERAL.

A partir de 1991 y hasta la fecha, el Departamento del Distrito Federal tomó la iniciativa de manejar los residuos hospitalarios en forma independiente del resto de los residuos municipales, creando espacio para los mismos dentro de los rellenos sanitarios que mantiene en operación.

Actualmente el Departamento del Distrito Federal (DDF) tiene a su cargo la operación de 2 rellenos sanitarios para la disposición de residuos municipales los cuales son Bordo Poniente y Santa Catarina, anteriormente se contaba también con el relleno sanitario Prados de la Montaña, mismo que está en proceso de clausura a partir de julio del '94.

<b>BORDO PONIENTE</b>	Capacidad: Etapas I, II y III clausuradas, alojando un total de 16.4 millones de toneladas. Dentro de la Etapa II una última capa se formará para depositar 2.7 millones de toneladas, vida útil de 15 meses. Existe una IV etapa proyectada para una capacidad de diseño de 15.8 millones de toneladas, con una vida útil de 6.4 años.
<b>SANTA CATARINA</b>	Capacidad: 6.6 millones de toneladas, el relleno se encuentra en operación, estimando una vida útil de 2 meses, debido a que ha alcanzado su capacidad volumétrica de proyecto.

FUENTE: Dirección General de Servicios Urbanos del D.D.F., 28 de junio de 1995.

Los residuos hospitalarios no peligrosos son depositados en el relleno sanitario Bordo Poniente en celdas especiales. Estos son considerados así porque provienen de áreas en las que el residuo no tiene contacto con el paciente (oficinas, comedor, sala de espera, auditorios, biblioteca, parques, jardines entre otros).

En el manejo de los residuos hospitalarios en el relleno sanitario, sobresalen los siguientes aspectos:

1. Se depositan los residuos provenientes de hospitales en una celda de confinamiento exclusiva para éstos.

2. Se neutraliza con solución saturada de hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), conocida también como "lechada".
3. Se cubre la celda con una capa de tierra, al final de cada día de operación.
4. Se lavan los vehículos empleados en la transportación de los residuos después de cada descarga.

### **3.4. NORMAS APLICABLES AL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS.**

El contexto legal que controla la protección al ambiente está estructurado jerárquicamente, el nivel prioritario lo ocupa la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), y en el marco sanitario rige la Ley General de Salud (LGS), de ambas leyes se derivan una serie de reglamentos, normas y acuerdos específicos tanto a nivel nacional como local para el manejo de los residuos.

Para la emisión de normas referentes a la protección y preservación del ambiente se creó el 17 de diciembre de 1992 el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental. Hasta el primer trimestre del '95, el Comité tenía publicado 101 proyectos de Normas Oficiales Mexicanas, de las cuáles 64 corresponden a las Normas Técnicas Ecológicas convertidas a NOM<sup>(9)</sup> y 37 anteproyectos (14 referentes a agua residual, 4 a riesgo ambiental, 3 a residuos, 9 a aire y 4 a ruido).

---

(9) Conforme a la Ley Federal de Metrología y Normalización, 01 de Julio de 1992.

## **CAPITULO 4**

---

**PROPIEDADES GENERALES, CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE PROCESAMIENTO DE LOS PLÁSTICOS**



## CAPITULO 4.

### PROPIEDADES GENERALES, CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE PROCESAMIENTO DE LOS PLÁSTICOS.

El avance de la química ha dado lugar a la aparición de una serie de materiales sintéticos que pueden competir con los materiales tradicionales. Actualmente observamos que una gran cantidad de artículos utilizados en nuestra sociedad están fabricados con materiales plásticos.

Los plásticos químicamente pertenecen a la rama de los polímeros, que son macromoléculas complejas, resultado de la unión de cientos o miles de moléculas llamadas meros o monómeros que se repiten a lo largo de las cadenas de gran tamaño y con estructuras muy variadas.

La palabra plástico significa moldeado o formado. Estos materiales se caracterizan por su resistencia a los agentes biológicos y atmosféricos que degradan a otros materiales a la rotura, corrosión y al desgaste; además que como su nombre lo indica poseen la propiedad de ser moldeables.

Existen polímeros naturales tales como el algodón, la lana, la seda y el hule que tienen una amplia aplicación comercial, pero la mayor parte de los polímeros en uso actual son de tipo sintético, es decir, aquellos que se obtienen mediante la unión o síntesis de diversas sustancias químicas que tienen como componente básico a una sustancia con alto peso molecular y que poseen la propiedad de ser moldeadas.

La industria basada en sustancias poliméricas comprende cinco categorías, siendo:

1. Elastómeros.
2. Plásticos.
3. Fibras.
4. Adhesivos.
5. Recubrimientos.

Las características propias de estos materiales ha hecho que presenten una amplia gama de aplicaciones en la vida moderna.

#### 4.1. POLIMERIZACIÓN.

Los dos procedimientos de manufactura más ampliamente utilizados para la elaboración de polímeros son: la polimerización por adición y la polimerización por condensación.

La adición se realiza mediante un *iniciador*, que puede ser un radical libre o un grupo iónico. El iniciador atrae a uno de los electrones con un doble enlace del monómero, dejando libre al otro electrón, que se fija a otra molécula del monómero por el mismo



procedimiento, originándose de esta manera el crecimiento de la molécula. Cuando el iniciador es del tipo iónico, se fija al doble enlace cediendo sus electrones y provocando la formación de un ion negativo, o capturando los electrones de doble enlace provocando la formación de un carbocatión. La molécula sigue creciendo hasta que se producen choques entre las especies intermedias o con sustancias extrañas.

En la polimerización por condensación se produce una reacción entre los grupos funcionales presentes, eliminándose una molécula pequeña, que es generalmente agua, formándose un dímero, a continuación las moléculas de éste vuelven a reaccionar de la misma forma resultando un polímero formado por cuatro meros y así sucesivamente.

## 4.2. PROPIEDADES GENERALES.

Las propiedades de los plásticos presentan una gran importancia para la determinación del uso o aplicación que vaya a tener. Las propiedades poliméricas están dictadas principalmente por la estructura química, ya que esta interviene directamente sobre las propiedades térmicas, mecánicas y eléctricas.

### 4.2.1. ESTRUCTURA MOLECULAR.

Los materiales plásticos poseen características muy diferentes de las sustancias orgánicas normales de bajos pesos moleculares. Son sustancias sólidas a temperaturas ambiente, viscosas, elásticas o quebradizas y algunas pueden formar películas o fibras, propiedades que no encontramos en las sustancias orgánicas de bajo peso molecular.

Las macromoléculas pueden ser de varios tipos:

#### 1. Lineales.

Constituidas por monómeros que sólo tienen dos puntos de enlace. En los polímeros las macromoléculas se disponen más o menos paralelamente o bien en forma de una madeja enmarañada, denominada también como ovillo estadístico (Fig. 4.1).



Esta forma hace referencia a la irregularidad y casualidad de formas que es de esperarse en estas macromoléculas, debida a la libertad de giro alrededor de los enlaces sencillos C-C. Además, a causa del movimiento térmico molecular la forma se modifica continuamente.

2. Ramificada.

Son las que se obtienen cuando los monómeros que las constituyen pueden unirse por tres o más lugares con los contiguos (Fig. 4.2).



Fig. 4.2. DISPOSICIÓN MOLECULAR DE POLÍMEROS: RAMIFICADA.

3. Reticulados.

Están formados por macromoléculas con cadenas y ramificaciones entrelazadas en las tres direcciones del espacio. Una macromolécula puede estar constituida por monómeros idénticos o bien por dos tipos o más de monómeros diferentes. En el primer caso recibe el nombre de homopolímeros y el segundo copolímero.

En los copolímeros la disposición de los diferentes monómeros en la cadena puede ser diversa. La importancia de los copolímeros radica en que con ello se puede ampliar la gama de productos y por tanto sus propiedades y aplicaciones.

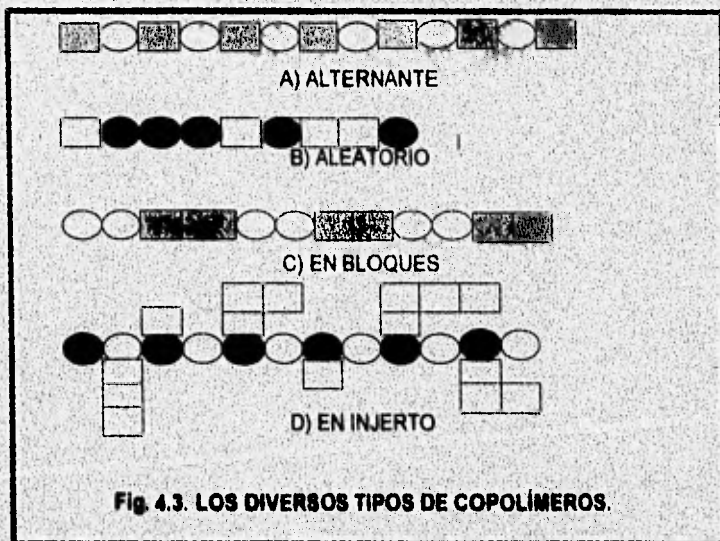


Fig. 4.3. LOS DIVERSOS TIPOS DE COPOLÍMEROS.



Con lo anterior se pueden clasificar tres tipos de estructuras:  
Isotácticos. Todos los radicales de un mismo lado.  
Atácticos. Radicales distribuidos al azar.  
Sindiotácticos. Radicales alternados a cada lado.

#### 4.2.4. CRISTALINIDAD.

Casi todas las sustancias sólidas tienden a ser cristalinas debido a la ordenación regular de las partículas que los forman. En el caso de los polímeros esta ordenación es difícil debido a la complejidad de las macromoléculas.

Las zonas cristalinas de un polímero no poseen la forma habitual de los cristales, son mucho más pequeños, contienen imperfecciones y están conectadas con las zonas amorfas a través de macromoléculas compartidas por una y otra zona, de manera que no existe una separación clara entre la zona amorfa y la cristalina. De hecho, muchos de los polímeros considerados "cristalinos" llegan a presentar un contenido amorfo entre el 20 y 50%.

Que un polímero se encuentre en un estado más o menos cristalino, tiene una gran importancia con respecto a las propiedades mecánicas y térmicas del material.

Los factores que determinen la cristalinidad son los siguientes:

1. Regularidad en la estructura de las moléculas, de manera que existan zonas idénticas en varias de ellas y puedan acoplarse. Dentro de la regularidad estructural se tiene:

- a) *Simetría*. Una estructura que posea mayor simetría tendrá una cristalinidad semejante.
- b) *Número de átomos de carbono*. Si es número par el compuesto tendrá mayor cristalinidad que en el caso de tener un número non de carbonos.
- c) *Tacticidad*. Los polímeros atácticos son amorfos, por lo que los isotácticos y sindiotáctico son quienes presentan una regularidad estructural y son cristalinos.
- d) *Remificaciones*. Cuando un polímero presenta mayor linealidad, igualmente es su cristalinidad.
- e) *Peso molecular*. A mayor peso molecular en una cadena polimérica tendrá mayor cristalinidad, dado que para cada polímero existe un intervalo específico de peso molecular en el que el grado de cristalización es máximo.
- f) *Copolimerización*. La copolimerización en general, destruye la regularidad estructural y baja el grado de cristalinidad, además que también actúa como un separador de cadenas.

2. Libertad de rotación en las cadenas de la macromolécula, para adaptar la conformación necesaria para integrarse en la zona cristalina.

3. Existencia y distribución regular de grupos capaces de formar enlaces intermoleculares.

4. Ausencia de grupos voluminosos que impidan el acoplamiento de las macromoléculas.



### 4.3. COMPORTAMIENTO TÉRMICO.

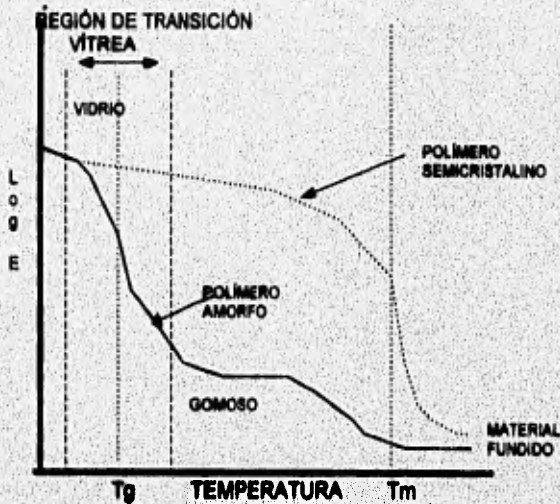
El efecto de la temperatura sobre los polímeros es relativamente compleja y de una gran importancia en las propiedades físicas de los mismos.

Los polímeros cristalinos o parcialmente cristalinos, presentan una *temperatura de fusión* ( $T_m$ ) en donde desaparecen las entidades ordenadas o cristalinas. Por lo que al aumentar la temperatura de un sólido duro, rígido y frágil, pasa a un estado líquido y viscoso.

Cuando el polímero es amorfo, no existe esta temperatura de fusión, sino la *temperatura de transición vítrea* ( $T_g$ ) que de un material vítreo y relativamente denso, se transforma en un material flexible, blando y de naturaleza gomosa.

A cualquier temperatura mayor a la  $T_g$ , el movimiento molecular es posible y las propiedades de la estructura de cadenas enmarañadas únicamente depende de las fuerzas de Van Der Waals entre las cadenas, formándose un polímero en estado gomoso. A temperaturas por abajo a la  $T_g$  el material se vuelve vítreo y frágil (Fig. 4.5).

En cuanto a la deformación por influencia de la temperatura, se tiene que a temperaturas menores a la  $T_g$  la deformación es extensa, y en este momento es posible moldear o manejar el plástico, a temperaturas cercanas a la  $T_g$ , la deformación es casi reversible. Entre la  $T_g$  y la temperatura de fusión ( $T_m$ ) el material es huleso, y a temperaturas mayores a ésta se tiene un líquido viscoso.



**FIG. 4.5 MODULO DE ELASTICIDAD vs TEMPERATURA PARA POLÍMEROS.**



De esta forma tenemos que un material parcialmente cristalino presenta mayor resistencia mecánica que el mismo material con estructura amorfa, debido a que las regiones cristalinas del material aumentan su dureza, resistencia y lo hace más fuerte; mientras que las regiones amorfas son gomosas y frágiles.

#### 4.4. COMPORTAMIENTO MECÁNICO.

Como consecuencia de los distintos fenómenos implicados, el comportamiento mecánico de un plástico viene afectado por un conjunto de factores tales como la cristalinidad, movilidad de cadenas, resistencia viscosa a la deformación, temperatura de trabajo, velocidad y duración de la aplicación de un esfuerzo.

El comportamiento que los materiales en general presentan cuando son sometidos a la acción de una o varias cargas, llámense de compresión, torsión, tracción, etc.; es lo que se le denomina "propiedades mecánicas".

Las propiedades mecánicas de los plásticos, están enteramente dominadas por su carácter viscoelástico (característica tanto de sólidos como de líquidos) con fuertes desviaciones del comportamiento Hookeano y Newtoniano. Es importante considerar también que su comportamiento frente a un esfuerzo mecánico es función del tiempo. Esto es de gran interés cuando se diseña un producto o material que deberá de soportar cargas.

En la morfología del polímero, las cadenas más enmarañadas tienen respuestas elásticas, pero también el deslizamiento de las cadenas produce respuestas viscosas. La deformación viscosa es permanente e irrecuperable, pero la deformación elástica es reversible aunque a veces lenta cuando la carga se elimina.

Como se ha visto, las propiedades mecánicas dependen fundamentalmente de la composición y estructura del polímero, pero además existen otros factores que influyen en las mismas, como lo es la temperatura y la humedad.

Entre las principales propiedades mecánicas se encuentran:

- Resistencia a la tracción. Capacidad de alargamiento que tiene un material.
- Resistencia a la compresión. Capacidad que presenta un material ante la reducción del volumen por presión o temperatura.
- Resistencia al impacto. Medida que indica cuanto soporta un material al choque con otro cuerpo o proyectil.
- Resistencia al desgaste. se define como la disminución por roce.
- Dureza. Es la resistencia al rallado
- Módulo de Flexión. Es la medida en que se determina la rigidez del material.
- Resistencia a la tensión. Esta propiedad nos indica la capacidad que presenta un material al soportar una carga antes de deformarse.

La influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas de los plásticos se puede resumir de la siguiente forma:

1. A temperaturas inferiores a la  $T_g$ , los polímeros son rígidos con un alto módulo que disminuye.
2. A temperaturas muy próximas a la  $T_g$ , aumenta la resistencia al impacto.
3. Al aumentar la temperatura, disminuye la resistencia a la tracción y aumenta la deformación.

Como regla general la influencia de la temperatura sobre las propiedades mecánicas es menor en los termoesestables que en los termoplásticos.

La adición de plastificantes en los procesos de manufactura, supone una disminución de la  $T_g$ , por lo que su efecto es equivalente a un aumento en la temperatura. El comportamiento que presentan los polímeros por influencia de la humedad es que en muchos casos el agua actúa como plastificante, alterando las propiedades del material.

#### **4.5. PROPIEDADES ELÉCTRICAS.**

Todos los polímeros orgánicos son dieléctricos, es decir, su conductividad eléctrica y térmica es baja por lo que son buenos aislantes.

La baja conductividad se debe a que los enlaces químicos que forman al polímero en la mayoría de los casos es covalente, y éstos no tienen electrones libres o iones que puedan conducir la electricidad.

A temperatura constante la conductividad de los polímeros es independiente de la tensión aplicada. Cuando el campo eléctrico es muy importante (de gran dimensión), la conductividad aumenta con el valor de este campo, de manera que puede producirse una descarga eléctrica.

#### **4.6. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS MAS COMUNES.**

Los plásticos se clasifican de acuerdo con el comportamiento que presentan frente al calor en dos tipos: termoplásticos y termofijos.

##### **4.6.1. TERMOPLÁSTICOS.**

Son materiales poliméricos de estructura lineal y su elaboración se realiza en condiciones en las que son conformables plásticamente. Estos materiales a bajas temperaturas son quebradizos, pero al irse incrementando hasta llegar a la  $T_g$  (temperatura de transición al estado vítreo) se vuelven blandos y moldeables, y al enfriarse endurecen conservando sus formas, logrando que se repita esta acción indefinidamente sin que esto altere sus propiedades.

Los termoplásticos están constituidos por macromoléculas lineales que constan de una porción indeterminada de meros que se yuxtaponen en una sólo dirección. Entre estas moléculas no existen uniones rígidas, sino solamente enlaces débiles como fuerzas de Van Der Waals, atracciones dipolo-dipolo, y puentes de hidrógeno. Los enlaces son suficientemente débiles como para que al alcanzar la Tg, se rompan permitiendo deslizar una macromolécula con relación a otras, de manera que al enfriarse se regeneren los enlaces y se conserve la forma adquirida.

Por consiguiente es fácil realizar la conformación de estos materiales en caliente todas las veces que se quiera, hasta que no sea superada la temperatura de descomposición, pues a esta temperatura las macromoléculas se fragmentan siendo imposible reconstruirlas.

Su utilización se limita por lo tanto a la región comprendida entre la temperatura de plastificación y la de descomposición.

#### 4.6.2. TERMOESTABLES O TERMOFIJOS.

Los plásticos termofijos poseen una estructura entrecruzada, los cuales los torna duros, rígidos y frágiles y al ser recalentados se descomponen, es decir no pueden fundirse ni solubilizarse sin modificar sus propiedades.

En su preparación es mejor iniciar por la formulación de prepolímeros lineales, que puedan entrecruzarse posteriormente. Por lo general, los sistemas de prepolímeros tienen una resistencia más alta y generan menos calor y subproductos durante el curado final. Las propiedades de los polímeros muy entrecruzados depende del número de enlaces transversales. Las propiedades pueden variar entre semiflexibles hasta duros-frágiles, en función de la resina y el agente de curado empleado.

Estos materiales muestran muy poco alargamiento a cualquier temperatura. Suelen ser muy resistentes al calor, ya que las fuerzas que mantienen unidas las cadenas son originadas por enlaces químicos, mucho más fuertes que los originados por fuerzas de Van Der Waals o polaridades. Al exponerse a bajas temperaturas son poco afectados. Los polímeros con un alto grado de entrecruzamiento suelen ser frágiles a temperatura ambiente y mantienen sus propiedades incluso a temperaturas criogénicas.

En forma general se puede decir que en los primeros (termoplásticos) se lleva a cabo un cambio físico, y en los segundos (termoestables) un cambio químico.

El siguiente cuadro resume esta clasificación, incluyendo en cada familia los tipos de plásticos más comunes:



A continuación se indicarán algunos de los polímeros más característicos de cada familia.

#### 4.6.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS MAS COMUNES.

En este apartado se describirán las principales características de los termoplásticos y los termofijos, destacando que la tipificación es de acuerdo con la que se encuentra en los residuos plásticos del IMSS. Se iniciará con los materiales que son más comúnmente empleados:

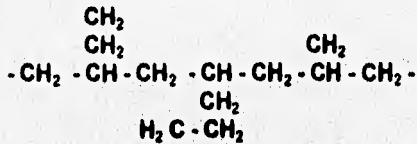
**POLIOLEFINAS.** Con esta denominación se engloban todos los polímeros que se obtienen por polimerización de olefinas, y teniendo en cuenta sus aplicaciones se estudiarán: polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad y polipropileno.

##### 4.6.3.1. POLIETILENO BAJA DENSIDAD (LDPE).

El primer polímero comercial derivado del etileno, fue el polímero ramificado, comúnmente denominado material de baja densidad o alta presión. El polietileno llegó a ser en 1959 el primer plástico con una producción de 400,000 toneladas. Este consumo tan importante es debido principalmente a sus excelentes propiedades dieléctricas, que permitieron aplicarlo como aislante de cables de alta frecuencia.



Se obtiene a partir de una polimerización por adición a presiones muy altas (1500 a 3000 atm), siendo necesario el uso de oxígeno y peróxido para iniciar la reacción produciéndose un polímero formado por macromoléculas con cadenas laterales:



Es un polímero que funde alrededor de los 140° C, y es un sólido parcialmente cristalino.

- **CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.** Facilidad de procesado, bajo costo, excelentes propiedades eléctricas, resistencia moderada, alta tenacidad, buena resistencia química, baja fricción, flexibilidad, razonable transparencia en películas delgadas, ausencia de toxicidad y olor, permeabilidad al vapor de agua lo suficiente como para usarlo en construcción, embalajes.
- **LIMITACIONES.** Bajo punto de ablandamiento, baja resistencia al rallado, susceptible a la oxidación, apariencia tipo cera, baja resistencia a la tracción, alta permeabilidad a los gases, falta de rigidez (que pueda ser en algunos casos una virtud).

PROPIEDADES	UNIDADES	LEPES
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	0.91 - 0.94
Temperatura de Fusión (Tm)	°C	115
Temperatura de Transición Cristalina (Tg)	°C	-90 a -20
Resistencia a la Tensión	kg./cm <sup>2</sup>	223.99 - 397.09
Resistencia a la Flexión	kg./cm <sup>2</sup>	1862.52
Resistencia al Impacto	kg./cm <sup>2</sup>	7 - 11
Elongación	% a 23° C	200 - 800
Dureza Rockwell		40 - 50
Constante Dieléctrica	(ε) <sup>23° C</sup> kHz	2.2
Densidad Relativa		0.91 - 0.925
Poder Calórico	KCal/kg	10507.1

FUENTE: 4, 22, 28, 33.

- **FORMAS PRODUCIDAS.** Moldeos por extrusión, inyección, por extrusión formable en película, lámina, fibra y espuma rígida.
- **APLICACIONES.** Aislamiento eléctrico, bolsas, recipientes para uso doméstico, tubería, juguetes, artículos deportivos, cajas para embalajes.



4.6.3.2. POLIETILENO ALTA DENSIDAD (HDPE).

El polietileno de alta densidad se obtiene sometiendo al etileno a bajas presiones y en presencia de catalizadores específicos. La presencia de estos catalizadores da lugar a cadenas lineales muy poco ramificadas, contiene menos de una cadena lateral por cada 200 átomos de carbono correspondientes de la cadena principal. Es un polímero altamente cristalino (90%). Su densidad debido a su estructura empaquetada es mayor a la del polietileno de baja densidad (LDPE). Su resistencia química y eléctrica son semejantes a la del LDPE, pero tiene mayor resistencia a la tracción y mayor dureza.

- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.** Al igual que el LDPE presenta una facilidad en el procesado, excelentes propiedades eléctricas, excelente resistencia química, presenta alta resistencia a la tracción por poseer mayor carácter cristalino que el LDPE, tiene bajo costo.
- LIMITACIONES.** Presenta una menor transparencia en comparación con el LDPE, apariencia tipo cera, presenta una mayor dureza.
- FORMAS PRODUCIDAS.** Se utiliza en procesamiento por inyección para la fabricación de embalajes, y por extrusión en la obtención de láminas, filmes, tubería, y su principal aplicación es por soplado (42%) en la fabricación de botellas.
- APLICACIONES.** Artículos domésticos (6%), embalajes (22%), láminas y filmes (15%), tubería (10%), botellas (40%) y otros (5%).

PROPIEDADES	UNIDADES	HDPE
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	0.945 - 0.96
Temperatura de Fusión (T <sub>m</sub> )	°C	132 - 137
Temperatura de Transición Cristalina (T <sub>g</sub> )	°C	
Resistencia a la Tensión	kg/cm <sup>2</sup>	70.99 - 162.99
Resistencia a la Flexión	kg/cm <sup>2</sup>	1737.06
Resistencia al Impacto.	kg/cm <sup>2</sup>	1 - 3
Resistencia a la Compresión	kg/cm <sup>2</sup>	175.6 - 351.5
Módulo de Flexión	kg/cm <sup>2</sup>	5624 - 8437
Elongación	% a 23 °C	20 - 650
Dureza Rockwell		38 - 58
Constante Dieléctrica	(ε) <sup>25°C</sup> kHz	2.33
Densidad Relativa		0.941 - 0.965
Poder Calórico	KCal/kg	10507.1

FUENTE: 3, 26, 34.

#### 4.6.3.3. POLIPROPILENO (PP).

Es un polímero lineal de alto peso molecular, prácticamente sin insaturación, presenta mucha semejanza con los dos anteriores particularmente en su comportamiento frente a los solventes, su resistencia dieléctrica y química, aunque es menos estable al calor, la luz y los agentes oxidantes. Debe utilizarse mezclado con antioxidantes y absorbentes de la luz ultravioleta para su procesado y para que su comportamiento a la intemperie sea satisfactorio.

- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.** Menor densidad que el polietileno, reblandecimiento en un punto más alto que el polietileno, resistente al agua hirviendo, lo que permite se someta a esterilización, es más frágil que el polietileno, buena resistencia eléctrica y térmica.
- LIMITACIONES.** Susceptible a la oxidación por calor, luz y oxígeno; es necesario el uso de estabilizadores y antioxidantes en el procesado.

PROPIEDADES	UNIDADES	PP
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	0.901
Temperatura de Fusión (T <sub>m</sub> )	°C	168 - 171
Temperatura de Transición Cristalina (T <sub>g</sub> )	°C	-35 a -10
Resistencia a la Tensión	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	305.08 - 410
Resistencia a la Flexión	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	1862.52
Resistencia al Impacto	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	3 - 6
Resistencia a la Compresión	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	351.5
Módulo de Flexión	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	11952.01
Elongación	% a 23 °C	300 - 500
Dureza Rockwell		95
Constante Dieléctrica	(ε) kHz	2.25
Poder Calórico	KCal/kg	10507.1
Densidad Relativa		0.90

- FORMAS PRODUCIDAS.** Transformado por inyección se utiliza en cajas de baterías, parachoques, calefactores, etc., utilizado por extrusión es utilizado en la fabricación de películas, láminas y tubos.
- APLICACIONES.** Es muy utilizado en cajas de acumuladores, material de laboratorio para hospitales, embalajes, juguetes, maletas, filmes, tubos y láminas.

En general puede decirse que cuando se busca una mayor flexibilidad se recurre al polietileno de baja densidad (LDPE) y cuando se requiere de cierta rigidez al polietileno alta densidad (HDPE) o al polipropileno (PP). Para condiciones de trabajo en presencia de grasas y solventes a altas temperaturas se trabaja el polipropileno (PP).

#### 4.6.3.4. POLICARBONATO (PC).

Es un material amorfo cuya materia prima es el bisfenol A y el fosgeno, al reaccionar se desprende ácido clorhídrico y se forma la macromolécula, por lo que es un polímero de condensación. Puede soportar altas temperaturas sin que presente deformaciones.

- **CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.** El policarbonato es estable a los ácidos minerales, a ácidos orgánicos, no presenta olor ni sabor, presenta alta resistencia a las cargas, rigidez hasta temperaturas de 140° C, buen aislante eléctrico, buenas propiedades ópticas.
- **LIMITACIONES.** Es de costo elevado en comparación con las poliolefinas, absorbe la luz ultravioleta presentando amarillamiento, el agua caliente lo degrada, perdiendo resistencia al impacto y alargamiento a la rotura.
- **FORMAS PRODUCIDAS.** El policarbonato puede transformarse por inyección y extrusión.
- **APLICACIONES.** Es utilizado principalmente en electrónica y electrotecnia (cajas de distribución, cuerpos para bobinas, dados luminosos, etc.), piezas para aviones, autos, y calculadoras comerciales; engranes, conexiones hidráulicas, partes de aparatos domésticos.

PROPIEDADES	UNIDADES	PC
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	1.2
Temperatura de Fusión (Tm)	°C	215 - 225
Temperatura de Transición Vitrea (Tg)	°C	149
Resistencia a la Tensión	kg/cm <sup>2</sup>	632.42
Resistencia a la Flexión	kg/cm <sup>2</sup>	949.62
Resistencia a la Compresión	kg/cm <sup>2</sup>	878.96
Módulo de flexión	kg/cm <sup>2</sup>	23868
Elongación	% a 23° C	6 - 8
Constante Dieléctrica	(ε) kHz	2.96
Capacidad Calórica	KJ/kg ° K	1.26
Densidad Relativa		1.20

FUENTE: 3, 4, 22, 28.

#### 4.6.3.5. POLICLORURO DE VINILO (PVC).

Es uno de los polímeros comerciales de mayor producción y consumo. El monómero es el cloruro de vinilo  $H_2C=CHCl$ . La polimerización se inicia bajo el efecto de la luz, pudiendo utilizarse calor y agentes químicos. Las macromoléculas se unen cabeza-cabeza o cola-cabeza al azar, originándose macromoléculas atácticas donde los átomos de cloro están al azar dentro de la cadena.

- **CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.** No es inflamable, buen aislante eléctrico, buena resistencia química, resistencia a los agentes atmosféricos, resistente a la abrasión y a la flexión, buena resistencia al impacto, excelente transparencia, el PVC rígido tiene buena resistencia a los ácidos y álcalis.
- **LIMITACIONES.** El PVC es bastante inestable al calor y a la luz, desprendiendo ácido clorhídrico (HCl) en el procesamiento, es frágil a altas temperaturas.
- **FORMAS PRODUCIDAS.** Por extrusión es muy aplicable en la fabricación de tubos para agua y drenaje, dado que ofrece altas propiedades mecánicas, claridad y transparencia es utilizado en la elaboración de envases. Por calandrado se producen filmes y hojas plastificadas usadas en recubrimientos de pisos, paredes y cortinas para baño. Por inyección se obtienen diversos productos como lo son piezas de electrodomésticos y accesorios eléctricos diversos.
- **APLICACIONES.** Elaboración de juguetes, tubería para drenaje, perfiles para ventanas y persianas, muy utilizado en productos de uso médico, para recubrimientos de pisos y paredes.

PROPIEDADES	UNIDADES	PVC
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	1.39
Temperatura de Fusión (Tm)	° C	
Temperatura de Transición Vítrea (Tg)	° C	97
Resistencia a la Tensión	kg/cm <sup>2</sup>	400 - 650
Resistencia al Impacto	kg/cm <sup>2</sup>	5 - 12
Elongación	% a 23 ° C	85 - 160
Constante Dieléctrica	(ε) kHz	3.0 - 3.3
Poder Calórico	KCal/kg	4298.4
Densidad Relativa		1.35 - 1.48

#### 4.6.3.6. POLIESTIRENO (PS).

El poliestireno es un polímero de bajo costo y propiedades generales muy interesantes: fácil de trabajar, transparencia, buenas propiedades mecánicas lo que permite tenga varias aplicaciones. El poliestireno es un polímero derivado del estireno  $H_2C = CHC_6H_5$ . Es un polímero lineal siendo el producto comercial atáctico y por lo tanto amorfo.

- **CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.** Presenta facilidad para el moldeo, excelente admisión de colores, es un material muy duro, resistente pero frágil, es muy estable frente a ácidos, alcoholes, álcalis y aceites minerales, inflamable, es atacado por solventes como cetonas, bencol, éteres, hidrocarburos clorados, baja absorción de humedad, alta resistencia dieléctrica.



- LIMITACIONES. Poca resistencia al agua hirviendo, baja resistencia a la acción de los aceites, inflamable, se degrada a temperaturas elevadas.
- FORMAS PRODUCIDAS. Moldeos por inyección principalmente, utilizado también en extrusiones, formable en lámina, película y espuma.
- APLICACIONES. Tiene gran aplicación en la industria eléctrica y electrónica, es muy aplicado también en el embalaje y como material aislante térmico y acústico en forma de poliestireno expandido, utilizado en equipos de refrigeración y artículos desechables de uso doméstico.

PROPIEDADES	UNIDADES	Ps
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	1.04 - 1.085
Temperatura de Fusión (Tm)	°C	240
Temperatura de Transición Vítrea (Tg)	°C	80
Resistencia a la Tensión	kg/cm <sup>2</sup>	250 - 610
Resistencia a la Flexión	kg/cm <sup>2</sup>	598
Resistencia al Impacto	kg/cm <sup>2</sup>	1 - 5
Módulo de Flexión	kg/cm <sup>2</sup>	30600
Constante Dieléctrica	(ε) a 23° C	2.49
Densidad Relativa		1.05 - 1.08
Capacidad Calórica	KJ/kg ° K	1.185
Poder Calórico	KCal/kg	9552

FUENTE: 16, 22, 33, 34.

#### 4.6.3.7. POLIETILENTEREFTALATO (PET).

Este polímero técnico termoplástico de poliéster aromático fue obtenido en 1941, presentando algunos problemas debido a su lenta cristalización, es hasta 1978 cuando la Cía. Dupont corrige esto y entra al mercado con una alta demanda del producto.

- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES. Elevado comportamiento y efecto barrera, rápida cristalización, resistente al impacto, resistente a altas presiones, resistente al agrietamiento, es un producto totalmente reciclable.
- FORMAS PRODUCIDAS. Es trabajado en moldeo por inyección y soplado, o por extrusión.
- APLICACIONES. Es muy utilizado en la producción de botellas para bebidas no alcohólicas, películas, artículos de uso doméstico con aleación de otro material (poli carbonatos y resinas ABS).

**PROPIEDADES GENERALES, CARACTERISTICAS Y TIPOS DE PROCESAMIENTO  
DE LOS PLÁSTICOS**

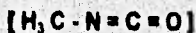
PROPIEDADES	UNIDADES	PET
Temperatura de Fusión (Tm)	° C	265
Temperatura de Transición Vitrea (Tg)	° C	69
Resistencia a la Tensión	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	1611.6
Resistencia a la Flexión	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	2386.8
Resistencia al Impacto	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	1.9
Resistencia a la Compresión	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	1754.4
Módulo de Flexión	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	28866
Elongación	% a 23° C	17
Dureza Rockwell		100
Constante Dieléctrica	(ε) kHz.	3.5
Densidad Relativa		0.98 - 1.20

FUENTE: 3, 4, 22, 28, 33.

Entre los materiales termofijos se tiene en la familia de los uretanos al poliuretano, del que se describirán someramente algunas de sus principales características

#### 4.6.3.8. RESINAS DE POLIURETANO.

En 1859 se descubrieron los primeros isocianatos. Tratando sulfato metil-sódico con cianato potásico, es obtenido el isocianato de metilo



La aplicación comercial de estos compuestos es paralela a su gran reactividad. Debido a la alta polaridad de su grupo funcional, pueden reaccionar con todas las sustancias que contienen hidrógenos reactivos.

Las materias primas más utilizadas para su fabricación se pueden dividir en varios apartados como lo son:

- a) isocianatos, diisocianatos, poliisocianatos.
- b) polioles, poliósteres.
- c) catalizadores.
- d) otras materias primas.

Las características generales de los poliuretanos son:

- Elevada resistencia a la abrasión y al desgaste.
- Resistencia a agentes químicos.
- Alto valor de módulo de Young sin sacrificar la elongación y/o elasticidad.
- En general excelentes propiedades mecánicas y fisicoquímicas.

## 4.7. PROCESAMIENTO DE PLÁSTICOS.

La transformación de los polímeros como productos de la industria química para generar artículos de consumo común se realiza mediante tres procesos principalmente, que son: *Extrusión, Inyección y Soplado.*

A continuación se describen las características más esenciales de cada una de estas técnicas.

### 4.7.1. MOLDEO POR EXTRUSIÓN.

Extrusión es la acción de forzar por medio de presión al material fundido a que pase a través de un dado o "boquilla" con una cierta forma, generando una pieza extruída, perfilada y continua.

La máquina más utilizada en los procesos de extrusión es la denominada de tornillo simple (Fig. 4.6) . El aparato está construido principalmente por un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro de la camisa cilíndrica, apenas con el espacio suficiente para rotar. El polímero sólido se alimenta en un extremo, y en el otro sale el material sometido a extrusión ya perfilado. Dentro de la máquina, el polímero se funde y homogeniza.

#### 4.7.1.1. PARTES DE UN EXTRUSOR.

Las partes que componen al extrusor son:

1. *Zona de alimentación.* Donde se precalienta y se transporta el material a la siguiente etapa.
2. *Zona de compresión o transición.* En esta zona se expulsa primeramente el aire que se encuentra atrapado entre los granulos del material original, para seguir con un mejoramiento en la transferencia de calor entre las paredes del barril calentado conforme el material se torna menos espeso. En tercer lugar se da el cambio de densidad ocurrido durante la fusión.
3. *Zona de dosificación.* Su función es el homogeneizar el material fundido y con ello suministrar a la región del dado, material de calidad homogénea a temperatura y presión constante.
4. *Zona del dado.* Es la zona fría, aquí se encuentra un portamallas que consta comunmente de una placa de acero perforado conocida como la "placa rompedora" y un juego de mallas de dos o tres capas de gasa de alambre, situadas en el lado del tornillo. El ensamble de placas rompedoras y el juego de mallas tienen principalmente tres funciones:
  - a) Evitar el paso de material extraño, debido a que comunmente se quedan atrapadas en la malla particulas de material ajeno al que se procesa, tales como metales y material no

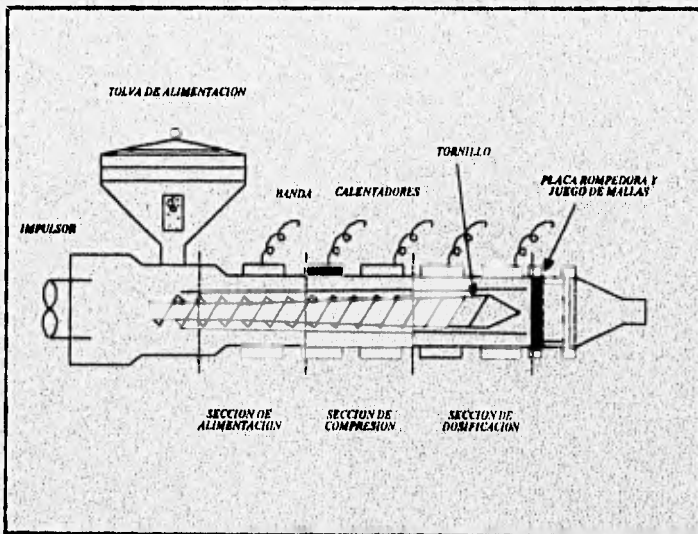
fundido que dañan al dado, aparte que provocan alteraciones en la salida del producto, pues lo produce defectuoso.

b) Crear un frente de presión cuando se opone una resistencia al bombeo de la zona anterior.

c) Eliminar la "memoria de giro" del material fundido. En algunos casos el polímero recuerda su trayectoria de giro a lo largo de la espiral del tornillo, aún después de haber pasado por el dado, lo que da como resultado una deformación por torsión del producto.

#### 4.7.1.2. PRODUCTOS GENERADOS POR EXTRUSIÓN.

Existe una gran variedad de productos que son originados a partir de la extrusión, lo más común es la extrusión de perfiles totales como tuberías para gas, agua y drenaje, canaletas de desagüe, láminas para techo y revestimiento de cables.

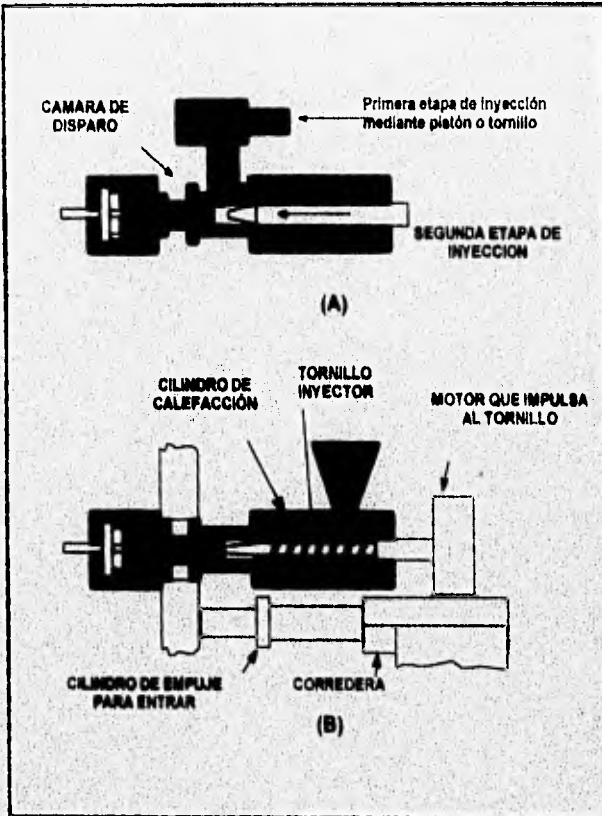


**FIG. 4.6. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN EXTRUSOR DE TORNILLO SIN FIN.**

#### 4.7.2. MOLDEO POR INYECCIÓN.

Fundamentalmente el moldeo por inyección consiste en inyectar un polímero fundido en un molde cerrado y frío, donde el polímero solidifica para formar un producto. Posteriormente se abre el molde para extraer la pieza.





**FIG. 4.7 SISTEMAS DE MOLDEO POR INYECCIÓN**  
A) TIPO DE DOS ETAPAS DE EMPUJE BUZO TORNILLO PLASTIFICANTE.  
B) TIPO DE TORNILLO RECIPROCANTE DE UNA ETAPA.

Las máquinas para el moldeo por inyección calientan el material termoplástico para suvizarlo, lo moldean y enfrían. Estas máquinas se componen por dos unidades, la de inyección y la que cierra el molde. La unidad de inyección es similar al procedimiento de extrusión, la diferencia fundamental es el tornillo o émbolo por el cual es inyectado el material. La unidad de cierre es básicamente una prensa hidráulica o mecánica, lo

suficientemente grande para contrarrestar la resistencia que genera el material fundido cuando se inyecta al molde, el cual está sujeto a la unidad de cierre. Las partes que componen el molde son:

1. *La cavidad.* En la cual se moldea el producto.
2. *Los canales.* En los que fluye el material al inyectarse.
3. *Los canales de enfriamiento.* A través de ellos se bombea agua de enfriamiento para retirar el calor del material fundido.
4. *Los pernos expulsores.* Los cuales sacan la pieza moldeada de la cavidad.

Entre los métodos de moldeado por inyección destacan el de émbolo buzo de una sola etapa, y el de tipo tornillo recíprocante también de una etapa. En el tornillo recíprocante cuando el émbolo se retira, cae materia prima de la tolva a la cámara, el émbolo buzo empuja el material hacia adelante para obligarlo a pasar a través del cilindro de calefacción, donde este se suaviza e inyecta bajo presión dentro del molde.

El tornillo recíprocante es en general un tornillo de Arquímedes (Fig. 4.7), que gira dentro de un barril o camisa con una distancia mínima entre la pared y el hilo del tornillo. El barril contiene calentadores de cincho que lo rodean. Los gránulos de polímero frío se cargan en el extremo de alimentación y el polímero fundido sale por el extremo de expulsión. Así que el calentamiento se debe tanto a los calentadores de barril y la fricción que ejerce el material al pasar por el tornillo. Cuando se ha preparado suficiente material el tornillo deja de girar y se impulsa hacia adelante, empujando la carga dentro del molde.

Los polímeros termofijos también pueden moldearse por inyección, pero deben polimerizarse y moldearse antes de que fragüen en la máquina, esto es lo que normalmente suele hacerse en este tipo de máquinas.

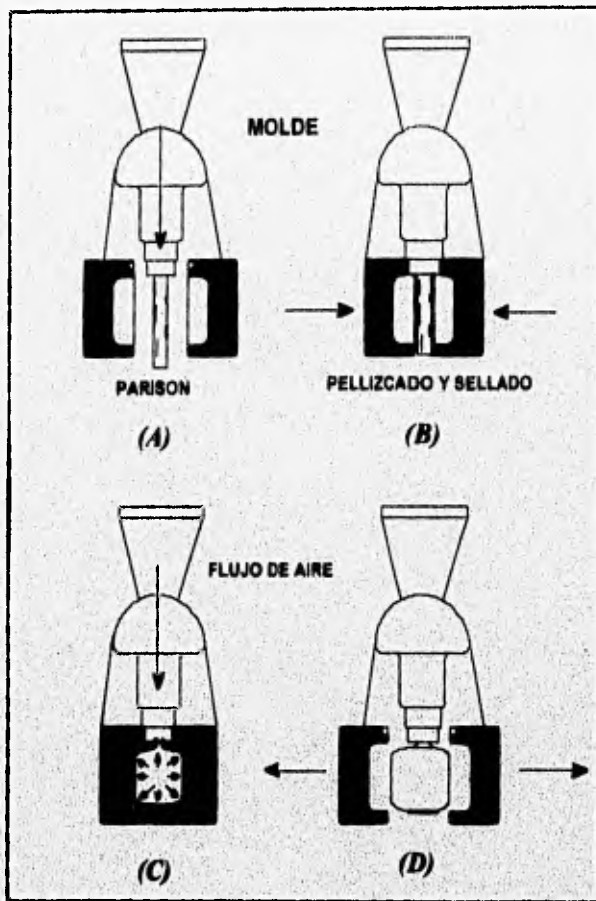
#### 4.7.3. MOLDEO POR SOPLADO

El moldeo por soplado se usa para producir botellas y otros contenedores que son básicamente formas huecas simples. Existen dos subdivisiones de esta técnica que son, el moldeo extrusión-soplado y el moldeado por inyección-soplado.

##### 4.7.3.1. EXTRUSIÓN-SOPLADO

En el moldeo realizado por este método se tiene un tubo semifundido llamado forma intermedia, que se produce directamente del extrusor, del cual sale caliente y blando. La extrusión puede a su vez realizarse en forma continua o intermitente, en la primera la forma intermedia se corta y se mueve hacia el molde o bien el molde se mueve llevando la forma intermedia, y en la segunda el molde se queda bajo el punto de extrusión. La extrusión continua es la más común, ya que permite mayor producción.

La figura 4.8 muestra el arreglo más empleado y que consiste de una extrusión hacia abajo, la cual produce formas intermedias con pared gruesa en su parte inferior y delgada en la superior. Esto es debido a los efectos de la gravedad y de hinchamiento en la parte del dado, es decir al iniciar la extrusión de la forma intermedia, el hinchamiento en el dado engrosa las paredes, y el mismo peso de la forma la estira y adelgaza.



**FIG. 4.8 PASOS EN EL MOLDEO POR SOPLADO.**

A continuación del adelgazamiento y estiramiento de la forma intermedia, esta desciende hacia la boquilla de soplado donde es expandida con aire.

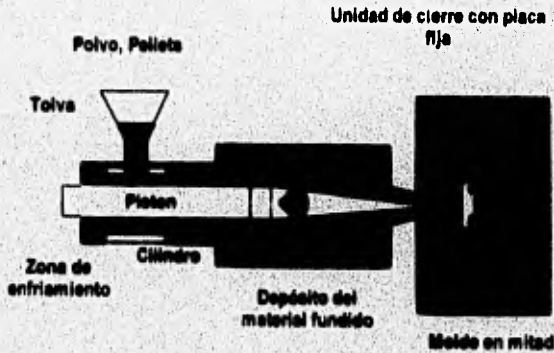
La ventaja del moldeo por extrusión-soplado, es que no se pierde tiempo entre el moldeo y el soplado; y la desventaja principal consiste en que puede existir una cicatriz en el cuello de la botella debido a que la forma intermedia tiene que ser suficientemente larga para descender hasta la boquilla de soplado, por lo que se requiere desbastar la botella después de moldearla.

#### 4.7.3.2. INYECCIÓN-SOPLADO.

En el moldeo efectuado por este método se parte de un tubo conocido como preforma, el cual se obtiene mediante un moldeo por inyección en un molde muy frío, es decir, el enfriamiento de la pieza se acelera en un estado amorfo mediante el empleo de un líquido refrigerado. Posteriormente la preforma se recalienta por encima de su temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), y se estira por soplado (Fig: 4.9).

El polímero que más se utiliza en este tipo de moldeo es el polietileno-tereftalato (PET), material con el que se fabrican las botella para las bebidas carbonatadas y que actualmente están sustituyendo el mercado de los envases de vidrio que son empleados para contener estas bebidas.

FIG. 4.9 MOLDEO POR INYECCION SOPLADO





## **CAPITULO 5**

### **COMPOSICION DE LOS RESIDUOS PLASTICOS DE LAS UNIDADES MEDICAS DEL IMSS**

## CAPITULO 5.

### COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN LAS UNIDADES MEDICAS DEL IMSS.

El tratamiento o procesamiento de los residuos plásticos en general, inicia con el establecimiento tanto de la composición como de la cantidad total generada, además de las condiciones y características con las que éstos se producen.

En el caso de los residuos generados en las unidades médicas del IMSS, sólo es posible estimar la cantidad de plástico esperado en cada una de ellas, con base en indicadores desarrollados por el propio Instituto, pero no así la composición, por lo que para conocerla se hace necesaria la realización de investigaciones previas en dichas unidades.

#### 5.1. TIPO DE MUESTREO Y DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA.

El IMSS cuenta actualmente con 76 unidades médicas distribuidas en el Distrito Federal, lo que en términos estadísticos representa a la población total. La medida de una cierta característica de la población se puede realizar por medio del estudio de todos sus elementos o bien, mediante el análisis de una parte de ellos; en cuyo caso se estará hablando de una muestra representativa obtenida aleatoriamente.

Antes de seleccionar el tamaño de muestra deben fijarse las condiciones del muestreo.

Las estimaciones realizadas mediante muestreo aleatorio simple en poblaciones heterogéneas están sometidas a fluctuaciones muy grandes, por lo que agrupando a la población en categorías o estratos con cierta semejanza la variación dentro de cada subdivisión disminuirá, y podrá obtenerse una mejor estimación del comportamiento poblacional.

Un muestreo aleatorio estratificado se aplica en poblaciones heterogéneas, y se obtiene separando los elementos de la población en grupos, o estratos, de tal manera que cada elemento pertenezca a sólo uno de los estratos, y entonces se obtiene una muestra aleatoria de manera independiente en cada estrato, llamada *muestra estratificada*, las cuales se promediarán para obtener los resultados de la muestra total.

Aplicando el concepto anterior a las unidades médicas del IMSS, estas se pueden agrupar con base en el tipo de atención que proporcionan, logrando englobar en un primer nivel a las Unidades de Medicina Familiar (UMF), que son las que otorgan consulta externa. En el segundo nivel se encuentran los Hospitales Generales (HGZ) que prestan servicios de hospitalización, y que cuentan con 1 hasta 50 camas y laboratorios clínicos que realicen de 21 a 100 análisis por día. Por último, en el tercer nivel se concentran los

Hospitales de Especialidades y Centros Médicos, los cuales a diferencia de los anteriores cuentan con más de 50 camas y realizan más de 100 análisis clínicos por día.<sup>2</sup>

Las unidades que integran los respectivos estratos deben presentar gran homogeneidad en las funciones que desempeñan y esto se refleja en el tipo de atención que otorgan. Además de emplear prácticamente los mismos materiales, equipos y medicamentos del cuadro básico que maneja esta institución, variando solamente el número de piezas utilizadas y desechadas ya que esto es función del número de pacientes atendidos. Encontrando que para el tercer nivel al tratarse de especialidades, existen artículos de uso médico específico en cada área, que no es común al resto de los hospitales que componen este nivel.

Para tener una idea más clara de los mencionado anteriormente, en la tabla 5.1 se presenta la clasificación de las especialidades que se agrupan en el tercer nivel.

TABLA 5.1 CLASIFICACIÓN DE HOSPITALES EN ESPECIALIDADES DEL IMSS.	
ESPECIALIDAD	NUMERO DE HOSPITALES EN EL D.F.
Ortopedia	1
Cardiología	1
Infectología	1
Oncología	1
Pediatría	1
General	1
Traumatología	2
Medicina Física	3
Especialidades	3
Psiquiátrico	3
Gineco-obstetricia	5
*Banco de Sangre	3
<b>TOTAL DE UNIDADES</b>	<b>25</b>
* No existe área de hospitalización.	

FUENTE: IMSS. Unidades y Hospitales del Régimen Ordinario. 20 de Mayo de 1994.

De acuerdo al esquema presentado con anterioridad, se decidió que la técnica de muestreo más adecuada para aplicarla en este caso sería una " *estratificación de tipo proporcional* ". El tener un muestreo estratificado da la facilidad de trabajar como un estrato a cada uno de los tres niveles de atención médica que otorga el Instituto; y al hacerlo proporcional, el número de unidades extraídas en cada estrato es proporcional al tamaño de éste.

<sup>2</sup>En base a lo especificado en la norma NOM-087-ECOL-1995 publicada el 7 de nov. de 1995.

TABLA 5.2 NIVELES DE ATENCIÓN MÉDICA.		
NIVEL	SERVICIO MEDICO	No. DE UNIDADES EN EL D.F.
1	Unidad de Medicina Familiar (UMF)	39
2	Hospital General de Zona (HGZ)	12
3	Hospital de Especialidades y Centros Médicos.	25*

\* Se incluyen 3 Hospitales Banco de Sangre donde no existe área de hospitalización para enfermos.

FUENTE: IMSS, Unidades y Hospitales de Régimen Ordinario. 20 de Mayo de 1994.

Para el cálculo del tamaño de la muestra tomando en cuenta nivel de confianza, error máximo y desviación estándar, se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$n = \left[ \frac{Z(1 - (\alpha/2))\sigma}{E} \right]^2$$

Donde:

- n = Tamaño de muestra.
- Z = No. de desviaciones estándar con respecto a la media.
- $\alpha$  = Factor de riesgo.
- E = Error máximo de estimación.
- $\sigma$  = Desviación estándar

Aún fijando un nivel de confianza  $(1 - \alpha/2)$  del 99% y un error de estimación que tienda a cero (máximo del 5%), se ha comprobado que con estas características el tamaño de muestra nunca será superior al 10% respecto al total de unidades que componen a cada estrato, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 5.2.

TABLA 5.3 TAMAÑO DE MUESTRA		
NUMERO DE ESTRATO	TAMAÑO DE LA POBLACIÓN ( $N_{Ei}$ )	TAMAÑO DE LA MUESTRA ( $n_{Ei}$ )
1	39 (0.10)	4
2	12 (0.10)	2
3	25* (0.10)	2*
<b>TOTALES</b>	<b><math>N_{TOT} = 76</math></b>	<b><math>n_{TOT} = 8</math></b>

\* Para determinación del tamaño de la muestra no se tomaron en cuenta a los tres hospitales de sangre incluidos en este nivel, debido a que no cuentan con áreas para internos, y los residuos plásticos que allí se generan se destinan a incineración por poseer características biológico-infecciosas.



## 5.2. METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS PLÁSTICOS PRESENTES EN LA MEZCLA DE RESIDUOS.

El conocer la composición de los residuos plásticos es un punto fundamental para su posterior recuperación por la industria, realizando el reciclado de los materiales que concentren las características para ello. De igual forma es también importante conocer este aspecto por si existen materiales que al brindarse algún tratamiento, como la incineración, generen gases tóxicos o nocivos, sustancias y residuos peligrosos que dificulten su manejo.

Para la determinación de la composición de los residuos plásticos de unidades médicas se plantearon dos alternativas; la primera consistía en realizar un conteo de todos los residuos plásticos que se generaran en cada uno de los servicios que otorgan las unidades médicas, cubriendo todos los turnos que en ella se labore por espacio de una semana como mínimo, la segunda partiría del principio de que todos los artículos de plástico que entran a la unidad es igual al total de residuos generados.

Por otra parte, el total de residuos generados en estas unidades puede considerarse de dos: a) los que pertenecen a un cuadro básico cuyo control lo lleva la propia unidad a través de los servicios de almacén y farmacia, y en cuyo caso son de uso médico y limpieza, y b) los artículos de uso no médico que introducen a las unidades los usuarios y trabajadores, y depositan en áreas no médicas como salas de espera, pasillos, cafeterías, aulas, comedores, etc.

El desarrollo de la primera alternativa resultaba muy costosa en cuanto al tiempo y los recursos necesarios para ello, motivo que delimitó la selección del método empleado para la investigación, eligiendo la segunda técnica. El inconveniente principal de trabajar con esta alternativa fue que los insumos de material plástico pertenecientes al cuadro básico resultó ser muy extensa, además que muchos de estos insumos son empaquetados también con plástico. Por ello y para mantener un nivel de confianza aceptable fue elegido el estudio de los artículos del cuadro básico que fueran, primero, los de mayor consumo y segundo alto peso, o volumen. La identificación de los artículos con estas características se logró por medio de la observación directa y la información proporcionada por el personal que labora dentro de cada área. Por otra parte, se obtuvo una pieza de cada artículo de interés para su posterior estudio e identificación del plástico con que se fabrica.

La determinación de la composición de materiales plásticos y el peso en todos los artículos de interés se realizó mediante varias alternativas, como:

1. Especificaciones del fabricante.
2. Normas específicas para la fabricación de artículos médicos.
3. Pruebas empíricas de identificación.
4. Realización del análisis solicitado a los laboratorios de Control de Calidad del IMSS.

Por estas vías finalmente se identificaron 10 tipos de plásticos en los artículos analizados, encontrando:

1. Polipropileno (PP).
2. Polietileno alta densidad (HDPE).
3. Polietileno baja densidad (LDPE).
4. Poliestireno -rígido y espuma- (PS).
5. Policloruro de vinilo (PVC).
6. Polietilentereftalato (PET).
7. Acrilonitrilobutadienostireno (ABS).
8. Poliuretano (PUR).
9. Hules látex y
10. Hules sintéticos.

Estos 10 tipos de plásticos corresponden a los artículos estudiados, pero dentro de los no estudiados pueden existir algunos otros aunque en cantidades menores, además la mayoría de estos artículos son empaques de los mismos artículos, y comúnmente los tipos de plásticos que son utilizados para ello es poliestireno, polipropileno o polietileno.

Para tener una referencia de la confiabilidad del método empleado, se realizó una comparación entre los resultados esperados mediante el uso de los indicadores proporcionados por el IMSS y los obtenidos a través de la investigación directa en las unidades médicas para los tres niveles.

Los valores de los indicadores utilizados por el IMSS para la estimación de la cantidad de residuos sólidos ya se mostraron en el capítulo 2, pero para recordarlos serán mostrados en la siguiente tabla:

TABLA 2.4 INDICADORES DEL IMSS PARA RESIDUOS SÓLIDOS		
NIVEL	INDICADOR (BASURA)	PARTICIPACIÓN DE PLÁSTICOS DENTRO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
Primer	3.70 kg/día * Consultorio	6.16 %
Segundo	2.47 kg/día * Cama censable	28.79 %
Tercer	2.47 kg/día * Cama censable	28.06 %

FUENTE: IMSS, 8 de Junio de 1992.

Para el establecimiento de estos indicadores el IMSS realizó un censo de todos los residuos que en sus unidades tanto médicas como no médicas, elegidas para tal efecto, se generaron.

El cálculo de los residuos esperados a partir de estos indicadores se realizó en la forma siguiente:

NÚMERO DE UNIDAD      INDICADOR DE CAMA \* CENSABLE O CONSULTORIO      INDICADOR DE BASURA \* (kg/día)      % DE PLÁSTICOS      =      TOTAL DE PLÁSTICO ESPERADO

Los resultados obtenidos por ambos métodos son presentados en la tabla siguiente, para su comparación.

**TABLA 1.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

ESTRATO	NOMBRE DE LA UNIDAD	RESIDUOS PLÁSTICOS ESPERADOS (kg/día)	RESIDUOS PLÁSTICOS ESTUDIADOS (kg/día)
1	UMF - 94	10.71	9.430
1	UMF - 38	0.684	0.545
1	UMF - 23	9.33	8.350
1	UMF - 14	10.47	9.120
2	HGZ - 29	119.77	106.230
2	HGZ - 27	180.64	161.300
3	CARDIOLOGÍA	117.01	117.120
3	TRAUMATOLOGÍA	186.01	182.860

Como puede observarse la confiabilidad del método "estudiado" es muy significativa, sobre todo porque se basó en el análisis de los artículos de mayor demanda. La diferencia entre métodos, corresponde a los artículos no estudiados que en general está integrado por piezas de plástico muy pequeñas y en su mayoría por los empaques de diversos artículos como algodón, gasas, abatelenguas, escobillones, etc. Además con el estudio realizado fue posible la identificación de los residuos que al ser utilizados tuvieron contacto con sustancias peligrosas.

### 5.3 TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.

Con la información recabada del estudio realizado en las unidades médicas seleccionadas de la muestra estratificada, fue elaborada la base de datos para agilizar el manejo de la información.

El análisis de esta información se desarrolló en tres etapas. En la primera fue establecida la composición de los residuos plásticos, de cada unidad estudiada, presentando aquella fracción de material plástico con características biológica-infecciosa. Dentro de la

segunda etapa se reportó la composición de los diferentes tipos de plásticos que componen la mezcla de residuos para cada estrato estudiado. En la tercera etapa se establece la composición poblacional de los plásticos desechados es decir, las cantidades de cada tipo de plástico que pueden esperarse del total de los residuos procedentes de las unidades médicas del IMSS en el D.F.

### 5.3.1. PRIMERA ETAPA: COMPOSICIÓN.

Para analizar los diferentes tipos de plástico de cada unidad estudiada, se manejaron los siguientes campos que integran la base de datos.

- Unidad médica (nombre).
- Nivel al que pertenece.
- Artículo analizado.
- Tipo de plástico que lo compone.
- Peso.
- Cantidad de artículos desechados por día.
- Peligroso o no peligroso.

La información obtenida en esta etapa se resume en la tabla 5.6.

TABLA 5.6 RESIDUOS PLÁSTICOS SIN BIOLÓGICO - INFECCIOSOS GENERADOS EN UNIDADES MÉDICAS DEL IMSS EN EL DISTRITO FEDERAL (kg/día)					
TIPO DE UNIDAD		CANTIDAD DE RESIDUOS	% PLÁSTICO	% SIN B-I	TOTAL DE RESIDUOS SIN B-I (kg/día)
PRIMER (UMF)	NIVEL	4639.80	6.16	72.00	207.01
SEGUNDO (HGZ)	NIVEL	6271.33	26.79	76.82	1289.30
TERCER (ESPECIALIDADES)	NIVEL	9739.21	28.08	79.13	2164.02
TOTAL		20650.34			3660.33



5.3.2. SEGUNDA ETAPA: COMPOSICIÓN PROMEDIO POR ESTRATO.

A los resultados de cada unidad se les agrupó en el estrato correspondiente y se empleó una medida de tendencia central que los represente.

Con los resultados de la primera etapa se conoció la composición de los residuos por unidad, pero cabe señalar que todas las unidades médicas varían en cuanto al número de usuarios lo que es reflejado en la cantidad de residuos generados.

La composición promedio por estrato se determinó mediante la media aritmética, la cual puede definirse como la suma de las  $n$  observaciones  $X_1, X_2, \dots, X_n$  divididas entre el número de observaciones  $n$ , y su expresión matemática es la siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Media aritmética.

$X_i$  = Observaciones.

$n$  = Número de observaciones.

Finalmente con esto se estableció la composición de los residuos plásticos por cada estrato estudiado y los resultados se presentan en las tablas 5.7, 5.8 y 5.9.

TIPO DE PLÁSTICO	% PESO
Polipropileno	0.00
Poliestireno	59.09
Policloruro de vinilo	0.00
Poliétileno alta densidad	3.22
Poliétileno baja densidad	19.33
Poliuretano	0.00
Poliétilentereftalato	2.13
Hule sintético	0.00
Hule látex	0.00
Acilonitrilobutadieno estireno	0.00
Artículos no estudiados	16.22
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>

Cabe mencionar nuevamente que no son objeto de este estudio los materiales plásticos que presentan características biológicas-infecciosas.

**TABLA 5.8 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS PRESENTES EN LA MEZCLA DE DESECHOS SÓLIDOS EN UNIDADES MÉDICAS DE SEGUNDO NIVEL, HQZ (% PESO SIN B-J)**

TIPO DE PLÁSTICO	%PESO
Polipropileno	0.00
Poliestireno	2.92
Policloruro de vinilo	31.70
Poliétileno alta densidad	0.41
Poliétileno baja densidad	35.34
Poliuretano	0.00
Poliétilentereftalato	3.33
Hule sintético	0.00
Hule látex	6.71
Acrilonitrilobutadieno estireno	5.04
Artículos no estudiados	14.56
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>

**TABLA 5.9 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS PRESENTES EN LA MEZCLA DE DESECHOS SÓLIDOS EN UNIDADES MÉDICAS DE TERCER NIVEL, ESPECIALIDADES (% PESO SIN B-J)**

TIPO DE PLÁSTICO	%PESO
Polipropileno	0.00
Poliestireno	4.55
Policloruro de vinilo	22.09
Poliétileno alta densidad	0.08
Poliétileno baja densidad	51.12
Poliuretano	0.00
Poliétilentereftalato	1.68
Hule sintético	0.00
Hule látex	11.18
Acrilonitrilobutadieno estireno	7.80
Artículos no estudiados	1.50
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>

5.3.3. TERCERA ETAPA: COMPOSICIÓN POBLACIONAL.

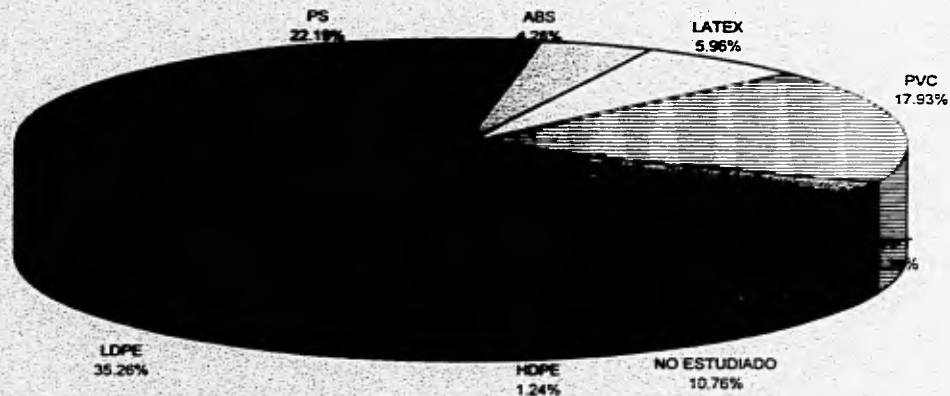
Siguiendo el procedimiento anterior se analizaron los resultados obtenidos para cada estrato, y se promediaron aritméticamente, para de esta forma establecer el resultado final que será representativo para la población estudiada (ver gráfica 1).

Dado que el objetivo de este estudio es únicamente conocer la composición porcentual de los plásticos que se presentan en los residuos provenientes de unidades médicas del IMSS, no será ampliado el tratamiento estadístico de los resultados aquí obtenidos.

El resultado de esta etapa se presenta en la siguiente tabla, mostrando la participación porcentual de los diferentes residuos plásticos contenidos en el total de residuos sólidos generados en las unidades médicas del IMSS.

TIPO DE PLÁSTICO	% PESO
Polipropileno	0.00
Poliestireno	22.19
Policloruro de vinilo	17.93
Poliétileno alta densidad	1.24
Poliétileno baja densidad	35.26
Poliuretano	0.00
Poliétertereftalato	2.38
Hule sintético	0.00
Hule látex	5.96
Acronitrilobutadieno estireno	4.28
Artículos no estudiados	10.76
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>

**GRÁFICA 5.1 RESIDUOS PLÁSTICOS SIN BIOLÓGICO-INFECCIOSO EN UNIDADES MÉDICAS DEL IMSS**





**COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS EN LAS UNIDADES MÉDICAS DEL IMSS**

**RESIDUOS PLÁSTICOS SIN B-I GENERADOS EN UNIDADES DEL IMSS EN EL D.F.  
(4.75 TON/DÍA)**

UNIDADES NO MÉDICAS  
12%



UNIDADES MÉDICAS  
88%

**CAPITULO 6**

---

**TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS NO PELIGROSOS PROCEDENTES DE  
UNIDADES MÉDICAS**

## CAPITULO 6.

### TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS NO PELIGROSOS PROCEDENTES DE UNIDADES MÉDICAS.

La preocupación por la protección al ambiente constituye una de las principales inquietudes de la sociedad, por ello es conveniente la búsqueda de alternativas que muestren la mejor manera de disposición de residuos. Para establecer la mejor alternativa en el manejo de los residuos plásticos sin características biológico-infecciosas generados en las unidades médicas, serán estudiados los tres métodos presentados a continuación.

#### 6.1. RECICLADO.

Reciclar es el proceso mediante el cual es posible obtener un producto nuevo, a partir de materiales de desecho. en la actualidad esta actividad tiene un significado más amplio, ya que se trata de una alternativa para economizar energía, agua y recursos naturales, que al ser utilizados nuevamente como materia prima coadyuvan a la conservación del medio.

Para el reciclado de cualquier material, deben tomarse en cuenta cuatro factores determinantes:

1. RECOLECCIÓN. Porque se trata de material de desecho, el cual puede o no estar concentrado en un sitio específico, y de no estarlo es necesario realizar una ruta de recolección.
2. SEPARACIÓN. Es decir, la clasificación de la mezcla de residuos por tipo de material seguida de una separación mas exhaustiva que elimine las impurezas del material de interés.
3. TECNOLOGÍA DE PROCESAMIENTO. En base a la tecnología desarrollada para este fin y que económicamente sea posible adquirir, se establecerán todos los requerimientos y posibilidades de proceso.
4. MERCADO DEL PRODUCTO OBTENIDO POR RECICLADO. En muchos de los casos existe incertidumbre en cuanto a la calidad de los materiales reciclados, y se hace necesario aclarar que ciertamente este material presenta menor calidad comparado con uno virgen, pero es válida su reutilización en pro de la conservación del medio. Aclarando además que los productos elaborados con estos tipos de resinas serian enseres de menor necesidad y que no estuvieran en contacto directo con el hombre.

### 6.1.1. TIPOS DE RECICLADO.

Las limitaciones para el reciclado de los plásticos se deben en primera instancia a la naturaleza de los residuos, esto es porque generalmente se encuentran mezclados con otros materiales no plásticos que dificultan su recuperación, por ello y con base al origen de los residuos, se conocen cuatro categorías para el reciclado de los plásticos, siendo:

1. **RECICLADO PRIMARIO.** Para los residuos industriales generados en la misma línea de producción como excedentes y piezas defectuosas, que dependiendo del proceso hay la posibilidad de que las mismas compañías los reprocesen.

2. **RECICLADO SECUNDARIO.** Es el material reprocesado, es decir, materiales con propiedades inferiores a las del polímero original que mediante algún proceso sencillo puede recuperarse (Ver anexo 2), a esta categoría pertenecen los materiales de empaque y envase, material sucio, mezclas de residuos industriales, e incluso los materiales que componen la basura municipal.

3. **RECICLADO TERCARIO.** Cuando el material de interés es convertido en compuestos químicos más simples para su posterior empleo en la elaboración de nuevos productos.

4. **RECICLADO CUATERNARIO.** Se refiere al empleo de materiales como combustibles alternos generadores de fuentes de energía.

Como puede observarse con la anterior clasificación, el reciclado primario es el más sencillo de efectuar por la limpieza con la que son obtenidos los residuos, y este es el que más realizan a nivel mundial las industrias. El reciclado secundario se presenta más complicado debido a que involucra procesos de separación, selección y limpieza; lo que eleva el costo de la recuperación, principalmente si se trata de residuos tipo municipal donde los requerimientos técnicos son muchos y la capacidad de recuperación de materiales con condiciones aptas para su reprocesado es baja.

El reciclado terciario, en la mayoría de los casos se encuentra aún en la etapa experimental, por lo que se desconoce si es posible la recuperación de los componentes iniciales de la gran mayoría de los materiales que son desechados, además de que la tecnología necesaria para ello es escasa y altamente costosa. Por último, el reciclado cuaternario es más bien una forma de reaprovechamiento de los materiales de desecho para usarlos como combustibles alternos.

### 6.1.2. RECICLADO SECUNDARIO.

Las dificultades que representa el reciclado secundario se debe a las características propias de los residuos dada su procedencia, y que pueden ser:

1. Residuos de basuras urbanas.
2. Embalajes.
3. Mezclas de residuos industriales.
4. Plásticos contaminados con otro tipo de materiales.



Los motivos que dificultan el desarrollo del reciclado secundario pueden resumirse en los siguientes aspectos:

- Este tipo de residuos pueden encontrarse contaminados con otro tipo de materiales no-poliméricos tales como tierra, papel, metales, etc.
- Normalmente se encuentran mezclados con plásticos no compatibles, por lo que se debe realizar una selección de aquellos materiales posibles de recuperar.
- La composición de los residuos no es constante, lo cual dificulta su procesamiento.

Para facilitar las etapas de separación y selección en el reciclado secundario, generalmente se parte de residuos industriales constituidos por un sólo material o bien de mezclas de residuos tipo industrial o municipal de fácil separación vía mecánica o manual, lo cual hace al proceso más rentable.

Los residuos plásticos provenientes de las unidades médicas del IMSS son considerados tipo municipal, por ser materiales de postconsumo. Pero estos tienen una gran ventaja con respecto a los residuos municipales, y es que éstos se encuentran separados del resto de los materiales desechados debido al programa de separación implantado en la institución, por lo que el proceso de separación que se instale resultará más simple. Dentro de la mezcla de residuos plásticos se encontrarán envases que tienen adheridas etiquetas de papel, trozos de metal, o equipos con más de un material plástico, y es para esto la necesidad de su selección y separación.

Es necesario establecer que el IMSS no pretende realizar el proceso de reciclado, sino únicamente derivar los residuos plásticos a la industria o empresa que se desarrolle en este ramo, por lo que los procesos de separación y reciclado de residuos plásticos no son objeto de desarrollo para este estudio. No obstante en el presente trabajo se estudiará la posibilidad de un reciclado secundario para los residuos plásticos generados en las unidades médicas del IMSS, ya que son considerados como materiales recuperables y se cuenta actualmente con la tecnología apropiada para ello. Además cuenta con una composición alta en materiales que actualmente se están reciclando como lo es el polietileno baja densidad y el policloruro de vinilo (con una participación del 35.26% y el 17.93% respectivamente del total de los residuos plásticos generados).

## **6.2 LA INCINERACIÓN.**

La incineración es un proceso de combustión dirigido a la destrucción térmica de materiales indeseables, ya sean residuos sólidos, líquidos o gaseosos. Este tratamiento se aplica para la transformación de los materiales en productos gaseosos y sólidos prácticamente inertes y estériles, por medio de una combustión controlada a altas temperaturas con lo que ocurre el proceso de oxidación.

Investigaciones de la Environmental Protection Agency (EPA) y la experiencia de la operación en la industria indica que la incineración, comparada con otras tecnologías alternativas tiene el mayor grado de destrucción y control para una extensa variedad de residuos.

El principal objetivo de la incineración es la destrucción de los residuos reduciéndolos en peso y volumen hasta un 90%, convirtiendo a estos materiales indeseables en productos de combustión no peligrosos de manera que puedan ser emitidos a la atmósfera sin alterar al ambiente. Cuando un residuo es completamente incinerado, generalmente se asume que los elementos del residuo siguen los patrones de reacción presentados en la tabla 6.1.

Durante la incineración, existe la formación de trazas de productos parcialmente oxidados por la combustión incompleta, estos compuestos incluyen CO, partículas y una gama de compuestos orgánicos (como fosgeno  $\text{COCl}_2$  que se forma por la combinación de cloruros ( $\text{Cl}_2$ ) con monóxido de carbono (CO)).

TABLA 6.1. PRODUCTOS DE UNA INCINERACIÓN COMPLETA.	
ELEMENTOS DEL RESIDUO	CONVERSIÓN A PRODUCTOS
H	$\text{H}_2\text{O}$
C	$\text{CO}_2$
Cl	$\text{HCl}$ o $\text{Cl}_2$
F	$\text{HF}$ o $\text{F}_2$
S	$\text{SO}_2$
METALES ALCALINOS	HIDRÓXIDOS
Na	$\text{NaOH}$
K	$\text{KOH}$
METALES NO ALCALINOS	ÓXIDOS
Cu	$\text{CuO}$
Fe	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Hg	$\text{Hg}_2\text{O}_3$

### 6.2.1. PROCESO DE COMBUSTIÓN.

La combustión es una reacción química que involucra la rápida combinación de oxígeno con los componentes del combustible, es también conocida como "reacción de oxidación". Cuando el oxígeno está en cantidad adecuada la oxidación es completa. Los elementos mayoritarios en la combinación son carbón, hidrógeno y oxígeno.

Debido a que existe una reacción química, se siguen la leyes del equilibrio químico, la cinética química y la termodinámica. Para iniciar la combustión es necesario el sistema fisicoquímico, en el que se presenta un valor de temperatura denominado de *ignición*, que al ser alcanzado; inicia la reacción espontáneamente, y el proceso concluye cuando se alcanza el equilibrio entre la energía de los compuestos que reaccionan y la de los productos de la reacción.

La eficiencia de la combustión está relacionada con la combinación de tres factores físicos que en ella participan, conocida como las tres "T", siendo:

1. **TEMPERATURA EN EL QUEMADOR.** La temperatura en la combustión provoca efectos severos, primeramente las altas temperatura producen una mayor velocidad de reacción, en segundo muchos componentes tienen una temperatura de ignición que es rápidamente alcanzada dado que el nivel de energía es suficiente para iniciar la reacción. Finalmente, la temperatura que determina el equilibrio es la concentración de alguno de los productos generados en la combustión.

2. **TIEMPO DE RESIDENCIA.** Dado que es una reacción química, se adecua el tiempo más conveniente para que la reacción sea completa. El tiempo de residencia mínimo para la fase del gas es de 2 segundos, y el tiempo de residencia para el hogar puede ser desde algunos segundos hasta horas, dependiendo de los elementos incinerados y de la tecnología utilizada.

3. **TURBULENCIA EN LA FLAMA.** Esta condición es importante porque si el combustible y el aire de combustión en el horno tienen contacto entre sí, la reacción procede más rápida y completamente. El mezclado en el horno es esencial para que exista una mayor incineración con la correcta combinación del residuo, el oxígeno disponible y los espacios libres que permitan mayor contacto para generar una turbulencia adecuada.

4. **OXIGENO EN EXCESO.** Un cuarto parámetro que se puede incluir es el exceso de oxígeno que se tiene en la cámara, ya que permite que la reacción se realice velozmente. Esto es porque el oxígeno presente en el proceso determina el grado de destrucción del residuo, así como la formación de productos secundarios. El exceso de aire de combustión debe ser del 100% al estequiométricamente requerido.

La eficiencia de la combustión de un compuesto orgánico particular, con frecuencia es llamada "Eficiencia de Destrucción y Remoción" (EDR), calculándose por la determinación de la cantidad de desecho en la emisión de los gases.

Aplicando la siguiente ecuación es posible determinar el EDR:

$$EDR = \left[ \frac{C_c Q_c - C_g G_g}{C_c Q_c} \right] \times 100\%$$

Donde:

$C_c$  = Concentración del compuesto perteneciente a los residuos en la alimentación.

$Q_c$  = Flujo másico de la concentración del compuesto.

$C_g$  = Concentración del compuesto en los gases de chimenea.

$G_g$  = Flujo volumétrico de los gases de chimenea.

### 6.2.2. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE INCINERACIÓN.

Los resultados óptimos al aplicar la incineración se deriva del uso de tecnología moderna, por lo que se hace indispensable cumpla con ciertas características para su correcta eficacia.

1. La utilización de cuando menos dos cámaras de combustión.
2. El volumen de la cámara de combustión debe ser lo suficientemente grande para recibir el volumen físico del residuo y proveer de un adecuado tiempo de residencia a la fase de gas.
3. La capacidad de alcanzar y mantener la temperatura mínima requerida para la combustión total de los residuos y los gases emitidos ( 700 ° C y 1200 ° C respectivamente).
4. La turbulencia máxima y mezclado debe llevarse a cabo en la cámara de combustión por los propios quemadores y ventiladores.
5. Un sistema de aire controlado que permita una combustión lenta o en su defecto una cámara secundaria más amplia o bien un sistema lavador de gases.

En un incinerador moderno, el uso de dos o más cámaras de combustión ( Fig. 6.1) permite hacer una separación en el proceso de combustión. El incinerador es alimentado con los residuos en la primera cámara de combustión, la cual se encuentra cubierta totalmente con material refractario dado las altas temperaturas con la que es operado, minimizando la generación de gases contaminantes.

El uso de un sistema de aire controlado mantiene una baja turbulencia o velocidad en los gases, producidos en el momento de la combustión. Esto trae como consecuencia una producción baja en partículas, que al pasar por la segunda cámara y al entrar en contacto con el aire adicional bajo una temperatura mínima de 1000 °C, se oxidan completamente.

Los restos que quedan en la cámara inferior son los no combustibles tales como metales, vidrio y residuos de carbón del material incinerado. Los restos de carbón son oxidados más adelante por el aire que entra sometiendo los no-combustibles a altas temperaturas, resultando cenizas oxidadas.

### 6.2.3. INCINERACIÓN DE RESIDUOS.

La incineración es el último método alternativo para la disposición de residuos orgánicos y generalmente es utilizado cuando los residuos no pueden ser reutilizados, reciclado e incluso disponerlos sin un tratamiento previo. La incineración es comúnmente elegida para tratamiento de desechos que presentan alguna de estas características:

1. Son peligrosos biológicamente.
2. Es resistente a la biodegradación y persistente al medio ambiente, siendo este el caso de los plásticos en toda su variedad, debido a que la mayoría no se degradan hasta después de varios años.
3. Es volátil y se dispersa fácilmente.
4. Presentan ciertas características que impidan disponerlos en rellenos sanitarios.
5. Contienen compuestos halogenados.



6. Contienen metales pesados.
7. Representan un riesgo a la salud y al ambiente.

Al elegir la incineración como método de tratamiento o destrucción de residuos debe tomarse en cuenta aquellos factores involucrados en este proceso como es:

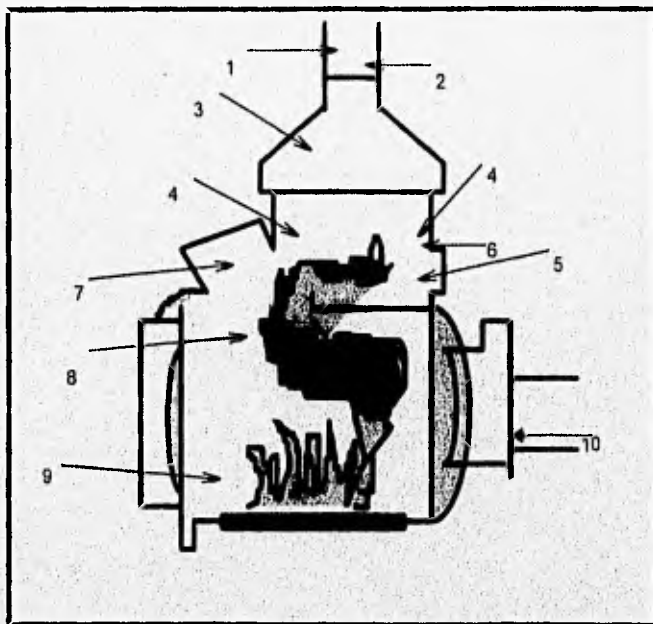
- La gran cantidad de energía generada y que en la mayoría de la veces no es aprovechada.
- El propósito de la incineración es recurrir a ella como "tecnología limpia", y para evitar alterar el ambiente se debe emplear equipo anticontaminante como lavadores de gases, precipitadores electrostáticos, inactivadores de lodos, equipos de monitoreo, etc.
- Una vez efectuada la incineración, los residuos sólidos y cenizas generadas deben recibir una disposición final y esta deberá ser de acuerdo con sus características finales, las que determinarán si son concentrados en rellenos sanitarios o en confinamiento controlado.

#### 6.2.4. INCINERACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS.

La combustión de residuos plásticos separados del resto de los materiales sólidos se caracteriza por los siguientes factores:

- Presentan un mayor poder calorífico que los residuos municipales, requieren de una mayor cantidad de aire para desarrollar una combustión completa y presentan mayores temperaturas de combustión.
- Generan emisiones de gases tóxicos, más cantidad de hollín, mayor contenido de cenizas ocasionado por los aditivos que puedan contener (sales de Cd o Pb en el PVC), acidificación del agua lo que exige un adecuado tratamiento antes de su eliminación, deterioro del incinerador por el excesivo calor desprendido y por la mayor cantidad de hollín generado que únicamente se evita con un exceso en el aporte de oxígeno a la cámara, por último la corrosión que se origina debido al desprendimiento de gases tales como ácido clorhídrico HCl, amoníaco  $\text{NH}_3$ , dióxido de azufre  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , y  $\text{RCOOH}$  que son muy corrosivos.

Con respecto a los residuos sólidos hospitalarios pueden contar con un 20 % del peso total, únicamente de diversos residuos plásticos, siendo los más comúnmente encontrados el polietileno alta, baja y media densidad, el polipropileno y el policloruro de vinilo. El aspecto más comúnmente observable en la incineración de este tipo de residuos es lo que anteriormente se mencionó, generados por la combustión de los elementos que dan origen a un plástico.



**Partes integrantes de un incinerador de doble cámara:**

1. Eliminación de humo.
2. Bióxido de carbono  $\text{CO}_2$ , vapor de agua  $\text{H}_2\text{O}_{(v)}$ , oxígeno  $\text{O}_2$  y nitrógeno  $\text{N}_2$  en exceso a la atmósfera.
3. Cenizas volátiles y olores.
- 4 Suministro de aire.
5. El contenido volátil es incinerado en la cámara superior.
6. Condición de exceso de aire.
7. Quemador principal para una temperatura de combustión (1000 a 1200 °C).
8. Aire atrapado en la cámara inferior.
9. Control de aire bajo el fuego para incinerar el residuo.
10. Alimentación de los residuos.

**FIG. 6.1 SISTEMA DE INCINERACIÓN DE DOBLE CÁMARA.**

Enfocando este método de tratamiento a los residuos plásticos del IMSS, se tiene que estos en su forma original son no-peligrosos, pero al someter a los materiales plásticos al proceso de incineración (principalmente los clorados PVC, que en los residuos plásticos del IMSS corresponden al 23.7% del total) se generarán diversos contaminantes originando que aparte de  $\text{CO}$ , se encuentre en las emisiones ácido clorhídrico  $\text{HCl}$ , fosgenos  $\text{COCl}_2$  y otros más peligrosos como dioxinas y furanos.

Por lo anterior, es necesario que los sistemas de incineración cuenten con equipos para el tratamiento de estos gases y partículas, evitando la contaminación del aire. A pesar de los problemas que presenta la combustión de los plásticos, se han desarrollado incineradores que permiten su combustión, aunque esta tecnología aún no se desarrolla en nuestro país, por no existir una normatividad que indique la necesidad de la incineración de únicamente los residuos plásticos.

#### COMBUSTIBLE ALTERNO.

Cuando los residuos a incinerar contienen energía potencial aprovechable como calor y se utilizan en sustitución de combustibles convencionales en el proceso de producción de bienes o servicios, se convierte en una fuente alternativa de energía, por lo que se les conoce como "combustible alterno" o "suplementario".

Los combustibles alternos son mezclas de materiales orgánicos pudiendo ser líquidos, pastosos o sólidos, y entre los materiales sólidos se encuentran los materiales plásticos. Debido a ello cabe la posibilidad de utilizar los residuos plásticos que se generan en el IMSS como un combustible alterno en los hornos cementeros, coadyuvando a la conservación de los combustibles fósiles no renovables como el petróleo, el gas y otros como el carbón. Acarreando como consecuencia la reducción en los costos de manufactura del cemento al recuperar el valor energético de estos materiales, y lo más importante, la eliminación de estos residuos que tendrían como disposición final el relleno sanitario.

Actualmente el mundo se encuentra en una crisis de disposición y control de residuos, debido que la velocidad a la que son generados excede la capacidad para su manejo, y una buena opción para su eliminación es el utilizarlos como combustibles alternos.

#### 6.2.5. PIRÓLISIS.

La pirólisis se define como la descomposición fisicoquímica del material orgánico constituyente en los residuos sólidos por la acción del calor, todo esto realizado en una atmósfera deficiente en oxígeno.

Por medio de la pirólisis la materia orgánica contenida en los residuos sólidos se transforma en tres subproductos que son:

- a) Un residuo sólido compuesto principalmente de carbón, cenizas y metales. El poder calorífico del carbón es de 12000 BTU/Lb y la cantidad de material depende de la composición de los residuos y del grado de separación que se haya tenido.
- b) Un producto líquido compuesto de agua y mezclas orgánicas.
- c) Un gas de bajo poder calorífico compuesto principalmente de CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en una mezcla con un poder calorífico de 3500 a 6500 KCal/Kg.

La forma y las características de la fracción combustible varía para cada uno de los procesos que se están desarrollando en la actualidad y en función del tiempo de reacción, de la temperatura, de la presión en el reactor pirólítico del tamaño de las partículas y de la presencia de catalizadores y combustibles auxiliares.

En la pirólisis contrariamente a lo que ocurre en la incineración, la reacción que se lleva a cabo es del tipo endotérmica, el calor aplicado a los residuos es con el fin de destilar los compuestos volátiles.

- Pirólisis de plásticos.

La diferencia fundamental entre la pirólisis de los residuos urbanos y la de los plásticos está en los productos recuperados. En los primeros se obtiene un gas combustible con mayor contenido de calorías. Los plásticos proporcionan un gas que se puede utilizar como combustible o materia prima en la industria química.

Durante el proceso de pirólisis tienen lugar las siguientes reacciones:

1. Despolimerización a monómeros.
2. Fragmentación de las cadenas, dando lugar a materiales de bajo peso molecular.
3. Formación de compuestos insaturados, entrecruzamientos, etc.

Despolimerización de polímeros: entre los polímeros que se despolimerizan a los monómeros de partida, se encuentran el polimetacrilato de metilo, poli- $\alpha$ -metil estireno, el teflón, el polietileno y poliestireno. Los dos primeros con rendimientos del 100% en monómero, mientras que los tres restantes exigen condiciones altamente controladas para obtener buenos rendimientos.

Aunque los mecanismos de polimerización y despolimerización son similares, este último proceso requiere de mayor energía.

En la pirólisis de los plásticos se han encontrado los siguientes problemas que obligan a utilizar equipos especiales:

1. Se requiere de un largo tiempo para conseguir la descomposición térmica, debido a la poca conductividad de los plásticos, como consecuencia la capacidad de procesamiento es pequeña en función de las dimensiones de los equipos.
2. Los residuos de carbón tienden a adherirse a las paredes del equipo.
3. La alta viscosidad del plástico fundido dificulta su transporte.

#### 6.2.6. INCINERADORES PARA SÓLIDOS.

Los incineradores que mejor se adaptan para tratamiento de residuos sólidos, son aquellos que proporcionan un mayor tiempo de residencia a los gases de combustión, mayor turbulencia, altas temperaturas, doble cámara de combustión y operación continua, y los incineradores que poseen estas características son los estudiados a continuación:

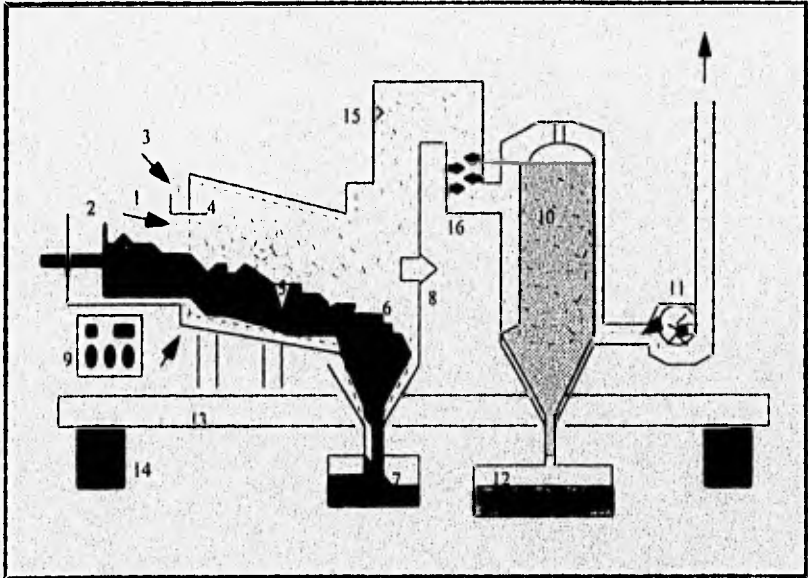


## 1. INCINERADOR DE HORNO ROTATORIO.

### a) Aplicaciones.

Los incineradores de horno rotatorio son unidades altamente versátiles que pueden aceptar todo tipo de residuos (lodos, líquidos, sólidos, gases), pero fue diseñado primordialmente para incinerar sólidos y alquitrans. Se ha demostrado que estos hornos han sido utilizados con éxito para descontaminar materiales no combustibles semejantes a tierras y capacitores.

Algunos residuos que pueden tratarse con este proceso son: alquitrans, PCB's, dioxinas, cloruro de polivinilo PVC, plaguicidas, etc.



- |  |  |
|--|--|
| 1. Incineración de residuos.                 | 10. Torre empacada: acero al carbón<br>evitar la corrosión de los gases. |
| 2. Sistema mecánico de alimentación.         | 11. Ventilador de turbo-escape   |
| 3. Entrada de aire.                          | 12. Colector-reciclador de agua.   |
| 4. Material refractario, cilindro rotatorio. | 13. Estructura de soporte.   |
| 5. Acción de incinerador.                    | 14. Pedestales de soporte.   |
| 6. Cenizas incombustibles.                   | 15. Cámara secundaria.   |
| 7. Tanque de quencho.                        | 16. Precolector.   |
| 8. Autocontrol de piloto quemador.           |  |
| 9. Tablero de control.                       |  |

**FIG. 6.2 INCINERADOR DE HORNO ROTATORIO.**

b) Descripción.

El horno rotatorio es una coraza cilíndrica con material refractario que está montado horizontalmente sobre una pequeña pendiente (Fig. 6.2). La rotación de la coraza provee la transportación de residuos a través del horno, además de asegurar el perfecto mezclado del mismo. El objetivo del horno rotatorio es convertir los residuos sólidos en gases, lo que ocurre en una serie de volatilizaciones por destilación destructiva y reacciones parciales de combustión.

Los sólidos suspendidos de los gases salientes del horno, pasan a la cámara de combustión secundaria donde se completan las reacciones de oxidación de la fase gaseosa. Los gases resultantes son pasados a una caldera donde se recupera calor para finalmente conducirlos hacia el sistema de control de emisiones. El sistema de control de emisiones al aire de este incinerador consiste en cinco componentes mayores: una cámara de quencheo (para el enfriamiento de las corriente de vapor hasta los 80 °C), lavadores venturi (para remoción de partículas suspendidas de hasta 0.1 m), un separador de vapor, una corriente de ventilación inducida y una pila de 60 m.

El tiempo de residencia de los residuos sólidos puede ser controlado por ajuste de la velocidad de rotación del horno. El tiempo de residencia del residuo puede ser afectado por la relación de alimentación del residuo.

c) Condición de diseño y operación.

Este incinerador típicamente guarda una relación entre la longitud y el diámetro de 2 a 10 y es normalmente rotado de 1 a 5 rpm. Las temperaturas de combustión están entre 850 °C y 1650 °C. El intervalo de tiempo de residencia varía de 0.1 a 2 segundos, mientras que el tiempo empleado para la incineración de residuos sólidos es de 1 a varias horas. Este horno rotatorio ha sido diseñada para una capacidad térmica de 1 a 50 millones de BTU/hr (3000 KW).

## 2. INCINERADOR DE CÁMARAS MÚLTIPLES.

a) Aplicaciones.

El incinerador de cámaras múltiples es una unidad muy flexible, dado que se utiliza para residuos sólidos, gases, lodos y desperdicios de líquidos combustibles.

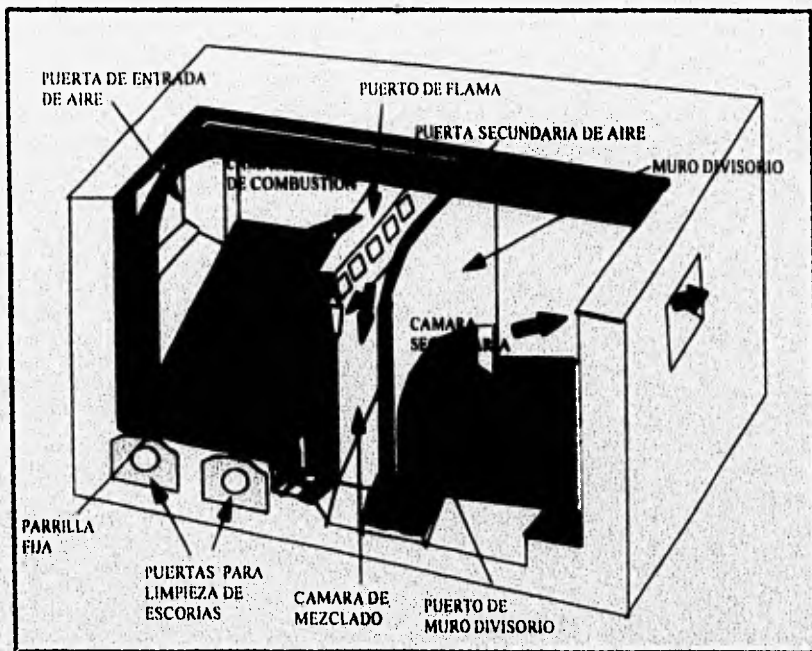
Algunos de los principales candidatos para hacer uso de este incinerador son los sólidos orgánicos halogenados, lodos o residuos orgánicos que contengan sodio, sulfuros, fósforo, nitrógenos o cloro.

Este incinerador no es compatible con los desperdicios provenientes de procesos que trabajen con metales pesados, materiales inertes, sales inorgánicas y materiales con alto contenido inorgánico.

b) Descripción.

El incinerador de cámaras múltiples consiste de un corazón refractario dentro de una coraza circular de acero (Fig. 6.3), con cámaras refractarias localizadas una cerca de otra.

El diámetro y número de cámaras depende de los residuos alimentados, del tiempo de procesamiento necesario y las condiciones térmicas empleadas. Un incinerador normal usualmente requiere un mínimo de 6 cámaras, al aplicar pirólisis es necesario contar con un mayor número de éstas.



**FIG. 6.3 VISTA TRANSVERSAL DE UN INCINERADOR DE CÁMARAS MÚLTIPLES.**

c) Condición de diseño y operación.

El tamaño de este tipo de unidades es de 6 a 25 pies de diámetro y de 12 a 75 ft de longitud. Un horno de cámaras múltiples presenta tres zonas de temperatura. La cámara donde opera la temperatura mayor se encuentra entre 570 y 1020 °F para la incineración de los residuos, la segunda cámara opera entre 1360 y 1630 °F para la correcta combustión de los gases generados. Posteriormente los residuos incinerados enfriados en las cámaras bajas por medio de suministro de aire manejando temperaturas de 400 a 575 °F.

### 3. SISTEMA DE INCINERACIÓN PIROLÍTICO.

#### a) Aplicaciones.

El sistema más desarrollado para la incineración de residuos sólidos, líquidos aún con características infecciosas, y para cumplir con todas las normas sanitarias y ecológicas en todos los países es el incinerador "pirolítico".

#### b) Descripción.

Todos los procesos de incineración se basan en el principio de la oxidación, con la regla de la triple T. La secuencia de un proceso de quemación es la de *secado, carbonizado, mezclado con aire, ignición e incineración.*

En el sistema pirolítico se distribuyen estas cinco etapas en 2 diferentes lugares o cámaras, y en 2 diferentes tiempos. En la cámara primaria se controlan las etapas del "secado" y "carbonizado" en el mismo momento, y en la cámara secundaria se realiza el "mezclado", la "ignición" y la "incineración" de los residuos introducidos.

Esto significa que en la cámara primaria se forman nuevos combustibles naturales del mismo desecho, con sus poderes caloríficos más elevados, trasladándose posteriormente a la cámara secundaria para su incineración, obteniéndose de esta manera un gran ahorro en los combustibles convencionales.

Los gases generados en la cámara primaria llegan a la cámara secundaria, donde se desarrolla la ignición y se incineran con las temperaturas mínimas necesarias de 1000 °C para garantizar la destrucción completa de toda molécula orgánica.

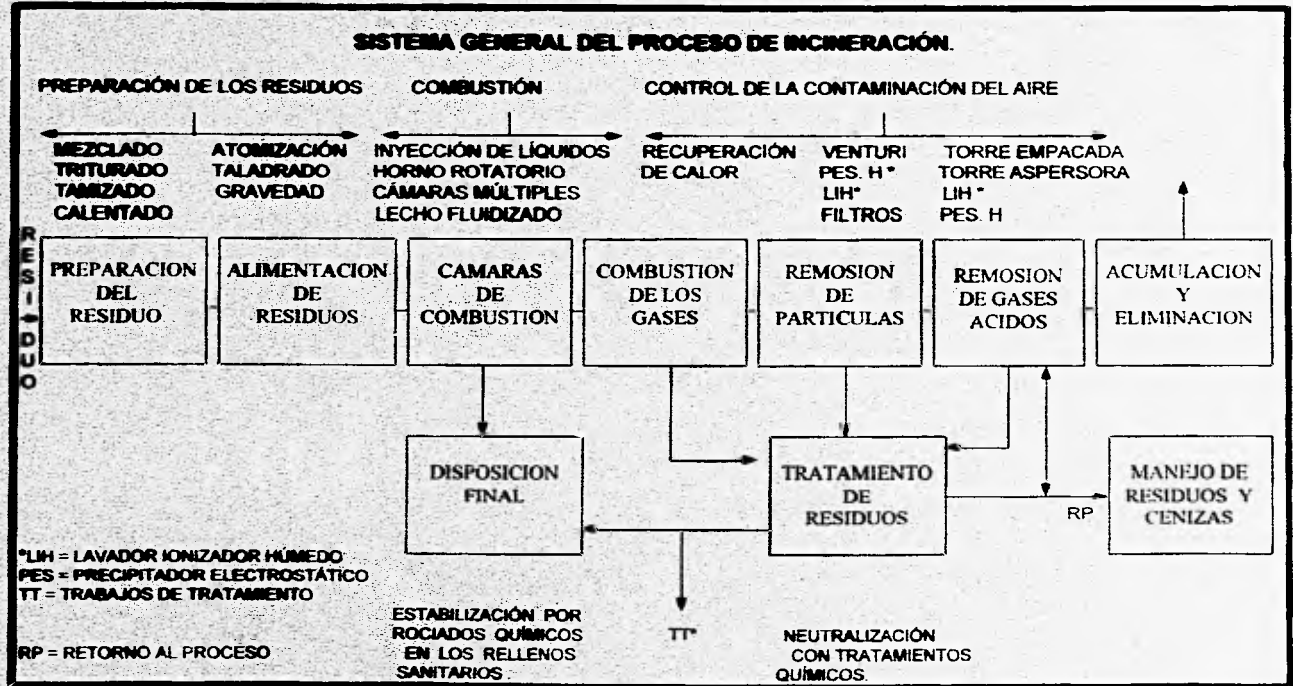
#### c) Condiciones de operación y diseño.

En este sistema se busca de la misma manera retener los gases el tiempo mínimo necesario de 0.5 a 2 segundos en estos 1000 °C.

La pirólisis puede llegar a ser una solución atractiva para el tratamiento de los residuos sólidos, aunque el proceso requiere de altos costos de inversión y operación, demuestra efectividad desde el punto de vista de la reducción de volumen, producción de elementos útiles para la industria química y mínima generación de emisiones al ambiente.



TABLA COMPARATIVA DE LOS TIPOS DE INCINERADORES.		
INCINERADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
HORNO ROTATORIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La variedad de líquidos y sólidos que puede incinerar es amplia, independientemente de la combinación.</li> <li>• El horno puede operar a temperaturas superiores a 1000 °C.</li> <li>• Maneja tambores y contenedores voluminosos.</li> <li>• Puede operar a temperaturas por arriba de los 1400 °C para la destrucción de compuestos difíciles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de capital.</li> <li>• El choque térmico y el daño refractario son comunes en la operación.</li> <li>• La eficiencia térmica es relativamente baja.</li> <li>• La acción en cascada del tambor puede resultar con una alta concentración de partículas volátiles.</li> <li>• La acción de abrasiva de los sólidos resulta en un alto costo por la necesidad de reemplazar el refractario.</li> </ul>
CÁMARAS MÚLTIPLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La retención o tiempo de residencia es alta debido a que muchos materiales peligrosos presentan baja volatilidad en éste incinerador.</li> <li>• Pueden ser evaporadas grandes cantidades de agua.</li> <li>• Este tipo de incinerador utiliza varios tipos de combustibles incluyendo el gas natural, propano, butano, residuos de aceite, etc.</li> <li>• Una gran variedad de desperdicios con características físicas y químicas pueden ser tratadas.</li> <li>• Este tipo de incinerador presenta tres zonas de temperaturas lo que permite una mejor incineración de los residuos tratados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dado a los largos tiempos de residencia de los residuos de materiales, la respuesta de la temperatura a la que los incineradores son ajustados es muy lenta.</li> <li>• Se dificulta el control del combustible suplementario como resultado de esta respuesta lenta.</li> <li>• Los costos por mantenimiento son altos.</li> <li>• El incinerador es susceptible a cambios térmicos como resultado de la interrupción frecuente para la alimentación, lo que conduce al deterioro del material refractario.</li> </ul>
PIROLÍTICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incinera tanto residuos líquidos como sólidos.</li> <li>• Aplicable para la incineración de residuos con características infecciosas.</li> <li>• Presenta dos secciones de incineración para tener una combustión completa de los residuos.</li> <li>• Es ahorrativo en combustibles ya que utiliza al desecho como tal en la segunda sección del incinerador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este sistema de incineración presenta un alto costo de inversión, operación y mantenimiento, por lo que es muy poco aplicada.</li> </ul>



### 6.3 DISPOSICIÓN FINAL.

La disposición final se refiere a la "acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños al ambiente"

Entre los métodos de disposición final que existen en nuestros días, el más utilizado es sin lugar a dudas el que consiste en depositar los residuos sólidos principalmente, en una cavidad natural o realizada por el hombre, cubriéndolos posteriormente con capas de tierra, a este proceso se le denomina *RELLENAR* o *RELLENO*.

Aunque la acción de rellenar sigue siendo la misma, los objetivos de un relleno han evolucionado ya que se busca además de una forma de disposición final, atenuar el impacto ocasionado al ambiente, de esta forma se pueden distinguir dos tipos de rellenos, los *sanitarios* y los *confinamientos controlados*. Los primeros se utilizan únicamente para residuos que no posean características peligrosas establecidas por las reglamentaciones correspondientes, y los segundos donde se confinan residuos sólidos y líquidos considerados como peligrosos.

Como los residuos producidos por el IMSS y motivo de este estudio son plásticos no peligrosos, en lo sucesivo únicamente hablaremos de los rellenos sanitarios como método de disposición final para los mismos.

#### 6.3.1. RELLENO SANITARIO.

De acuerdo con la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles (ASCE), un relleno sanitario es "la técnica para la disposición de la basura en el suelo sin provocar alteraciones al ambiente ni provocar peligros hacia la salud y la seguridad pública. Este método emplea principios de ingeniería para el confinamiento de la basura en la menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo posible, cubriendo la basura depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria o por lo menos al término de cada jornada".

Entre los aspectos del diseño y operación de un relleno sanitario destacan:

- La selección del sitio.
- El método y operación.
- Control de gases y lixiviados, y
- Las políticas de manejo y regulaciones correspondientes.

##### 6.3.1.1. SELECCIÓN DEL SITIO.

Entre los factores que se consideran en la selección del sitio para el relleno son:

1. El área de terreno disponible.
2. Distancia media requerida.
3. Condiciones de suelo y topografía.
4. Condiciones climatológicas.
5. Condiciones geológicas e hidroológicas.
6. Hidrología superficial.
7. Uso que tendrá el relleno finalmente.
8. Tenencia de la tierra.

De todos los factores anteriores, quizá el más importante sea el referente a la geología e hidrología del sitio seleccionado para el relleno, debido a que es necesario tener en cuenta el impacto ambiental que se tendría al elegir el terreno, previniendo la contaminación de los mantos acuíferos y la atmósfera dada la generación de lixiviados y gases.

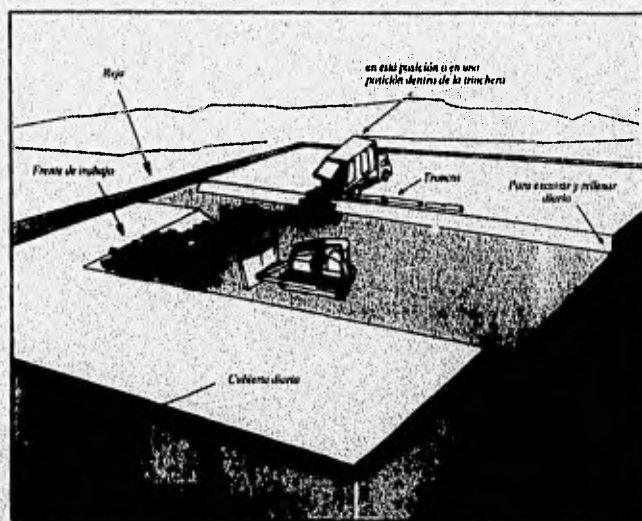
### 6.3.1.2. MÉTODOS Y OPERACIÓN.

En este apartado se describen los tipos y formas de un relleno sanitario que actualmente se manejan en nuestro país.

#### 1. Método de trinchera.

El método de trinchera para el relleno es aplicable para áreas donde se dispone de un adecuado material de cobertura dentro del sitio, donde las pendientes son suaves y el nivel de los mantos acuíferos es profundo.

Tipicamente las trincheras fabricadas para el depósito de los residuos sólidos varían en tamaño de acuerdo a la extensión del terreno, llegando a ser de 30 a 120 metros de longitud, 1 a 3 metros de profundidad y de 5 a 8 m de ancho. El trabajo se inicia en una porción de la trinchera y la tierra se va acumulando hasta la formación de un terraplén. Los residuos son colocados en la trinchera esparciéndose en capas delgadas y se compactan (Fig. 6.4). La operación continúa hasta alcanzar la altura deseada del terraplén, para posteriormente cubrir los residuos con la tierra acumulada por la excavación en las trincheras adyacentes a la trinchera que se está ocupando.



**FIG. 6.4 MÉTODO DE TRINCHERA EN UN RELLENO SANITARIO.**



## 2. Método de área.

Este método se usa cuando el terreno no permite la excavación de trincheras, sino que son formadas franjas angostas en la superficie del terreno. Operacionalmente estas franjas son de 1 a 3 m de profundidad, y los residuos son descargados y esparcidos a lo largo de la franja en una serie de capas que varían en profundidad entre 50 a 90 cm (Fig. 6.5). Cada capa es compactada de acuerdo al progreso obtenido durante el día hasta alcanzar la altura de la franja formada. Al inicio y final de cada día de operación se cubren con material de cobertura con un espesor de 15 a 25 cm.

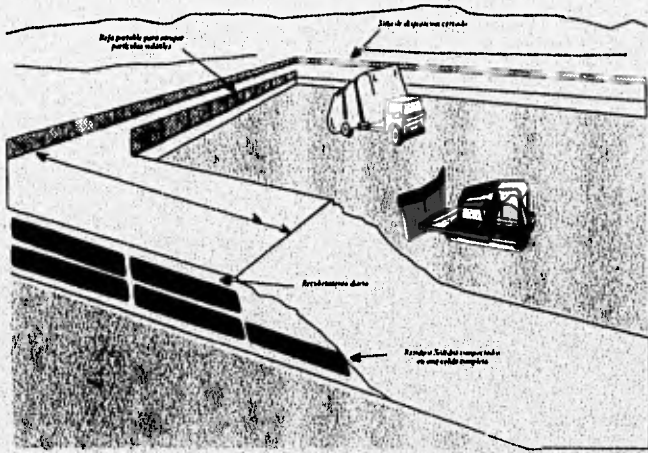


FIG. 6.5 MÉTODO DE CUBIERTA O ÁREA EN UN RELLENO SANITARIO.

## 3. Operación.

La operación de un relleno se refiere a la forma en que se depositan los residuos diariamente, para el relleno se divide en celdas. Las celdas son la forma geométrica que toman los residuos y el material de cubierta. Las celdas se diseñan con base a la cantidad de residuos que llegan al relleno diariamente. Los elementos de las celdas son la altura que depende de la cantidad de los residuos, el material de cubierta, la estabilidad de los taludes y la compactación. El ancho de la celda, que depende de la longitud de la cuchilla del equipo empleado para la construcción de la misma. Y del talud de la celda que es el plano inclinado donde se apoyan los residuos y los equipos compactadores.

#### 4. Material de cubierta.

El material de cubierta tiene las siguientes funciones básicas: impide la entrada y salida de fauna nociva, reduce los malos olores, reduce o evita la entrada de agua de lluvia, y previene los incendios por emanación de gases.

El tipo seleccionado como material de cubierta dependerá de la permeabilidad del suelo compactado, su grado de compactado, su manejabilidad como material de cubierta y la disponibilidad que presente.

#### 6.3.1.3. CONTROL DE GASES Y LIXIVIADOS.

Hay acciones complementarias para el correcto funcionamiento de los rellenos sanitarios, y esto se refleja en las acciones realizadas para el control de los gases y lixiviados formados por la descomposición de los residuos. En general estas acciones se reducen a la impermeabilización del sitio destinado para los residuos, a fin de evitar que los lixiviados penetren en el subsuelo y contaminen los mantos acuíferos. El control de lixiviados se realiza mediante un monitoreo que incluye la toma de muestras y su análisis fisicoquímico y biológico en el agua del subsuelo.

##### 1. Captación de biogas.

Se refiere al manejo que se tiene en los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica, siendo metano  $CH_4$ , bióxido de carbono  $CO_2$ , ácido sulfídrico  $H_2S$ , y nitrógeno  $N_2$ . Básicamente para la captación de estos gases se emplean zanjas de grava o ventilas (tubos de PVC perforado) por donde fluirán los gases, a este método se le conoce como permeable.

##### 2. Captación de aguas de escurrimiento.

Este apartado se refiere a la reducción en la medida de lo posible la cantidad de agua de lluvia que llega al relleno, desalojando lo más pronto posible la que pueda penetrar el material de cubierta.

#### 6.3.1.4. POLÍTICAS DE MANEJO.

En este rubro se reúnen todos los aspectos legales, es decir la normatividad aplicable, permisos, etc., necesarios para la construcción y operación de un relleno sanitario.

**TABLA 6.2. COMPARACIÓN ENTRE LAS TRES ALTERNATIVAS PROPUESTAS.**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>RECICLADO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un método que actualmente se está realizando con otros tipos de materiales.</li> <li>• Representa grandes ventajas para la recuperación de materiales y la reducción del consumo de recursos naturales.</li> <li>• Reduce el impacto ambiental al disminuir la cantidad de residuos sólidos dirigidos a disposición final.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere de una separación de materiales.</li> <li>• Actualmente existen pocas empresas dedicadas a la recuperación de residuos plásticos tipo municipal..</li> </ul>
<b>INCINERACIÓN</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un proceso de tratamiento para residuos sólidos, líquidos y gaseosos.</li> <li>• Realiza la destrucción total de microorganismos patógenos presentes en los residuos, en forma rápida y segura.</li> <li>• Es posible manejar cualquier tipo de material, sea infeccioso, corrosivo, volátil, biológico o peligroso.</li> <li>• Reduce en peso y volumen de los residuos hasta un 90% de sus condiciones iniciales.</li> <li>• Es posible la recuperación de energía, vía cogeneración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe la necesidad de utilizar equipos anticontaminantes y personal capacitado para su operación</li> <li>• Los incineradores solamente son aconsejables para algunas ciudades, debido a los problemas de contaminación.</li> <li>• La incineración produce escorias que deben disponerse de acuerdo con sus propiedades.</li> <li>• La tecnología existente para la incineración de materiales plásticos es limitada y costosa, además de no existir en México.</li> </ul>
<b>RELLENO SANITARIO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La investigación inicial es pequeña comparada con otros métodos de disposición.</li> <li>• Es un método de disposición final completo.</li> <li>• Puede recibir todo tipo de material sin necesidad de separarlos.</li> <li>• La cantidad de residuos que admite diariamente es variable, y de aumentar se cuenta con la maquinaria y el personal.</li> <li>• Cuando el relleno se completa, el terreno utilizado puede ser empleado como aeropuerto, campo deportivo, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe manejarse correctamente cada día que se opere, de lo contrario puede convertirse en basurero.</li> <li>• Si el relleno se localiza en áreas urbanas o residenciales puede provocar problemas sociales.</li> <li>• Se debe seguir un diseño especial en la construcción de pabellones a fin de cumplir con el diseño original.</li> <li>• La producción de gases de descomposición como metano, ácido sulfídrico y otros pueden ser peligrosos, alterando el uso final que se le pudiera dar al terreno.</li> </ul>

**CAPITULO 7**

---

**ANALISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS PARA LAS TRES ALTERNATIVAS**



## CAPITULO 7.

### ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS DE LAS TRES ALTERNATIVAS.

En el presente apartado se establecen los costos asociados a las tres alternativas propuestas para el manejo de los residuos plásticos procedentes de las unidades médicas del IMSS en el D.F., antes de entrar en materia de costos es de primordial importancia dejar establecida la posición que guarda esta institución al respecto, que como fue explicado en su oportunidad en capítulos anteriores, "las funciones del IMSS son básicamente las de brindar servicio médico y seguridad social a sus derechohabientes". Por esta razón el desarrollar y/o adquirir infraestructura y equipo necesario para el procesamiento de sus residuos, se encuentra fuera de sus funciones, y se remitiría a la política de subrogar este tipo de acciones a otras instituciones ya sean públicas o privadas.

Tomando en cuenta esta política, el IMSS únicamente se haría responsable de la separación de los residuos plásticos del resto de los considerados con riesgo biológico-infeccioso, generados en cada una de sus unidades médicas localizadas en el D.F. De manera que toda alternativa de tratamiento, lo realizaría aquella empresa a la que por medio de concurso le sea subrogado el servicio.

#### 7.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN.

El análisis de costos desarrollado, parte de la condición de que el IMSS además de separar sus residuos plásticos en las unidades médicas, también los almacene en forma temporal dentro de alguno de sus hospitales, esto es porque principalmente en las unidades de Primer Nivel la cantidad de residuos plásticos generados es muy pequeña, y los costos asociados a la transportación se elevan y no justificaría su recolección diaria. Por ello se propone que en todas las unidades de Primer Nivel los residuos en cuestión se almacenen en la misma unidad por un tiempo estimado en una semana, después de la cual se trasladarían al hospital de zona más cercano que sirva de almacén temporal<sup>3</sup>, siendo el IMSS el encargado de absorber todos los gastos que hasta este momento se generen por la transportación, almacenamiento temporal y otros imprevistos que surjan para el manejo de los residuos plásticos. Esto ocurrirá ya que es a partir de la recolección de residuos dentro de los 16 centros de almacenamiento temporal, donde arrancaría el trabajo de la empresa que se encargaría de su tratamiento o disposición.

<sup>3</sup>No existe ninguna norma o reglamento que establezca un tiempo límite de almacenamiento o para dar tratamiento a residuos de este tipo, principalmente porque no son biodegradables ni peligrosos.

## 7.2 ANÁLISIS DE COSTOS PARA EL RECICLADO.

Para el análisis de costos de esta alternativa fue necesario realizar un estudio de mercado con las empresas que en un momento dado estarían interesadas en reciclar los residuos plásticos anteriormente descritos, el estudio se realizó en el año 1995 y se encuentra descrito en el anexo 3.

Es conveniente, para este capítulo, resumir los resultados que mediante el estudio económico se obtuvieron, los cuales fueron:

- El reciclado de residuos plásticos provenientes de unidades médicas es una opción que aún no se explora.
- Las industrias recicladoras entrevistadas tienen una capacidad de producción de 100 a 180 ton/día, en su mayoría.
- Los plásticos que reciclan pueden ser: polietileno de baja y alta densidad, polipropileno, PVC, poliestireno (sin expandir), PET, ABS o poliuretano. Pero el número de tipos de plástico que recupere cada empresa es variable.
- El origen de los residuos es preferentemente de tipo industrial aunque el 59% de las industrias encuestadas trabajan también con los de origen municipal.
- De las industrias entrevistadas únicamente el 35% produce artículos terminados, ya que todas ellas se dedican a la producción del pellet o granulado que sirve como materia prima para otras industrias.
- No se tiene un precio establecido o siquiera aproximado para este tipo de residuos.

Con los resultados obtenidos del estudio de mercado realizado, se plantearon dos estrategias y se calcularon sus costos, estas propuestas son:

### A) EMPLEAR LOS SERVICIOS DE UNA EMPRESA TRANSPORTISTA.

Esta alternativa propone contratar los servicios de una compañía que realice la recolección de residuos desde los hospitales que sirven de almacén temporal (las direcciones de los 16 centros de almacenamiento temporal, se encuentran en el anexo 4) y los concentre en una bodega general, desde donde serían recogidos por la industria encargada de reciclarlos.

Como puede observarse, los costos asociados a esta propuesta son básicamente de transportación, para ello se realizó un análisis de rutas, partiendo de la bodega que servirá de almacén general hacia cada uno de los hospitales que funcionan como almacén temporal de los residuos. El análisis de ruta realizado se describe en el anexo 4.

En esta sección se muestran los costos que implicará para la empresa intermediaria el brindar un manejo y tratamiento a los residuos plásticos del IMSS, dando además algunas breves definiciones de los términos económicos empleados.

El siguiente análisis es para determinar el precio de los residuos plásticos del IMSS, para ello se inicia el cálculo de los costos de la empresa en cuestión con un valor de venta de los residuos a industria recicladora de \$0.30/kg<sup>4</sup>.

7.2.1 INVERSIÓN.

La inversión o costo inicial se considera como aquel que es necesario para iniciar una actividad. esta clasificación está limitada generalmente, a aquellos costos que se presentan sólo una vez en una actividad, por ejemplo terreno, edificios, maquinaria, equipo, mobiliario, herramientas, vehículos de transporte y demás.

Para este estudio la inversión corresponde a vehículos y mobiliario y asciende a USD\$68329.0.

☐ MOBILIARIO DE OFICINA.

El mobiliario necesario para el desarrollo de las actividades se describe a continuación:

TABLA 7.1 INVERSIÓN INICIAL EN MOBILIARIO.			
CONCEPTO	COSTO UNITARIO USD\$	No. DE EQUIPOS	MONTO TOTAL USD\$
ESCRITORIO GRANDE.	266.3	1	266.3
ESCRITORIO PARA SECRETARIA.	265.9	1	265.9
MAQUINA DE ESCRIBIR.	88.6	1	88.6
SALA.	141.8	1	141.8
SILLAS.	35.4	5	177.0
ARCHIVERO.	124.0	1	124.0
LIBRERO.	212.7	1	212.7
OTROS	26.8	1	26.8
<b>TOTAL</b>	<b>USD\$ 1305.1</b>		

☐ TRANSPORTE.

Los vehículos de transporte son marca Mercedes Benz con motor a diesel de 8 cilindros, tipo rabón con capacidad de carga de 3.5 ton y caja de redilas para un volumen de 27 m<sup>3</sup>. Dentro del análisis se consideran necesarios dos vehículos para el recorrido de las rutas asignadas (mostrando el análisis de rutas dentro del anexo 4).

<sup>4</sup>Se inicia con este valor porque algunos industriales comentaron que en un estimado grueso el valor de los residuos pudiera encontrarse sobre de \$0.3/Kg.

TABLA 7.2 INVERSIÓN INICIAL PARA EQUIPO.

EQUIPO	INVERSIÓN INICIAL USD\$	VIDA DEPRECIABLE	TASA DE DEPRECIACIÓN %	VALOR DE RESCATE USD\$	DEPRECIACIÓN ANUAL USD\$
CAMIONES	67024.13	5	25	15905.1	10223.81

Paridad cambiaría 1USD\$ = \$7.46, vigente el 3 de Mayo de 1986.

### 7.2.2 COSTOS FIJOS.

Se define como el conjunto de costos asociados con una actividad en marcha, pero cuyo total permanecerá relativamente constante durante toda la actividad de la operación. Los costos fijos están conformados por depreciación, mantenimiento, impuestos, seguros, arrendamientos, seguros, intereses sobre el capital invertido, rentas fijas, programas de publicidad y algunos gastos de investigación y administración.

#### □ DEPRECIACIÓN.

Para la depreciación se empleo el método de la línea recta, y para camiones de transporte es como máximo de 25% analizado con base a la Ley del Impuesto Sobre la Renta (ISR).

$$D = (v-r) / n$$

Donde:

- D = Depreciación.
- v = Valor inicial del
- r = Valor de recuperación.
- n = Periodo en años a despreciar

#### □ SALARIOS.

Los salarios considerados para este estudio son los vigentes de acuerdo con la Secretaría del Trabajo.

TABLA 7.3 SALARIOS

PUESTO	SALARIO USD\$/día	No. DE PERSONAL	SALARIO TOTAL ANUALIZADO USD\$
AYUDANTE DE CONTADOR	4.9	1	1281.9
ENCARGADO DE BODEGA	3.98	2	2086.2
CHOFER	4.52	3	3550.7
AYUDANTE	3.03	6	4782.4
MOZO	3.03	1	793.7
VIGILANTE	3.91	2	2051.1
TOTAL	-----	16	14525.9



**□ RENTA DE LOCAL.**

Para el presente estudio dentro de la inversión se incluye el costo por renta de bodega con una extensión de 600 m<sup>2</sup>, de los cuales 500m<sup>2</sup> son techados y bardas de 15 m de alto, además cuenta con patio de maniobras, entrada para camión, 30 m<sup>2</sup> de oficinas y todos los servicios, ubicada en Callejón de San Juanico #16 Col. Anáhuac atrás de Carrillo Puerto No. 384, con un costo anual de USD\$19302.95.

**7.2.3 COSTOS VARIABLES.**

Ordinariamente se definen como el conjunto de costos que varían en alguna relación con el nivel de las operaciones. En general costos tales como materia prima, servicios auxiliares, combustible y mano de obra directa.

**□ COMBUSTIBLE.**

El crecimiento estimado para el IMSS en el periodo comprendido de 1990 al 2006, se determinó que deben ponerse en marcha alrededor de 4 Unidades de Medicina Familiar UMF y 1 Hospital General de Zona HGZ se fundará en un periodo de 5 años. Por lo tanto, al final del periodo considerado en este estudio, se tendrán 8 UMF y 2 HGZ más, pero se desconoce al lugar donde serán ubicadas dichas unidades médicas, además debe considerarse que es muy probable que uno de los dos hospitales en cuestión, sea un anexo o se localice en alguno de los hospitales ya existentes. Dado que un hospital sirve de almacén temporal para otros y a que las rutas de origen hacia dicho almacén temporal no se consideraron en el estudio de rutas desarrollado, sólo se incrementará a partir del 3<sup>er</sup> año en relación al número de Km totales anuales dividido entre las 16 unidades donde se recolectan los residuos manteniéndose constante en los próximos 5 años.

$$2581.065 \text{ Km/mes} = 30972.78 \text{ Km/año}$$

$$30972.78 \text{ Km/año} = 1935.7987 \text{ Km/año} \cdot 16 \text{ unidades de almacén temporal}$$

$$\Rightarrow \text{CANTIDAD DE KILOMETRAJE A RECORRER EN UN AÑO: } 32908.58 \text{ Km/año.}$$

Para determinar el costo de combustible de acuerdo con el kilometraje recorrido se tiene que:

$$\text{Costo de combustible (diesel)} = \$1.70/\text{lt}$$

$$\text{Rendimiento} = 2.5 \text{ Km/lt}$$

por lo tanto el costo del combustible será:

$$\text{a) PERIODO DE 1996 a 2001} = \$21061.49/\text{año} = \text{USD } \$ 2823.26/\text{año}$$

$$\text{b) PERIODO DE 2002 a 2006} = \$22377.83/\text{año} = \text{USD } \$ 2999.71/\text{año}$$

## 7.2.4 CAPITAL DE TRABAJO.

El capital de trabajo se refiere al capital con que cuenta la empresa en el corto plazo (efectivo), y puede definirse a la diferencia aritmética entre el activo circulante y el pasivo circulante.

INVENTARIOS.

Los tipos de Inventarios existentes son: Inventarios de materia prima, de productos en proceso y de producto terminado. Para el cálculo de inventario sólo se consideran los de producto terminado, ya que la materia prima se considera de valor cero y no se está procesando el material, sino únicamente se recolecta y almacena.

El cálculo de inventario fue de 15 días de producto terminado, ya que es el precio al que las industrias recicladoras lo pagan.

CUENTAS POR COBRAR.

Las cuentas por cobrar se refieren a la inversión necesaria como consecuencia de vender a crédito.

$$CC = ( \text{Ventas anuales} / 365 ) * ppr$$

Donde:

CC = Cuentas por cobrar.

ppr = Período promedio de recuperación.

Para éste análisis, el ppr se consideró de 30 días.

SALDO A PROVEEDORES.

En este rubro se definen lo que son las cuentas por pagar, que para este estudio no existen.

## 7.2.5 BASES DE COMPARACIÓN.

Se define como el índice que contiene información específica sobre una serie de ingresos y de desembolsos que representan una oportunidad de inversión. La reducción de alternativas a una base común es indispensable con el propósito de que ciertas diferencias apenas aparentes se tornen reales al tomar en cuenta el efecto del tiempo sobre el valor de la moneda. Las bases de comparación más comunes son el valor equivalente anual, el valor futuro, la tasa interna de retorno (TIR) y el valor presente neto (VPN), siendo estos dos últimos los que se utilizan para la realización de este estudio.

VALOR PRESENTE NETO (VPN).

El VPN es una cantidad en el momento actual (t=0), que es equivalente al flujo de efectivo de una inversión a una tasa específica de interés y, pero que considera el efecto del tiempo sobre el valor de la moneda

De esta forma el VPN puede calcularse como:

$$VPN = I + \sum [F_t / (1+i)^t]$$

Donde:

I = inversión.

F = flujos de caja para cada año considerado.

i = tasa de interés.

t = tiempo (años).

#### TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).

Representa el porcentaje a la tasa de interés producida sobre el saldo aún no recuperado de la inversión, de manera que el saldo restante al finalizar la vida de la inversión es igual a cero.

Para calcular la tasa de retorno TIR, debe encontrarse el valor de "i" que satisfaga a la siguiente ecuación:

$$VPN = 0 = I_0 + \sum [F_t / (1+i)^t]$$

Pero para facilitar este cálculo se realiza un proceso de ensayo y error hasta obtener un cambio de signo en el valor del Valor Presente Neto (VPN) obtenido, y posteriormente se calcula por interpolación lineal.

$$i^* = i_0 + \Delta_{ij} [(VPN_{i_0} - 0) / (VPN_{i_0} - VPN_{i_1})]$$

Donde:

$i_0$  = Tasa inicial.

$\Delta_{ij}$  = Diferencia entre las dos tasas analizadas donde se localiza el cambio de signo en el VPN obtenido.

#### PAY BACK.

Se refiere al tiempo en el cual se recupera la inversión realizada, para ello es necesario conocer el flujo de efectivo inicial y sumar aritméticamente los flujos de efectivo obtenidos en los siguientes años, cuando exista un cambio de signo en el valor del flujo de efectivo acumulado, este representa el tiempo en el cual se recupera la inversión.

### 7.2.6. ANÁLISIS ECONÓMICO.

Con los criterios anteriores se realizó la estimación de los flujos de efectivo para los siguientes 10 años, partiendo de un valor de venta de los residuos de \$0.30/Kg. Los resultados de estos análisis se resumen en las tablas 7.4 a 7.12.

TABLA V.2 ESTADO DE RESULTADOS PARA RECIKLADO. (MILES DE US\$ CONSTANTES) (2006)											
CONCEPTO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>VENTAS NETAS</b>	<b>56.743</b>	<b>58.176</b>	<b>59.899</b>	<b>61.848</b>	<b>62.489</b>	<b>63.911</b>	<b>65.342</b>	<b>66.775</b>	<b>68.206</b>	<b>69.639</b>	<b>71.063</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>-46.961</b>	<b>-46.961</b>	<b>-46.961</b>	<b>-46.961</b>	<b>-46.961</b>	<b>-46.961</b>	<b>-46.961</b>	<b>-46.961</b>	<b>-46.961</b>	<b>-46.961</b>	<b>-46.961</b>
• SUELDOS Y SALARIOS	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525
• RENTAS	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223
• MANTENIMIENTO	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608
• OTROS	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400
<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.999</b>	<b>-2.999</b>	<b>-2.999</b>	<b>-2.999</b>	<b>-2.999</b>
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>7.859</b>	<b>9.292</b>	<b>10.724</b>	<b>12.164</b>	<b>13.996</b>	<b>15.627</b>	<b>16.282</b>	<b>17.715</b>	<b>19.146</b>	<b>20.570</b>	<b>22.003</b>
<b>IMPUESTOS</b>	<b>-3.536</b>	<b>-4.181</b>	<b>-4.826</b>	<b>-5.474</b>	<b>-6.118</b>	<b>-5.288</b>	<b>-5.699</b>	<b>-6.288</b>	<b>-6.701</b>	<b>-7.199</b>	<b>-7.701</b>
• ISR (35% UAI)	-2.705	-3.252	-3.754	-4.257	-4.758	-5.259	-5.699	-6.200	-6.701	-7.199	-7.701
• PTU (10% UAI)	-0.789	-0.929	-1.072	-1.216	-1.360	-1.503	-1.628	-1.772	-1.915	-2.057	-2.200
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>4.322</b>	<b>5.110</b>	<b>5.899</b>	<b>6.691</b>	<b>7.478</b>	<b>8.265</b>	<b>8.955</b>	<b>9.743</b>	<b>10.530</b>	<b>11.313</b>	<b>12.101</b>



**TABLA 7.5 ESTADO DE RESULTADOS PARA RECICLADO.  
(MILLAS DE USOS CORRIENTES)  
(0.000)**

CONCEPTO/AÑO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>IMP</b>	121.78	125.4	128.98	132.54	163.86	138.86	142.97	146.38	144.76	153.11	165.42
<b>VENTAS NETAS</b>	96.743	69.262	68.515	82.951	106.529	144.793	207.011	311.344	356.860	609.230	1,391.2
<b>COSTOS FIJOS</b>	-46.861	-47.728	-62.943	-62.867	-78.546	-104.35	-146.93	-214.76	-241.80	-535.32	-901.73
• SUELDOS Y SALARIOS	-14.525	-15.052	-16.696	-19.738	-24.767	-32.909	-46.020	-67.728	-76.001	-168.82	-284.37
• RENTAS	-19.302	-20.002	-22.187	-26.228	-32.912	-43.732	-61.154	-90.001	-101.00	-224.34	-377.89
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.594	-11.751	-13.892	-17.432	-23.163	-32.390	-47.669	-53.492	-118.82	-200.15
• MANTENIMIENTO	-1.608	-1.667	-1.849	-2.186	-2.743	-3.644	-5.096	-7.500	-8.416	-18.695	-31.491
• OTROS	-0.400	-0.415	-0.460	-0.544	-0.682	-0.906	-1.267	-1.865	-2.093	-4.694	-7.831
<b>COSTOS VARIABLES</b>	-2.823	-2.925	-3.246	-3.836	-4.814	-6.396	-9.501	-13.983	-15.691	-34.854	-58.711
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	7.859	9.628	12.327	16.528	23.181	34.044	61.583	82.987	100.173	239.059	430.744
<b>IMPUESTOS</b>	-3.536	-3.536	-4.333	-5.547	-7.438	-10.431	-15.320	-23.212	-37.168	-45.078	-107.58
• ISR (35% UAI)	-2.705	-3.370	-4.314	-5.785	-8.113	-11.915	-18.054	-28.909	-35.060	-83.671	-150.76
• PTU (10% UAI)	-0.789	-0.963	-1.233	-1.653	-2.318	-3.404	-5.158	-8.259	-10.017	-23.906	-43.074
<b>UTILIDAD NETA</b>	4.322	5.296	6.790	9.090	12.750	18.724	28.370	45.428	55.095	131.483	236.909

<b>TABLA 7.8 CAPITAL DE TRABAJO PARA RECICLADO</b>											
<b>(MILES DE DÓLARES)</b>											
<b>(EN 2004)</b>											
<b>CONCEPTO/AÑO</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<b>INVENTARIOS</b>	<b>2.319</b>	<b>2.378</b>	<b>24.36</b>	<b>2.495</b>	<b>2.653</b>	<b>2.612</b>	<b>2.679</b>	<b>2.729</b>	<b>2.798</b>	<b>2.846</b>	<b>2.904</b>
<b>DÍAS DE CARTERA</b>	<b>4.664</b>	<b>4.782</b>	<b>4.899</b>	<b>5.018</b>	<b>5.136</b>	<b>5.253</b>	<b>5.371</b>	<b>5.488</b>	<b>5.606</b>	<b>5.723</b>	<b>2.841</b>
<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>	<b>6.983</b>	<b>7.160</b>	<b>7.335</b>	<b>7.513</b>	<b>7.689</b>	<b>7.865</b>	<b>8.041</b>	<b>8.217</b>	<b>8.394</b>	<b>8.569</b>	<b>8.745</b>
<b>CAMBIO EN EL C. DE T.</b>	<b>0.000</b>	<b>0.177</b>	<b>0.175</b>	<b>0.178</b>	<b>0.175</b>	<b>0.177</b>	<b>0.176</b>	<b>0.176</b>	<b>0.177</b>	<b>0.175</b>	<b>0.176</b>

<b>TABLA 7.7 FLUJO DE EFECTIVO PARA EL RECICLADO.</b>											
<b>(MILES DE US\$ CONSTANTES)</b>											
<b>(\$9,30000)</b>											
<b>CONCEPTO</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<b>INGRESOS</b>											
• UTILIDAD NETA	4.322	5.110	5.899	6.691	7.478	8.265	8.955	9.743	10.530	11.313	12.101
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223
<b>EGRESOS</b>											
• INVERSIÓN	-68.329	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CAMBIO EN EL C. DE T.	0.000	0.177	0.175	0.178	0.175	0.177	0.176	0.176	0.177	0.175	0.176
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	<b>-53.783</b>	<b>15.323</b>	<b>6.122</b>	<b>16.914</b>	<b>17.701</b>	<b>18.488</b>	<b>19.178</b>	<b>19.966</b>	<b>20.753</b>	<b>21.536</b>	<b>22.324</b>
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	<b>0.000</b>	<b>-38.460</b>	<b>-22.338</b>	<b>-5.424</b>	<b>12.277</b>	<b>30.765</b>	<b>49.943</b>	<b>69.909</b>	<b>90.662</b>	<b>112.198</b>	<b>134.522</b>
<b>(MILES DE US\$ CORRIENTES)</b>											
<b>IMP</b>	<b>121.78</b>	<b>125.4</b>	<b>125.99</b>	<b>132.54</b>	<b>136.05</b>	<b>139.55</b>	<b>142.97</b>	<b>146.36</b>	<b>144.76</b>	<b>153.11</b>	<b>156.42</b>
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	<b>-53.783</b>	<b>15.878</b>	<b>18.531</b>	<b>22.982</b>	<b>30.181</b>	<b>41.886</b>	<b>60.758</b>	<b>93.093</b>	<b>108.582</b>	<b>250.288</b>	<b>437.032</b>
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	<b>0.000</b>	<b>-39.852</b>	<b>-25.675</b>	<b>-7.370</b>	<b>20.932</b>	<b>69.699</b>	<b>158.224</b>	<b>325.955</b>	<b>474.351</b>	<b>1,303.947</b>	<b>2,633.502</b>

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS DE LAS TRES ALTERNATIVAS

TABLA 7.8 ESTADO DE RESULTADOS PARA RECLAMOS (MILES DE DÓL. CORRIENTES)											
CONCEPTO/AÑO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>VENTAS NETAS</b>	<b>47.383</b>	<b>48.498</b>	<b>48.893</b>	<b>50.962</b>	<b>52.886</b>	<b>53.278</b>	<b>54.471</b>	<b>55.896</b>	<b>56.899</b>	<b>58.046</b>	<b>59.240</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>-46.861</b>	<b>-46.861</b>	<b>-46.861</b>	<b>-46.861</b>	<b>-46.861</b>	<b>-46.861</b>	<b>-46.861</b>	<b>-46.861</b>	<b>-46.861</b>	<b>-46.861</b>	<b>-46.861</b>
• SUELDOS Y SALARIOS	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525	-14.525
• RENTAS	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302	-19.302
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223
• MANTENIMIENTO	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608
• OTROS	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400
<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.988</b>	<b>-2.988</b>	<b>-2.999</b>	<b>-2.999</b>	<b>-2.999</b>
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>-1.580</b>	<b>-0.386</b>	<b>0.888</b>	<b>2.888</b>	<b>3.291</b>	<b>4.384</b>	<b>5.411</b>	<b>6.886</b>	<b>7.799</b>	<b>8.986</b>	<b>10.180</b>
<b>IMPUESTOS</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>-0.384</b>	<b>-0.984</b>	<b>-1.448</b>	<b>-1.977</b>	<b>-2.435</b>	<b>-2.973</b>	<b>-3.510</b>	<b>-4.044</b>	<b>-4.581</b>
• ISR (35% UAI)	0.000	0.000	-0.283	-0.703	-1.120	-1.538	-1.894	-2.312	-2.730	-3.145	-3.563
• PTU (10% UAI)	0.000	0.000	-0.081	-0.201	-0.320	-0.439	-0.541	-0.661	-0.780	-0.899	-1.018
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>-1.580</b>	<b>-0.386</b>	<b>0.445</b>	<b>1.184</b>	<b>1.788</b>	<b>2.417</b>	<b>2.976</b>	<b>3.633</b>	<b>4.289</b>	<b>4.942</b>	<b>5.599</b>



**TABLA 7.3 ESTADO DE RESULTADOS PARA RECICLADO.  
(MILES DE COLONES CORRIENTES)  
(MILLONES)**

CONCEPTO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>IMP</b>	<b>121.78</b>	<b>125.4</b>	<b>128.99</b>	<b>132.94</b>	<b>136.86</b>	<b>139.85</b>	<b>142.97</b>	<b>146.39</b>	<b>144.76</b>	<b>153.11</b>	<b>165.42</b>
<b>VENTAS NETAS</b>	<b>47.393</b>	<b>58.254</b>	<b>67.117</b>	<b>88.161</b>	<b>88.818</b>	<b>128.784</b>	<b>172.579</b>	<b>239.647</b>	<b>297.482</b>	<b>674.682</b>	<b>1,159.7</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>-46.861</b>	<b>-47.728</b>	<b>-52.963</b>	<b>-52.887</b>	<b>-78.546</b>	<b>-104.35</b>	<b>-146.93</b>	<b>-214.76</b>	<b>-241.89</b>	<b>-535.32</b>	<b>-991.73</b>
• SUELDOS Y SALARIOS	-14.525	-15.052	-16.686	-19.738	-24.767	-32.909	-46.020	-67.726	-76.001	-168.82	-284.37
• RENTAS	-19.302	-20.002	-22.187	-26.228	-32.912	-43.732	-61.154	-90.001	-101.00	-224.34	-377.89
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.594	-11.751	-13.892	-17.432	-23.163	-32.390	-47.669	-53.492	-118.82	-200.15
• MANTENIMIENTO	-1.608	-1.667	-1.849	-2.186	-2.743	-3.644	-5.096	-7.500	-8.416	-18.695	-31.491
• OTROS	-0.400	-0.415	-0.460	-0.544	-0.682	-0.906	-1.267	-1.865	-2.093	-4.694	-7.831
<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>-2.823</b>	<b>-2.926</b>	<b>-3.246</b>	<b>-3.836</b>	<b>-4.814</b>	<b>-6.386</b>	<b>-9.891</b>	<b>-13.983</b>	<b>-15.691</b>	<b>-34.864</b>	<b>-58.711</b>
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>-1.580</b>	<b>-4.488</b>	<b>8.938</b>	<b>2.728</b>	<b>5.488</b>	<b>9.954</b>	<b>17.142</b>	<b>38.888</b>	<b>48.884</b>	<b>104.432</b>	<b>199.288</b>
<b>IMPUESTOS</b>	<b>0.800</b>	<b>0.800</b>	<b>-0.418</b>	<b>-1.228</b>	<b>-2.486</b>	<b>-4.488</b>	<b>-7.714</b>	<b>-13.888</b>	<b>-18.362</b>	<b>-46.994</b>	<b>-89.679</b>
• ISR (35% UAI)	0.000	0.000	-0.325	-0.955	-1.910	-3.484	-6.00	-10.780	-14.281	-36.551	-69.751
• PTU (10% UAI)	0.000	0.000	-0.093	-0.273	-0.546	-0.995	-1.714	-3.088	-4.080	-10.443	-19.929
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>-1.580</b>	<b>-4.488</b>	<b>8.519</b>	<b>1.501</b>	<b>3.002</b>	<b>5.475</b>	<b>9.428</b>	<b>15.948</b>	<b>22.442</b>	<b>57.437</b>	<b>109.608</b>

<b>TABLA 7.02 CAPITAL DE TRABAJO REQUERIDO</b>											
<b>(MILLONES DE DÓLARES)</b>											
<b>CONCEPTO</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<b>INVENTARIOS</b>	1.933	1.982	2.031	2.080	2.129	2.177	2.226	2.275	2.324	2.372	2.421
<b>DÍAS DE CARTERA</b>	3.080	3.206	3.334	3.463	3.591	3.719	3.847	3.975	4.103	4.231	4.359
<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>	5.021	5.268	5.415	5.563	5.710	5.896	6.083	6.250	6.427	6.603	6.780
<b>CAMBIO EN EL C. DE T.</b>	0.000	0.147	0.147	0.146	0.147	0.146	0.147	0.147	0.147	0.146	0.147

<b>TABLA 7.11 FLUJO DE EFECTIVO PARA EL RECICLADO.</b>											
<b>(MILES DE DÓLARES CONSTANTES)</b>											
<b>CONCEPTO</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<b>INGRESOS</b>											
• UTILIDAD NETA	-1.580	-0.386	0.445	1.104	1.760	2.417	2.976	3.633	4.289	4.942	5.599
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223
<b>EGRESOS</b>											
• INVERSIÓN	-68.329	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>CAMBIO EN EL C. DE T.</b>	0.000	0.147	0.147	0.148	0.147	0.146	0.147	0.147	0.147	0.146	0.147
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	<b>-58.107</b>	<b>9.838</b>	<b>10.670</b>	<b>11.328</b>	<b>11.984</b>	<b>12.641</b>	<b>13.200</b>	<b>13.857</b>	<b>14.513</b>	<b>15.166</b>	<b>15.823</b>
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	<b>-58.107</b>	<b>-48.269</b>	<b>-37.599</b>	<b>-26.271</b>	<b>-14.287</b>	<b>-1.646</b>	<b>11.554</b>	<b>25.411</b>	<b>39.924</b>	<b>55.090</b>	<b>70.913</b>
<b>(MILES DE DÓLARES CORRIENTES)</b>											
<b>BSPC</b>	<b>121.78</b>	<b>125.4</b>	<b>125.99</b>	<b>132.54</b>	<b>136.05</b>	<b>139.55</b>	<b>142.97</b>	<b>146.36</b>	<b>144.76</b>	<b>153.11</b>	<b>156.42</b>
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	<b>-58.107</b>	<b>10.133</b>	<b>12.216</b>	<b>15.078</b>	<b>20.240</b>	<b>27.715</b>	<b>41.427</b>	<b>62.463</b>	<b>76.032</b>	<b>172.311</b>	<b>295.350</b>
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	<b>-58.107</b>	<b>-49.717</b>	<b>-43.047</b>	<b>-34.967</b>	<b>-24.130</b>	<b>-3.609</b>	<b>36.261</b>	<b>114.544</b>	<b>209.158</b>	<b>659.140</b>	<b>1.323.652</b>

TABLA 7.12 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

VALOR DE VENTA DEL RESIDUO USD\$/Kg	TASA DE INTERÉS %	VPN USD\$CTES.	VPN USD\$CORR.	TIR USD\$CTES. %	TIR USD\$CORR. %
0.040	10	7842	5035	12.6	36.8
	35				
0.033	20	5991	10808	25.5	49.0
	45				

Con los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que el precio que la empresa transportista pudiera pagar al IMSS por transportar sus residuos es de USD\$0.00/Kg, siempre y cuando la empresa en cuestión pueda venderlos a la industria recicladora en USD\$0.040/Kg, ya que de esta forma sus gastos no superarían a las ganancias.

#### B) LA INDUSTRIA QUE RECICLE LOS RESIDUOS SEA QUIEN REALICE LA RECOLECCIÓN.

Esta estrategia toma en cuenta la proposición de las industrias recicladoras encuestadas en el análisis de mercado, de realizar la recolección siempre y cuando el volumen a recolectar sea considerable, es decir que el transporte que utilicen se llene en su totalidad por lo que la participación de la empresa transportista mostrada en la propuesta anterior ya no sería necesaria.

Para esta alternativa no es posible realizar un estudio de costos ya que este depende de la ubicación y recursos de cada industria interesada en reciclar los residuos aquí presentados, sin embargo, el realizar la recolección la misma industria que los recupera, y esto eleve sus costos de transporte, es posible pensar que a la industria recicladora le sea más económico realizar esta acción y por lo tanto, quizás el IMSS podría recibir algún beneficio económico al comercializar sus residuos.

#### 7.2 ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA INCINERACIÓN.

Para esta alternativa de tratamiento y siguiendo la política del IMSS de subrogar acciones y servicios, se investigó con las empresas dedicadas a la incineración de residuos, la posibilidad de que se realizará la incineración de los plásticos especificados, encontrando que no se cuenta con la tecnología específica para la incineración de este tipo de residuos. De realizarlo, es necesario se mezcle con otros materiales para variar la composición de la mezcla final, y tratarlos como residuos hospitalarios o municipales, pero esta opción queda fuera por no ser funcional para los objetivos de este estudio.



Una segunda opción consiste en importar un equipo de incineración exclusivo para plásticos, pero el IMSS y la empresas entrevistadas no tienen interés en adquirirlo, por lo que esta alternativa tampoco es la solución a este problema.

La última alternativa a considerar es la de aprovechar el poder calorífico de los materiales plásticos usándolos como combustible alterno en hornos cementeros.

cabe señalar que aún cuando esta opción es tecnológicamente posible, se requiere de una amplia investigación, pruebas y permisos para cada tipo de residuo o mezclas de residuos que pudieran emplearse con este fin, lo que en todo caso sería motivo de un estudio de tesis o investigación ajeno al desarrollado. Además esta opción no se está efectuando en nuestro país actualmente.

#### **7.4 ANÁLISIS DE COSTOS PARA RELLENO SANITARIO.**

La tercera alternativa propuesta es la de otorgar disposición final a los residuos plásticos, para ello se contrataría a una empresa que realice la recolección, transportación y disposición de los residuos en el relleno sanitario denominado "Bordo Poniente", porque como en su oportunidad se explicó es el relleno operable para el D.F., que cuenta con una celda especial para residuos procedentes de unidades médicas y se localiza en la zona federal del ex-Lago de Texcoco.

El análisis de costos aquí realizado parte de las mismas consideraciones que para el caso de reciclado, y el análisis de rutas correspondientes se presenta en el anexo 6, el cual parte del relleno en cuestión hacia los hospitales que sirven de almacén temporal.

Es conveniente aclarar que en este caso el IMSS contrata los servicios de una empresa que maneje sus residuos, es decir, realiza un desembolso, es por ello que el análisis a realizar es para determinar el costo que tiene para dicha empresa realizar este tipo de servicio.

Para iniciar el análisis, se propuso que la empresa en cuestión cobre \$0.15 por cada kilogramo de residuos que maneje, y se estimó que sus requerimientos serían aproximadamente:

##### **7.4.1 INVERSIÓN.**

Para este caso específico, la inversión se refiere únicamente a los dos vehículos empleados para el transporte, esto es: 2 camiones tipo rabón, con las mismas características de los empleados para reciclado.

##### **7.4.2 SUELDOS.**

Los sueldos empleados en este estudio son los vigentes de acuerdo con la Secretaría del Trabajo.

<sup>5</sup>Con base a la licitación correspondiente.

TABLA 7.13 SUELDOS

PUESTO	SALARIO USD\$/día	No. DE PERSONAL	SALARIO TOTAL ANUALIZADO USD\$
SUPERVISOR	3.98	1	2086.2
CHOFER	4.52	3	3550.7
AYUDANTE	3.03	6	4762.4
<b>TOTAL</b>			<b>10399.3</b>

#### 7.4.3 USO DE CELDA

El costo por uso de celda para este tipo de residuos es de \$25.0/ton, y no se obtuvieron datos del incremento en los años anteriores, por ello existen dos posibilidades, mantener el precio actual constante a lo largo de los 10 años de estudio, o bien proponer un porcentaje de crecimiento anual.

Para el cálculo aquí realizado se propuso un crecimiento del 10% en la tarifa por uso de celda, para periodos de 3 años.

#### 7.4.4 COMBUSTIBLE

Se estimó de la misma forma que para el caso de reciclado resultando:

Kilómetros totales: 43563.8 Km/año.

Costo del combustible: \$1.7/lit.

Rendimiento: 2.5 Km/lit.

Costo por kilómetro: \$0.68/Km.

Incremento en el kilometraje a partir del 6to año: 27.24 Km.

Costo para los primeros 5 años: USD\$3660.7

Costo para los siguientes 5 años: USD\$3910.71

Los resultados del análisis de costos realizado para esta alternativa se resumen a continuación en las tablas 7.11 a 7.14.

**TABLA 7.14 ESTADO DE RESULTADOS PARA RELLENO SANITARIO  
(MILES DE USOS CONSTANTES)  
(\$0.15Kq)**

CONCEPTO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>VENTAS NETAS</b>	<b>28.381</b>	<b>29.098</b>	<b>29.515</b>	<b>30.535</b>	<b>31.251</b>	<b>31.967</b>	<b>32.682</b>	<b>33.400</b>	<b>34.115</b>	<b>34.827</b>	<b>35.544</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>
• SUELDOS Y SALARIOS	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223
• MANTENIMIENTO	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608
• OTROS	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400
<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>-3.873</b>	<b>-3.878</b>	<b>-3.883</b>	<b>-3.888</b>	<b>-3.913</b>	<b>-3.938</b>	<b>-4.180</b>	<b>-4.186</b>	<b>-4.191</b>	<b>-4.226</b>	<b>-4.232</b>
• COMBUSTIBLE	-3.680	-3.680	-3.680	-3.680	-3.680	-3.680	-3.910	-3.910	-3.910	-3.910	-3.910
• CELDA	-0.193	-0.198	-0.203	-0.229	-0.233	-0.240	-0.270	-0.275	-0.275	-0.281	-0.316
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>1.878</b>	<b>2.590</b>	<b>3.362</b>	<b>3.986</b>	<b>4.768</b>	<b>5.657</b>	<b>5.872</b>	<b>6.584</b>	<b>7.294</b>	<b>7.971</b>	<b>8.682</b>
<b>IMPUESTOS</b>	<b>-0.845</b>	<b>-1.166</b>	<b>-1.486</b>	<b>-1.798</b>	<b>-2.119</b>	<b>-2.546</b>	<b>-2.642</b>	<b>-2.963</b>	<b>-3.282</b>	<b>-3.587</b>	<b>-3.907</b>
• ISR (35% UAI)	-0.657	-0.907	-1.156	-1.399	-1.648	-1.980	-2.056	-2.304	-2.553	-2.790	-3.039
• PTU (10% UAI)	-0.188	-0.259	-0.330	-1.380	-0.471	-0.566	-0.587	-0.658	-0.729	-0.797	-0.868
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>1.033</b>	<b>1.425</b>	<b>1.816</b>	<b>2.188</b>	<b>2.589</b>	<b>3.111</b>	<b>3.030</b>	<b>3.621</b>	<b>4.012</b>	<b>4.384</b>	<b>4.775</b>

**TABLA 7.15 ESTADO DE RESULTADOS PARA RELLENO SANITARIO**  
**(MILES DE USOS CORRIENTES)**  
**(\$9.18Kq)**

CONCEPTO/AÑO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>RPG</b>	<b>121.78</b>	<b>126.4</b>	<b>125.99</b>	<b>132.54</b>	<b>136.05</b>	<b>138.55</b>	<b>142.97</b>	<b>146.36</b>	<b>144.76</b>	<b>153.11</b>	<b>156.42</b>
<b>VENTAS NETAS</b>	<b>28.381</b>	<b>30.174</b>	<b>32.428</b>	<b>41.58</b>	<b>53.433</b>	<b>72.069</b>	<b>103.951</b>	<b>156.256</b>	<b>179.420</b>	<b>406.979</b>	<b>699.982</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>-22.630</b>	<b>-23.449</b>	<b>-24.576</b>	<b>-30.749</b>	<b>-38.584</b>	<b>-51.269</b>	<b>-71.694</b>	<b>-105.396</b>	<b>-118.402</b>	<b>-263.003</b>	<b>-443.022</b>
• SUELDOS Y SALARIOS	-10.399	-10.775	-11.293	-14.130	-17.730	-23.559	-32.945	-48.432	-54.409	-120.856	-203.579
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.593	-11.751	-13.891	-17.434	-23.162	-32.390	-47.669	-53.491	-118.819	-200.144
• MANTENIMIENTO	-1.608	-1.666	-8.848	-2.185	-2.743	-3.644	-5.096	-7.500	-8.416	-18.694	-31.491
• OTROS	-0.400	-0.414	-0.459	-0.543	-0.682	-0.906	-1.267	-1.865	-2.092	-4.648	-7.830
<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>-3.873</b>	<b>-4.018</b>	<b>-4.217</b>	<b>-5.311</b>	<b>-6.672</b>	<b>-8.881</b>	<b>-13.243</b>	<b>-19.496</b>	<b>-21.928</b>	<b>-49.114</b>	<b>-82.849</b>
• COMBUSTIBLE	-3.680	-3.814	-4.230	-5.5001	-6.276	-8.338	-12.389	-18.234	-20.461	-45.444	-76.559
• CELDA	-0.193	-0.204	-0.987	-0.310	-0.396	-0.543	-0.845	-1.262	-1.467	-3.670	-6.290
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>1.878</b>	<b>2.686</b>	<b>3.591</b>	<b>5.441</b>	<b>8.050</b>	<b>12.314</b>	<b>18.677</b>	<b>30.802</b>	<b>38.362</b>	<b>93.147</b>	<b>170.978</b>
<b>IMPUESTOS</b>	<b>-0.845</b>	<b>-1.209</b>	<b>-1.516</b>	<b>-2.449</b>	<b>-3.662</b>	<b>-5.541</b>	<b>-8.405</b>	<b>-13.861</b>	<b>-17.263</b>	<b>-41.916</b>	<b>-76.940</b>
• ISR (35% UAI)	-0.657	-0.940	-1.257	-1.904	-2.817	-4.310	-6.536	-10.781	-13.427	-32.601	-59.84
• PTU (10% UAI)	-0.188	-0.269	-0.359	-0.544	-0.805	-1.231	-1.868	-3.080	-3.836	-9.315	-17.098
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>1.033</b>	<b>1.477</b>	<b>1.975</b>	<b>2.993</b>	<b>4.427</b>	<b>6.773</b>	<b>10.272</b>	<b>16.940</b>	<b>21.099</b>	<b>51.23</b>	<b>94.038</b>



<b>TABLA 7.16 FLUJO DE EFECTIVO PARA BELLERO SANITARIO</b>											
<b>(MILES DE DÓL. CONSTANTES)</b>											
<b>(M. 1996)</b>											
<b>CONCEPTO</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<b>INGRESOS</b>											
• UTILIDAD NETA	1.033	1.477	1.975	2.993	4.427	6.773	10.272	16.940	21.099	51.23	94.038
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.593	-11.751	-13.891	-17.434	-23.162	-32.390	-47.669	-53.491	-118.819	-200.144
<b>EGRESOS</b>											
• INVERSIÓN	-67.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	-55.766	11.648	12.039	12.658	12.812	13.334	13.741	13.585	14.820	14.427	14.425
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	-55.766	-44.118	-32.079	-19.658	-6.846	6.488	19.741	33.585	47.82	62.427	77.425
<b>(MILES DE DÓL. CORRIENTES)</b>											
<b>BPC</b>	121.78	125.4	125.99	132.54	136.05	139.55	142.97	146.36	144.76	153.11	156.42
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	-55.766	12.070	13.074	16.711	21.845	30.201	47.967	64.476	74.479	169.760	293.612
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	-55.766	-45.715	-34.837	-26.711	-11.672	14.699	62.542	156.417	250.199	725.518	1,515.731

CONCEPTO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>VENTAS NETAS</b>	<b>24.598</b>	<b>25.219</b>	<b>25.840</b>	<b>26.464</b>	<b>27.084</b>	<b>27.694</b>	<b>28.325</b>	<b>28.945</b>	<b>29.567</b>	<b>30.184</b>	<b>30.805</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>	<b>-22.630</b>
• SUELDOS Y SALARIOS	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399	-10.399
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223	-10.223
• MANTENIMIENTO	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608	-1.608
• OTROS	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400
<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>-3.873</b>	<b>-3.878</b>	<b>-3.883</b>	<b>-3.888</b>	<b>-3.913</b>	<b>-3.920</b>	<b>-4.180</b>	<b>-4.185</b>	<b>-4.191</b>	<b>-4.226</b>	<b>-4.232</b>
• COMBUSTIBLE	-3.680	-3.680	-3.680	-3.680	-3.680	-3.680	-3.910	-3.910	-3.910	-3.910	-3.910
• CELDA	-0.193	-0.198	-0.203	-0.229	-0.233	-0.240	-0.270	-0.275	-0.275	-0.281	-0.316
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>-1.905</b>	<b>-1.286</b>	<b>-0.673</b>	<b>-0.875</b>	<b>0.641</b>	<b>1.144</b>	<b>1.515</b>	<b>2.130</b>	<b>2.746</b>	<b>3.328</b>	<b>3.943</b>
<b>IMPUESTOS</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>-0.243</b>	<b>-0.515</b>	<b>-0.682</b>	<b>-0.969</b>	<b>-1.236</b>	<b>-1.4981</b>	<b>-1.774</b>
• ISR (35% UAI)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.189	-0.400	-0.530	-0.746	-0.961	-1.165	-1.380
• PTU (10% UAI)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.054	-0.115	-0.152	-0.213	-0.275	-0.33	-0.394
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>-1.905</b>	<b>-1.284</b>	<b>-0.678</b>	<b>-0.878</b>	<b>0.297</b>	<b>0.629</b>	<b>0.833</b>	<b>1.172</b>	<b>1.510</b>	<b>1.830</b>	<b>2.169</b>

**TABLA 7.16 ESTADO DE RESULTADOS PARA RELLENO SANITARIO  
(MILES DE US\$ CORRIENTES)  
(99.12%)**

CONCEPTO	1995	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>IMP</b>	<b>121.78</b>	<b>125.4</b>	<b>125.99</b>	<b>132.94</b>	<b>135.95</b>	<b>139.88</b>	<b>142.97</b>	<b>146.36</b>	<b>144.76</b>	<b>153.11</b>	<b>156.42</b>
<b>VENTAS NETAS</b>	<b>24.588</b>	<b>25.132</b>	<b>25.862</b>	<b>35.959</b>	<b>45.179</b>	<b>62.742</b>	<b>89.737</b>	<b>134.811</b>	<b>154.697</b>	<b>350.794</b>	<b>603.258</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>-22.630</b>	<b>-23.449</b>	<b>-24.576</b>	<b>-30.749</b>	<b>-38.584</b>	<b>-51.289</b>	<b>-71.694</b>	<b>-105.396</b>	<b>-118.402</b>	<b>-263.893</b>	<b>-443.822</b>
• SUELDOS Y SALARIOS	-10.399	-10.775	-11.293	-14.130	-17.730	-23.559	-32.945	-48.432	-54.409	-120.856	-203.579
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.593	-11.751	-13.891	-17.434	-23.162	-32.390	-47.669	-53.491	-118.819	-200.144
• MANTENIMIENTO	-1.608	-1.666	-8.848	-2.185	-2.743	-3.644	-5.096	-7.500	-8.416	-18.694	-31.491
• OTROS	-0.400	-0.414	-0.459	-0.543	-0.682	-0.906	-1.267	-1.865	-2.092	-4.648	-7.830
<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>-3.873</b>	<b>-4.018</b>	<b>-4.217</b>	<b>-5.311</b>	<b>-6.672</b>	<b>-8.881</b>	<b>-13.243</b>	<b>-19.486</b>	<b>-21.928</b>	<b>-49.114</b>	<b>-82.849</b>
• COMBUSTIBLE	-3.680	-3.814	-4.230	-5.5001	-6.276	-8.338	-12.389	-18.234	-20.461	-45.444	-76.559
• CELDA	-0.193	-0.204	-0.987	-0.310	-0.396	-0.543	-0.845	-1.262	-1.467	-3.670	-6.290
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>-1.905</b>	<b>-1.336</b>	<b>-0.731</b>	<b>-0.162</b>	<b>9.922</b>	<b>2.591</b>	<b>4.770</b>	<b>9.920</b>	<b>14.367</b>	<b>38.677</b>	<b>77.193</b>
<b>IMPUESTOS</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>-0.415</b>	<b>-1.166</b>	<b>-2.160</b>	<b>-4.464</b>	<b>-6.465</b>	<b>-17.404</b>	<b>-34.736</b>
• ISR (35% UAI)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.323	-0.907	-1.680	-3.472	-5.028	-13.537	-27.017
• PTU (10% UAI)	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.092	-0.259	-0.480	-0.992	-1.437	-3.868	-7.719
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>-1.905</b>	<b>-1.336</b>	<b>-0.731</b>	<b>-0.162</b>	<b>9.507</b>	<b>1.425</b>	<b>2.610</b>	<b>5.456</b>	<b>7.902</b>	<b>21.270</b>	<b>42.455</b>

<b>TABLA 7.19 FLUJO DE EFECTIVO PARA RELLENO SANITARIO</b>											
<b>(MILES DE US\$ CONSTANTES)</b>											
<b>(2013M\$)</b>											
<b>CONCEPTO/AÑO</b>	<b>1986</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
<b>INGRESOS</b>											
• UTILIDAD NETA	-1.905	-1.284	-0.678	-0.078	0.297	0.629	0.833	1.172	1.510	1.830	2.169
• DEPRECIACIÓN	-10.223	-10.593	-11.751	-13.891	-17.434	-23.162	-32.390	-47.669	-53.491	-118.819	-200.144
<b>EGRESOS</b>											
• INVERSIÓN	-67.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	<b>-58.706</b>	<b>8.934</b>	<b>9.550</b>	<b>10.145</b>	<b>10.520</b>	<b>10.852</b>	<b>11.056</b>	<b>11.395</b>	<b>11.733</b>	<b>12.053</b>	<b>12.392</b>
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	<b>-58.706</b>	<b>-49.772</b>	<b>-40.222</b>	<b>-30.077</b>	<b>-19.557</b>	<b>-8.705</b>	<b>-2.351</b>	<b>-13.746</b>	<b>-25.479</b>	<b>-37.532</b>	<b>-49.924</b>
<b>(MILES DE US\$ CORRIENTES)</b>											
<b>INPC</b>	<b>121.78</b>	<b>125.4</b>	<b>125.99</b>	<b>132.54</b>	<b>136.05</b>	<b>139.55</b>	<b>142.97</b>	<b>146.36</b>	<b>144.76</b>	<b>153.11</b>	<b>156.42</b>
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	<b>-58.706</b>	<b>9.257</b>	<b>10.977</b>	<b>13.785</b>	<b>17.937</b>	<b>24.586</b>	<b>35.027</b>	<b>53.130</b>	<b>61.388</b>	<b>140.078</b>	<b>242.596</b>
<b>FLUJO ACUMULADO</b>	<b>-58.706</b>	<b>-51.574</b>	<b>-46.231</b>	<b>-40.868</b>	<b>-33.345</b>	<b>-19.722</b>	<b>7.448</b>	<b>64.092</b>	<b>133.309</b>	<b>436.192</b>	<b>977.35</b>



TABLA 7.20 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO PARA RELLENO SANITARIO					
VALOR DE VENTA USD\$/Kg	TASA DE INTERÉS %	VPN USD\$CTES.	VPN USD\$COR.	TIR USD\$CTES. %	TIR USD\$COR. %
0.0201	10	13.370		15	
	40		0.766		40.37
0.0223	0	41.606		0.95	
	30		19.82		36.3

Como puede observarse en los resultados obtenidos, el precio que cobraría una empresa por recoger los residuos del IMSS desde los 16 hospitales que servirían de almacén temporal hacia el relleno sanitario correspondiente sería de USD\$0.0201/Kg, es decir, USD\$20.11/TON.

Para establecer la alternativa que después del estudio realizado fuera la más conveniente para manejar los residuos plásticos especificados, se realizó una comparación de los resultados obtenidos para cada una de las alternativas propuestas para manejar los residuos plásticos manera de representar la comparación entre los resultados obtenidos para cada una de las tres alternativas propuestas para el manejo de los residuos en cuestión, para conocer cuál será la que resulta más conveniente, se presenta a continuación las bases de comparación resultado del estudio económico realizado:

TABLA 7.21 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LAS TRES ALTERNATIVAS.				
TASA DE INTERÉS %	VPN USD\$CTES.	VPN USD\$COR.	TIR USD\$CTES. %	TIR USD\$COR. %
<b>RECICLADO</b>				
10	29957.6		19.02	
40		16305.1		46.14
<b>INCINERACIÓN</b>				
Para esta alternativa no se realizó un estudio económico debido a que la tecnología necesaria para llevar a cabo una incineración de plásticos no se encuentra instalada en nuestro país. Por lo que el servicio no se le puede otorgar al IMSS, resultando que sea imposible realizar un análisis de costos para esta técnica.				
<b>RELLENO SANITARIO</b>				
0	-35213.97		8.93	
10		-184265.42		34.79

Como puede apreciarse al comparar los resultados del análisis económico el reciclado es la mejor alternativa que el IMSS puede realizar con sus residuos, dado que el VPN y la TIR son positivos y el de relleno sanitario resulta negativo por ser un egreso constante.

**CONCLUSIONES**

---

## CONCLUSIONES

En general los residuos plásticos no peligrosos procedentes de unidades médicas se disponen en rellenos sanitarios principalmente porque al encontrarse mezclados, se consideran basura y la forma más sencilla de manejarlos es mediante la disposición final, pero si los residuos no se mezclan es posible encontrarles un valor utilitario en la sociedad o en su defecto, disminuir el impacto causado al Ambiente.

De esta forma el IMSS pretende establecer como política interna en un futuro no muy lejano, el separar los residuos dentro de sus instalaciones, en el momento mismo de su generación, para de esta forma no producir basura, derivar a la industria aquellos materiales de residuo que sea factible su recuperación, para aumentar el tiempo de vida útil de estos materiales y contribuir a la conservación del Ambiente, disminuyendo a su vez, la explotación de los recursos naturales que sirven como materia prima en los diferentes procesos productivos, y por último disminuyendo también la cantidad de residuos a los que tendría que dar disposición final.

Por otra parte, en la actualidad, el IMSS contrata un servicio particular para realizar la recolección de todos sus residuos así como la disposición de los mismos en el relleno sanitario de Bordo Poniente, por lo cual de continuar haciéndolo tendría que, invariablemente seguir realizando dicho pago, esto sin tomar en cuenta el tiempo de vida que le resta a los dos rellenos con que cuenta el DDF. en estos momentos, o que la reglamentación en materia de impacto ambiental se restringiera en el mediano plazo, es por esto que el pensar en nuevas alternativas para el manejo de los residuos es por todo esto una obligación.

De esta forma, la incineración de residuos (basuras), ocasionaría al Instituto también, un desembolso, porque se trataría de un servicio que contrataría, no así si se explotara su poder calorífico, lo cual como en su oportunidad se analizó, no se está efectuando en la actualidad en nuestro país y se tendría que investigar, pero quizás el inconveniente mayor para esta opción sea el que se refiere al transporte, porque se estaría transportando volumen y no peso, y todavía habría que establecer la localización de la industria cementera interesada en realizar dicho estudio y evaluar la relación costo-beneficio.

Pudiera parecer que para el caso de reciclado se tienen los mismos inconvenientes, básicamente porque en la actualidad, en nuestro país este tipo de residuos no se están reciclando, y no se conoce la localización de la industria que los recuperaría, pero a este respecto se tiene el antecedente de que dicha industria se localizaría en el D.F. o en su zona conurbada, y de que al reciclar, si bien no se obtiene ganancias por la venta de los residuos, sí se lograría un ahorro considerable en el presupuesto destinado a su disposición, además de los beneficios no tangibles que obtendría dicha Institución como imagen, y obviamente la contribución al mejoramiento del ambiente.

Es por esto que de las tres técnicas analizadas a lo largo de este documento únicamente nos resta concluir que:

El reciclado de residuos plásticos procedentes de las unidades médicas del IMSS en el D.F., es en el corto plazo, la mejor opción tanto para disminuir los costos por manejo de los mismos, como para atenuar el impacto ambiental ocasionado por este sector de la sociedad.



**ANEXOS**

---

## ANEXO 1

**CELDA ESPECIAL PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS  
PELIGROSOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS.****1. SELECCIÓN DEL SITIO.****1.1 PROFUNDIDAD DEL MANTO FREÁTICO.**

Deberá estar a una profundidad vertical mayor de 15 m del nivel freático.

**a) Zona de recarga.**

Deberá estar a una distancia mayor de 1 km y aguas abajo de la zona de recarga de acuíferos o fuentes de abastecimiento de agua potable.

**b) Ubicación con respecto a la zona de fracturación.**

Deberá ubicarse a una distancia horizontal de 100 m como mínimo del límite de la zona de fracturación o falla geológica.

**c) Características de los estratos del suelo.**

Las características físicas de los estratos del suelo se deberán conocer a través del estudio geofísico correspondiente, aplicándolo hasta una profundidad de 120 m.

**d) Características del suelo.**

Deberá reunir condiciones tanto de impermeabilidad como de remoción de contaminantes, representadas éstas por el coeficiente de permeabilidad de  $1 \times 10^{-5}$  cm/seg y por la capacidad de intercambio catiónico de 30 meq/100 g de suelo.

**1.2 MATERIAL PARA COBERTURA.**

Se deberá contar con un mínimo de 25% de material de cubierta en relación al volumen de los residuos a disponer diariamente.

**1.3 UBICACIÓN CON RESPECTO A CUERPOS DE AGUA.**

Deberá ubicarse a una distancia mayor de 1 km de las zonas de inundación, cuerpos de agua y corrientes naturales.

**1.4 UBICACIÓN CON RESPECTO A CENTROS DE POBLACIÓN Y VÍAS DE ACCESO.**

Estará ubicado a una distancia mayor de 500 m del área urbana; a una distancia mayor de 70 m de las vías de comunicación terrestre, a una distancia mayor de 3 km de áreas naturales protegidas y aeropuertos, así como respetar el derecho de vía de 20 m de cada

lado de líneas de conducción de energía eléctrica, oleoductos, poliductos, gaseoductos y a una distancia mayor de 150 m de áreas de almacenamiento de hidrocarburos.

### 1.5 TOPOGRAFÍA.

El sitio destinado para la celda de residuos peligrosos biológico-infecciosos deberá contar con:

- a) La pendiente media en la base del terreno natural del sitio no mayor del 30%.

### 1.6 LIMITACIÓN.

No se podrá operar un sitio en zona fracturada.

### 1.7 ESTUDIO GEOFÍSICO.

Para determinar las estructura, zonas y capas acuíferas, así como la diferencia de materiales permeables e impermeables y fijar espesores y posición de unos y otros, efectuando sondeos eléctricos verticales a una profundidad de 120 m, su número estará en relación a las hectáreas con que cuenta el sitio.

HECTÁREAS	No. DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES
1 - 4	3
4 - 9	5
9 - 15	7
15 - 21	10
21 - 50	12
más de 50	20

### 1.8 ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO.

Para conocer la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, así como la velocidad, dirección, velocidad del escurrimiento o flujo de la misma y su composición.

### 1.9 POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS.

Los sistemas de monitoreo para lixiviados deberán contar con dos pozos de muestreo situados, uno en la dirección de las aguas subterráneas a 150 m antes de llegar al sitio y otro 150 m aguas abajo del sitio.

## 2. CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA.

2.1 La celda deberá ser impermeabilizada artificialmente en la base y los taludes, con objeto de evitar el flujo de lixiviados.

2.2 Se utilizarán membranas de polietileno de alta densidad, con un espesor mínimo de 1.5 mm.

2.3 La construcción de la celda deberá contar con los sistemas de captación y monitoreo de lixiviados, así como de biogas.

2.4 Deberán contar como mínimo con las siguientes obras complementarias: caminos de acceso, básculas, cerca perimetral, caseta de vigilancia, drenaje pluvial y señalamientos.

### **3. OPERACIÓN.**

#### **3.1 EN LA ZONA DE DESCARGA SE DEBERÁ:**

a) Antes del depósito de los residuos aplicarse una solución de cal, en proporción 3:1 a razón de 10 litros por metro cuadrado.

b) La descarga de los residuos deberá realizarse mediante sistemas mecanizados.

c) Una vez depositados los residuos deberá aplicarse un baño con la solución de cal indicada en el punto (a).

d) En caso de presencia de insectos, deberá aplicarse un insecticida para su eliminación.

3.2 Los residuos deberán compactarse, con objeto de reducir el volumen y prolongar la vida útil de la celda. Para ello será necesario la ayuda de maquinaria pesada.

3.3 Al final de la jornada, los residuos deberán ser cubiertos en su totalidad con una capa de arcilla compactada, con un espesor mínimo de 30 cm.

3.4 Los vehículos deberán desinfectados antes de abandonar el sitio de disposición, así mismo la maquinaria deberá ser desinfectada al final de cada jornada.

3.5 Deberá llevarse un registro diario de la cantidad, procedencia y ubicación de los residuos depositados.

### **4. MONITOREO Y CONTROL.**

4.1 Se deberá realizar el monitoreo de aguas subterráneas cada 6 meses para verificar la presencia de lixiviados.

4.2 Cuando como consecuencia del monitoreo se detecte la existencia de lixiviados, estos deberán extraerse de los pozos correspondientes para su análisis, tratamiento y posterior confinamiento, conforme a las normas oficiales correspondientes.



4.3 Los operarios de las celdas especiales deberán contar con el equipo necesario de protección personal que establezcan las disposiciones aplicables y las normas oficiales de seguridad correspondientes.

4.4 Se deberá contar con un programa de atención a contingencias, desarrollado específicamente para estos casos de contingencias y desastres que pudieran ocurrir en las instalaciones y al realizar cualquiera de las actividades propias de la operación.

## ANEXO 2

### MÉTODOS DE SEPARACIÓN Y RECICLADO DE RESIDUOS PLÁSTICOS.

#### 1. PROCESOS DE SEPARACIÓN.

Los procesos de separación pueden realizarse en forma manual, cuando dicho proceso es muy simple por el tipo de material de interés y las condiciones en que se encuentra; pero cuando la cantidad del material a recuperar es muy grande y la separación es difícil es preferible emplear los métodos mecánicos de separación, los que pueden ser secos o húmedos, los primeros son por lo general más simples, requieren de menor energía y son también económicos, pero ocasionan problemas de contaminación ambiental. Los procesos vía húmeda son más convenientes, debido a que generan materiales más puros y uniformes.

##### 1.1 SEPARACIÓN DE MEZCLAS PLÁSTICO-PAPEL.

El problema principal que presenta esta separación es la semejanza en el comportamiento aerodinámico de los dos materiales.

Los métodos analizados para la separación de papel de un plástico son las siguientes:

- Separación mediante aplicación de calor.
- Separación electrodinámica.

##### a) Separación mediante aplicación de calor.

El método aquí presentado fue desarrollado por el departamento de agricultura de Estados Unidos, y consiste en un cilindro cromado el cual se calienta con electricidad, ubicado dentro de un tambor rotatorio que tiene unas paletas para garantizar el contacto del material con el cilindro. El tambor y el cilindro giran en sentidos opuestos, el material plástico fundido dentro del cilindro, es retirado mediante un rastrillo que está integrado en la parte superior del cilindro.

Por medio de este método se separa alrededor de un 90% del plástico contenido en la mezcla y posee una pureza del 95%.

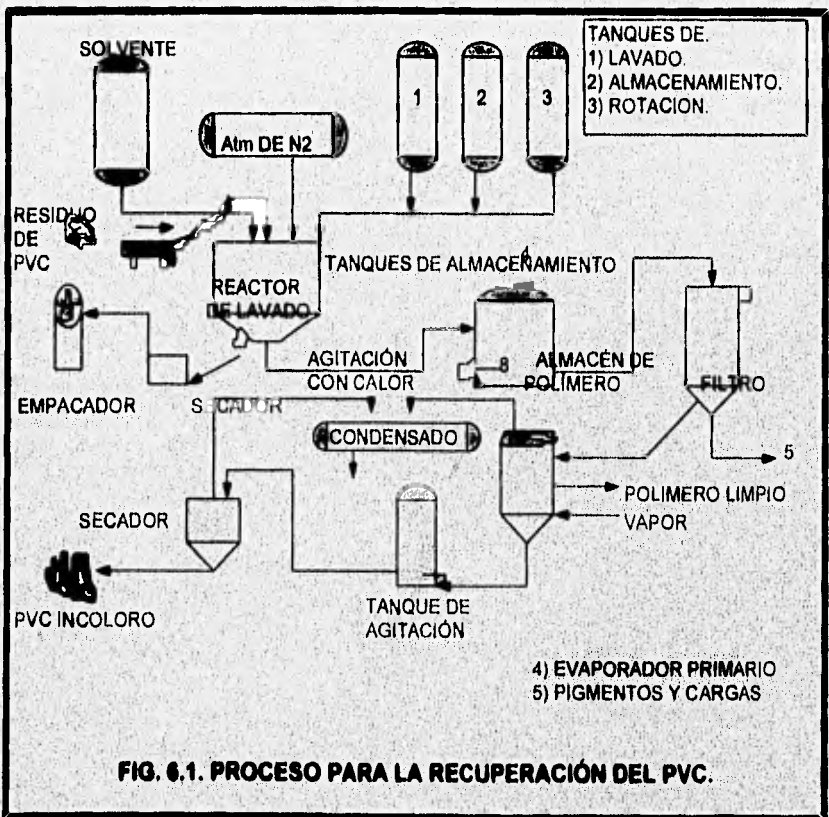
##### b) Separación electrodinámica.

La separación por este método inicia con la alimentación de la mezcla en un alimentador vibratorio, después del cual cae a un tambor rotatorio de molienda, a un lado de este se encuentran los electrodos, el papel se conduce con los giros del tambor hacia el electrodo, y el plástico se adhiere al tambor donde se recupera por medio del rastrillo.

## 1.2 SEPARACIÓN DEL PLÁSTICO DE TEJIDOS RECUBIERTOS.

Este proceso de separación se emplea principalmente para la recuperación del policloruro de vinilo PVC, y el producto resultante de este método presenta tanta pureza como la resina original.

El proceso FIBER-PROCESS INC., se basa en la extracción de disolventes (fig. 1). En este proceso el material a reciclar se corta en trozos y se coloca en un recipiente sellado, se agrega el solvente THF en presencia de un gas inerte que evita la degradación del material. A continuación el recipiente se calienta hasta una temperatura cercana a la de ebullición del THF, la resina se disuelve en el solvente y se transfiere a un tanque de almacenamiento. Por otra parte es necesario realizar tres lavados para completar la extracción. A continuación la solución polimérica se filtra para la eliminación de aditivos, posteriormente pasa a un evaporador donde se concentra para finalizar con el secado, el que se realiza mediante evaporación al vacío.



### 1.3 SEPARACIÓN DE MEZCLAS DE PLÁSTICOS.

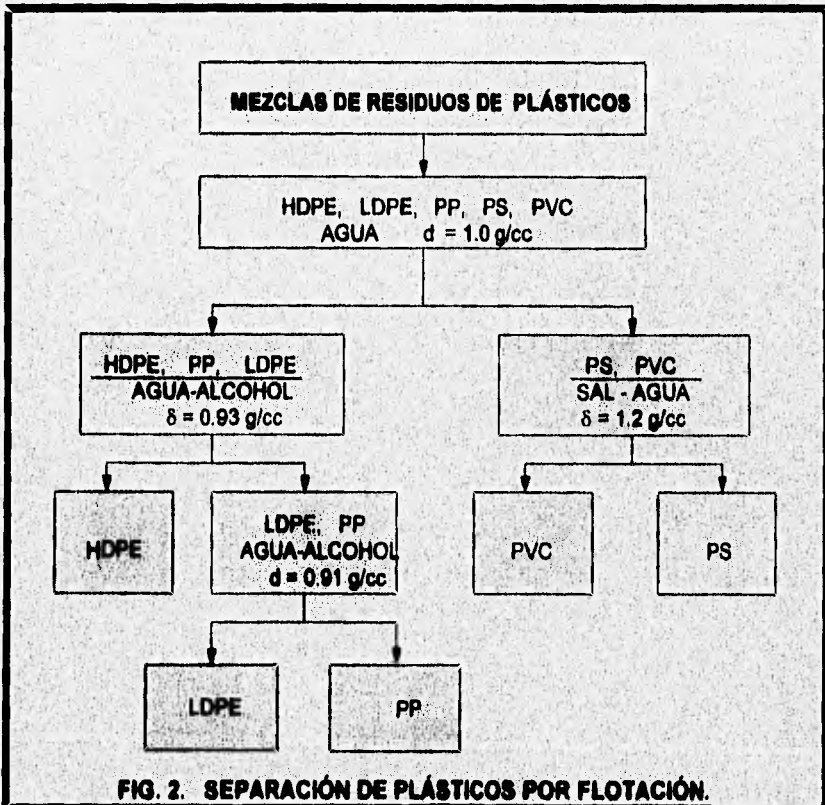
Los procesos para la separación del plástico se agrupan en:

- Métodos de flotación.
- Diferencias de tensión superficial.
- Extracción con disolventes.

Cabe aclarar que estos métodos de separación pueden emplearse cuando la mezcla de residuos está constituida por dos o tres tipos de plásticos, por lo que su utilización en la separación de mezclas con un mayor número de componentes es muy cuestionable.

#### a) Separación por flotación.

Este método se basa en la diferencia de densidades de los plásticos, lo que permite su separación en grupos genéricos mediante flotación, y las soluciones mayormente empleadas son las salinas y las alcohólicas (fig. 2).





### b) Separación mediante humectación selectiva (TENSIÓN SUPERFICIAL).

Se puede seleccionar la capacidad de humectación de los plásticos agregando agentes tensoactivos, de esta forma el ángulo de contacto disminuye al aumentar la concentración del agente tensoactivo, además la acción de estos agentes es diferente para los distintos materiales plásticos, ocasionando que ésta diferencia sea aprovechada para realizar una separación por flotación.

Las condiciones que deben de reunir los sistemas de separación por flotación son:

- Producir las burbujas de aire en el tamaño adecuado para que se logre una flotación uniforme de los materiales plásticos.
- Realizar el procedimiento con agitación, para evitar la sedimentación.
- El flujo del agua en la zona de separación no debe ser turbulento.
- La superficie del agua debe estar limpia y estable.

El tiempo requerido para la separación varía entre los 2 y 10 minutos, pero su eficiencia es muy aceptable, además el agua empleada en su separación puede ser reciclada al sistema.

### e) Separación con disolventes.

Dada la incompatibilidad entre los diferentes polímeros, al mezclarse forman fases separadas e incluso al utilizar solventes afines a varios tipos de polímeros, son formadas fases separadas con cada uno de los polímeros puros. Se ha estudiado la posibilidad de la separación de poliolefinas, poliestireno y PVC con varios disolventes, y se observó que la mezcla de ciclohexanona y xileno es un sistema eficaz. Los resultados óptimos de este proceso depende de la composición de los solventes, la temperatura, la mezcla de los plásticos y la relación solvente/alimentación.

## 2. TECNOLOGÍA PARA EL RECICLADO DE PLÁSTICOS.

Para la realización del reciclado de plásticos se requiere conocer la tecnología utilizada para su reprocesado. Revisando la bibliografía encontramos que esta inquietud por hacer de los materiales de desecho, materiales útiles con viabilidad económica y beneficios sociales tiene varias décadas desarrollándose, principalmente en países europeos como Alemania, Francia y Holanda, y en Estados Unidos de Norteamérica.

Para conocer la tecnología desarrollada se realizaron investigaciones de patentes nacionales (BANAPA), europeas (ACCESS) y norteamericanas (CASSIS) en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), encontrando que como tales no se encuentran bien especificadas, describiendo a continuación aquellas que por su manejo de residuos se están desarrollando.

## 2.1 PROCESO Y APARATO PARA RECICLADO DE RESIDUOS POLIMERICOS<sup>(12)</sup>

Los productos de desecho que utiliza este proceso deben consistir exclusivamente de aquellos que contengan PVC. Consiste en un método utilizado para la conversión y disposición de pequeños volúmenes, realizada por medio de una extrusión degradativa entre 250 y 400 ° C. A estas temperaturas el cloro es dividido y recuperado como HCl, reutilizándolo en la elaboración de nuevos monómeros. El material plástico libre de halógenos es licuado por un extrusor, método conocido como extrusión degradativa. En este proceso es recuperable la resina y los aditivos que integran al PVC.

## 2.2 PROCESO DE LA IPPI PARA LA RECUPERACIÓN DE PVC Y HDPE<sup>(40)</sup>

En Estados Unidos está afianzándose la idea de utilizar la tecnología para convertir la mezcla de residuos plásticos, en productos aptos para su moldeo. Una nueva compañía, la Innovative Plastic Products Inc. (IPPI), tiene una planta que emplea una tecnología bajo la licencia de la Recyclingplac Inc.. En el proceso una mezcla de residuos limpios se emplea como materia prima para que después de su fundido se obtenga material para la elaboración de láminas moldeadas por compresión y otros tipos de estructuras.

La tecnología de reciclado de plásticos que la IPPI mantiene, es capaz de procesar los residuos a velocidades tan elevadas como los procesos de reciclado similares y emplearlas en forma más racional que los sistemas convencionales.

Esta tecnología consiste en una máquina plastificadora bajo patente, que aprovecha el calor de fricción durante el transporte y posteriormente mezcla las distintas fracciones de residuos en una mezcla relativamente homogénea, en donde las partículas más pequeñas quedan integradas a la mezcla total. La mezcla final de residuos debe ser homogénea y puede presentar PVC o POLIETILENO ALTA DENSIDAD. Las temperaturas de procesamiento para el producto conteniendo PVC están sobre los 160 °C, lo cual tiene en cuenta la gran capacidad de degradación del polímero. Durante las operaciones se destruyen las sustancias nocivas y las bacterias, eliminándose los humos peligrosos. La mezcla final es extruida en forma cilíndrica para moldearla por compresión. Se afirma que el proceso de la IPPI puede tratar más de 2000 lb/h de residuos plásticos, presentando algunas ventajas sobre otros sistemas desarrollados.

## 2.3 PROCESAMIENTO PARA EL RECICLADO DE POLIOLEFINAS.

El tratamiento realizado a este tipo de material cuando se encuentra prácticamente limpio consiste básicamente en las siguientes etapas:

- Molienda o Granulado.
- Lavado/Separación.
- Compactación.
- Paletizado.
- Modificación por medio de aditivos.

**Molienda.** Las piezas de gran tamaño, cuerpos huecos, duros o filmes requieren de sistemas de corte de acuerdo a su forma y tamaño, para alcanzar un tamaño de granulado que posteriormente se integre en el proceso de reciclado. Para la realización de esta etapa los equipos comunmente empleados se fundamentan en la aplicación de fuerzas mecánicas de tracción, compresión y cizalla y varían entre molinos de cuchillas, de discos, de martillo, cortadores, pulverizadores de engranes y giratorios.

**Lavado/Separación.** El lavado de los materiales se realiza con soluciones detergentes alcalinas, para la eliminación de impurezas como polvo, residuos orgánicos, etc. La etapa de la separación se realiza a partir del aprovechamiento de las propiedades físicas de los principales componentes de cada material, como son el tamaño de la partícula, su densidad, electromagnetismo. Los métodos de separación pueden ser por gravedad, electromagnéticos, neumáticos y electrostáticos.

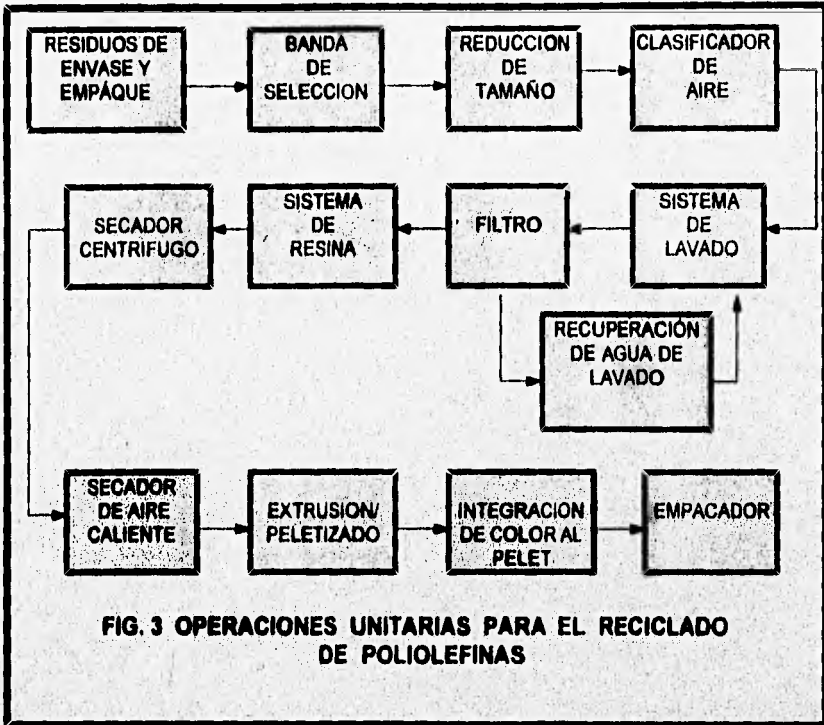
**Compactado.** Se aplica a los residuos plásticos con formas de película, fibras y materiales espumados, los cuales por su baja densidad, requieren de equipos especiales que funcionan a elevadas velocidades dando como consecuencia un incremento en la temperatura de molienda, ocasionando aglomeración de material. La etapa de compactado está integrada por un molino y compresores antepuestos al compactador.

**Pelletización.** El proceso del pelletizado es realizado por un dado extrusor a base de un plato perforado con orificios de aproximadamente 2 mm, por donde se obtiene el plástico fundido y homogeneizado. Posteriormente el plástico es cortado por medio de cuchillas a la cabeza del dado extrusor, método al que se le conoce como "pelletizado en caliente"; otra manera es cuando el plástico sale del dado en forma de tiras y es enfriado en canaletas con agua para posteriormente cortarlo, llamándose "pelletizado en frío".

**Modificación con aditivos.** El empleo de aditivos es para mejorar en muchos casos, el comportamiento de los plásticos recuperados. Los aditivos que pueden utilizarse para la reformulación de los plásticos reciclados con cargas, agentes de acoplamiento, antioxidantes, estabilizadores de luz ultravioleta, modificadores de impacto, agentes desmoldantes y retardantes de flama.

En el diagrama (Fig. 3) se resumen las etapas principales para el reciclado de materiales plásticos hasta la obtención de su pelletizado, que es una de las formas más comunes de comercializar el plástico reciclado.

Para ello la tecnología conocida y empleada en México se encuentra con poco desarrollo, pero la existente está dirigida a alcanzar nuevas oportunidades en el mercado para sus materiales (pellets c/s color) y productos desarrollados a partir de plástico reciclado, consistente en una amplia gama de productos útiles en las labores de limpieza para el hogar, tarimas de carga, macetas, etc.

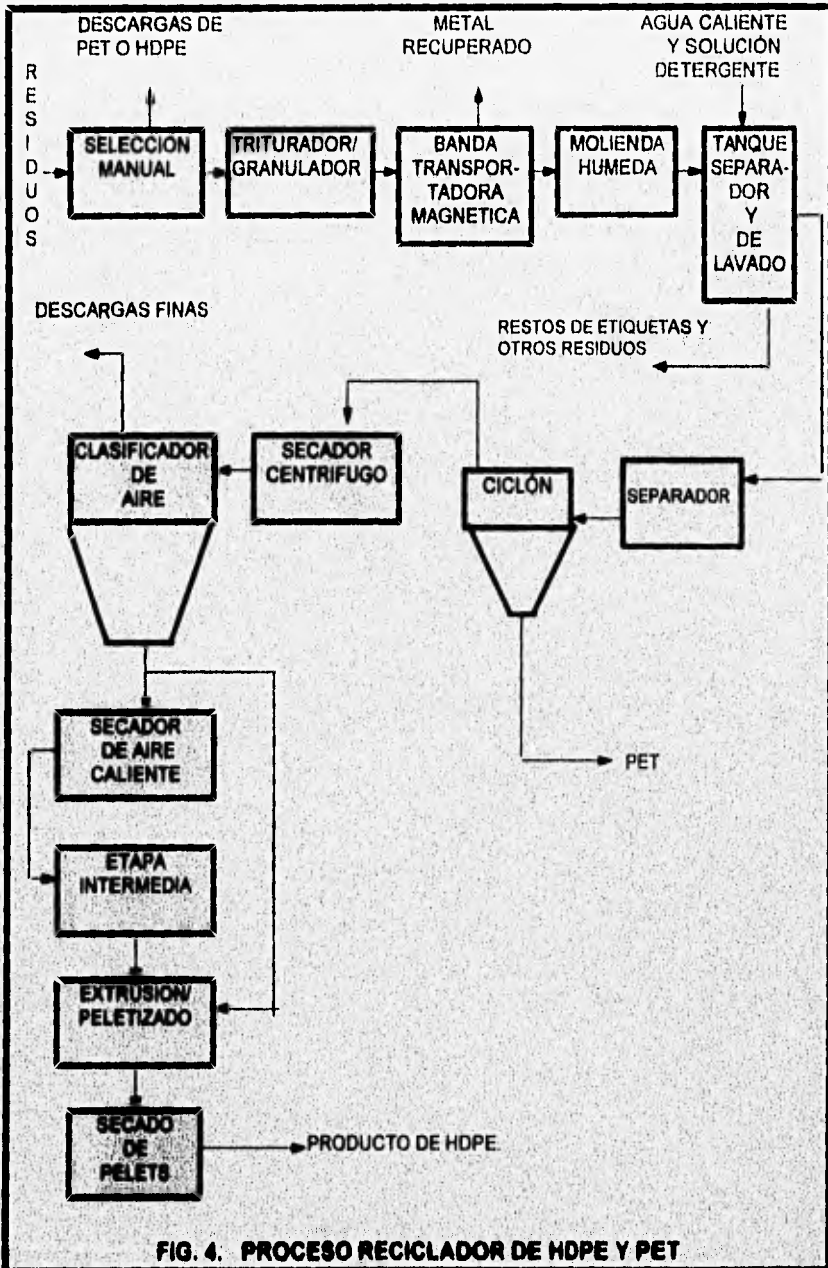


Otro proceso que actualmente se practica para la recuperación de mezclas de polietileno y polietilentereftalato es el que se muestra en la figura 4., consistente en una selección de materiales para posteriormente obtener el residuo granulado, que son trozos de un gran tamaño. Para reducir este material granulado se debe pasar por un molino vía húmeda lavándolo y separándolo de otros materiales ajenos al plástico, como etiquetas, adhesivos, etc. Al material libre de impurezas se le extrae el exceso del agua de lavado por medio de un secador centrífugo y se seca con aire caliente, para finalmente pasarlo a la última etapa que es la extrusión para la obtención de la materia prima comercial conocida como pellets.

#### 2.4 PROCESO RECIKOPLAST.

Este proceso está funcionando actualmente en Alemania, consiste en la clasificación de los residuos plásticos en un extrusor especial, previa molienda y separación de las fracciones flexibles y rígidas de plásticos. Posteriormente a la extrusión se realiza el moldeado por compresión a altas presiones del material fundido. Este proceso es capaz de reciclar HDPE, LDPE, PP y PET aún mezclados, aunque resulta ser un proceso de alto costo.





### 3. FUTURO DE LOS PLÁSTICOS RECICLADOS.

El reciclado de plásticos consigue buscar un mercado económicamente viable para los productos generados a partir de ellos, actualmente en México se realizan una gran variedad de productos de plástico reciclado como macetas, cubetas, contenedores de basuras, ganchos para ropa, tarimas, suelas para zapato, entre otros y que como se puede observar son productos que no tienen contacto directo con el hombre, y cuidando que no se utilice como materiales de empaque en productos alimenticios. Con el desarrollo de esta diversidad de productos se están otorgando beneficios económicos y sociales al ser reducida la cantidad de residuos sólidos destinados a rellenos sanitarios.

El reciclado proporciona materia prima que es posible emplearla en procesos productivos donde no se exige la utilización de material virgen, consiguiendo de esta manera una reducción en los costos del producto final elaborado. Cabe señalar que actualmente la empresa que se encarga de la producción nacional de los monómeros necesario para la elaboración de plásticos es PEMEX, y que la demanda supera a la oferta, por lo que al recurrir al empleo de material reciclado puede ser una solución a esta restricción en el mercado.

Esta técnica está dirigida a alcanzar un abaratamiento en las materias primas, abrir nuevas oportunidades de mercado a los productos fabricados por las industrias recicladoras y reducir el consumo de recursos naturales, manteniendo igualmente una conciencia ecológica al observar que es posible la reutilización de materiales de postconsumo, en este caso los "plásticos".

## ANEXO 3

**ANÁLISIS DE MERCADO PARA EL RECICLADO DE LOS PLÁSTICOS GENERADOS EN UNIDADES MÉDICAS.**

El propósito de mostrar el comportamiento de la oferta y la demanda de las principales resinas plásticas, es debido a que la manufactura de un gran número de artículos se realiza a partir de éstas. Las resinas sintéticas se clasifican con base a su volumen de consumo, dentro de las de gran consumo (comodities) se identifican al PVC, LDPE, HDPE, PP y PS; destacando de un segundo grupo la familia de las resinas acrílicas, alquímicas, poliuretano, ABS, poliéster y PET grado botella.

Los segmentos de consumo en el mercado nacional de las principales resinas fueron: envases y empaques con un 54 %, construcción 13%, artículos desechables 9.6%, artículos del hogar 4.8% y el 18.6% restante se distribuye en diversos sectores<sup>1</sup>.

en esta sección se presenta la información de 4 resinas sintéticas, que corresponden a las de mayor generación como residuo en las unidades médicas estudiadas, y como podrá observarse la producción actual de las mismas resulta insuficiente, por lo que se hace necesario importarlas, a excepción del PVC.

Para reducir el volumen de las importaciones en cuanto a resinas se refiere, el reciclado de plásticos puede ser una buena alternativa.

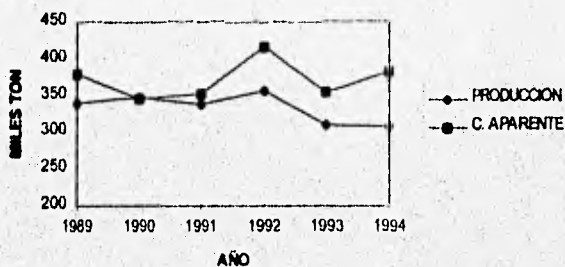
Aunque el reciclado de plásticos es tecnológicamente posible, en la práctica puede no serlo tanto si no existe una adecuada comunicación y cooperación entre la población, gobierno e industria.

---

<sup>1</sup>Anuario estadístico de la Asociación Nacional de Industrias Químicas (ANIQ), 1994

## GRÁFICOS DEL COMPORTAMIENTO DE ALGUNOS PLÁSTICOS EN EL MERCADO

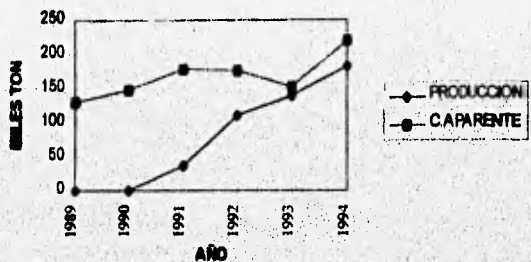
### POLIETILENO BAJA DENSIDAD



TONELADAS/AÑO	1988	1989	1990	1991	1992	1993
PRODUCCIÓN	317101	340101	347.03	337211	354817	308000
IMPORTACIÓN	21302	39380	24805	33592	88830	54551
EXPORTACIÓN	0	46	27076	18828	7168	8437
C. APARENTE	338403	379435	345532	351975	416479	354114
INCREMENTO C.A.	29.1	12.1	-8.9	1.9	18.3	-15.0
CAP. INSTALADA	309000	309000	309000	309000	309000	309000

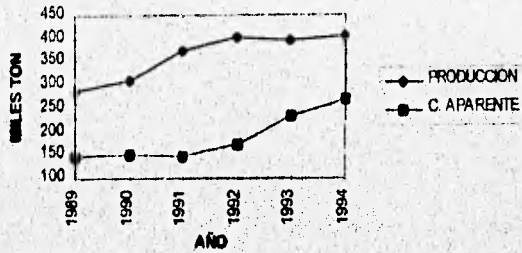


## POLIPROPILENO



COMPORTAMIENTO ECONOMICO DEL POLIPROPILENO.						
TONELADA/AÑO	1988	1989	1990	1991	1992	1993
PRODUCCION	0	0	0	38045	111749	130379
IMPORTACION	11870	131238	147729	148842	94863	37789
EXPORTACION	0	1232	0	3996	31436	25317
C. APARENTE	11870	130006	147729	178891	175178	151861
INCREMENTO C.A.	-3.7	16.4	13.6	21.1	-2.1	-13.3
CAP. INSTALADA	0	0	0	100000	250000	250000

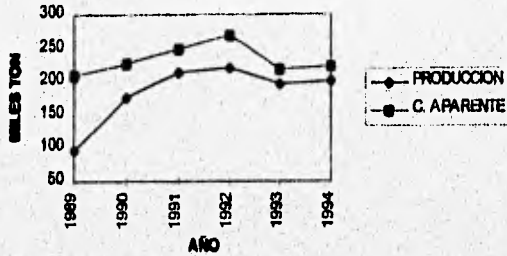
## POLICLORURO DE VINILO



## COMPORTAMIENTO ECONÓMICO DEL POLICLORURO DE VINILO.

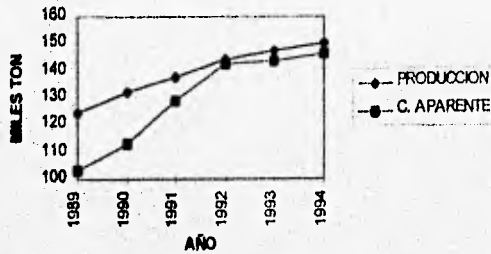
TONELADAS/AÑO	1988	1989	1990	1991	1992	1993
PRODUCCIÓN	272866	287536	309201	375008	401866	394511
IMPORTACIÓN	5977	12665	11500	14776	15609	6823
EXPORTACIÓN	148867	151699	170074	242479	244902	166847
C. APARENTE	129756	146402	150627	147305	172473	234487
INCREMENTO C.A.	2.2	14.4	1.5	-2.2	17.1	36.0
CAP. INSTALADA	308000	308000	308000	398000	458000	437000

## POLIETILENO ALTA DENSIDAD



COMPORTAMIENTO ECONÓMICO DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.						
TONELADAS/AÑO	1988	1989	1990	1991	1992	1993
PRODUCCIÓN	81717	97134	175674	212764	220107	197000
IMPORTACIÓN	75995	112414	105787	112340	115727	78224
EXPORTACIÓN	498	380	54949	75055	66968	57698
C. APARENTE	157214	209168	226492	250049	268868	217528
INCREMENTO C.A.	18.9	33.0	8.3	10.4	7.5	-19.1
CAP. INSTALADA	100000	150000	200000	200000	200000	200000

## POLIESTIRENO



## COMPORTAMIENTO ECONÓMICO DEL POLIESTIRENO.

TONELADAS/AÑO	1988	1989	1990	1991	1992	1993
PRODUCCIÓN	125528	124703	132444	137746	144005	147435
IMPORTACIÓN	9282	14853	15731	22000	27256	27887
EXPORTACIÓN	47395	36059	35244	31013	28882	31883
C. APARENTE	87415	103297	112931	128733	142579	143459
INCREMENTO C.A.	-4.7	18.2	9.3	14.0	10.8	0.6
CAP. INSTALADA	185500	199700	199700	219700	219700	219700

Para conocer la situación actual del reciclado de residuos plásticos en México, se inició investigando en CANACINTRA, ANIPAC, DDF e IMPI sobre las industrias que trabajan con residuos plásticos de origen municipal, porque como en su oportunidad se explicó, los residuos plásticos del IMSS pertenecen a esta categoría, desafortunadamente, los datos que tienen a este respecto son muy reducidos, por lo que además se buscó la ayuda de grupos ecologistas para reunir las direcciones de las industrias dedicadas al reciclaje de residuos plásticos de origen municipal que se tenían registradas hasta esos momentos operando en el valle de México.

De esta forma se integró una lista de 25 industrias, a las cuales se entrevistó para conocerlas y presentarles esta inquietud por reciclar los residuos plásticos no peligrosos procedentes de las unidades médicas del IMSS, en el D.F. y obtener sus impresiones ya que se trata de una mezcla de diferentes tipos de plásticos que presentan impurezas



propias dado el uso que recibieron como; remanentes de soluciones y fármacos, etiquetas, cinta adhesiva e incluso residuos de alimentos.

Para la entrevista, se preparó un muestrario con los artículos que integrarían la mezcla de residuos plásticos provenientes de unidades médicas del IMSS, y a cada industria entrevistada se le proporcionó el resultado del estudio de composición realizado para tal efecto, (ver capítulo 5), además de dejarles la información referente al programa de separación de residuos, y se les invitó a visitar las unidades médicas donde se estaba probando dicho programa, esto con la finalidad de que conocieran en forma más amplia y práctica, la situación que se les planteó, es decir "reciclar los residuos plásticos no peligrosos del IMSS"

Cabe aclarar que por higiene, los artículos mostrados a los industriales no contenían remanentes, porque se trató de artículos nuevos o sin usar, pero siempre se hizo hincapié en que contendrían los remanentes propios de su uso.

Por otra parte, la entrevista se realizó mediante un cuestionario cerrado, el cual constó de 10 preguntas, y cuyo formato se muestra en la siguiente tabla

**NOMBRE DE LA EMPRESA;  
DIRECCIÓN;  
NOMBRE DE LA PERSONA RESPONSABLE**

**CUESTIONARIO:**

- 1.- EXPERIENCIA EN EL RECICLADO.
- 2.- TIPOS DE PLÁSTICO QUE RECICLA.
- 3.- TIPO DE RESIDUOS CON QUE TRABAJA.
- 4.- CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LOS RESIDUOS.
- 5.- SISTEMA DE RECOLECCIÓN QUE EMPLEA.
- 6.- PRODUCTOS QUE FABRICA.
- 7.- PROCESOS QUE EMPLEA PARA REALIZAR EL RECICLADO.
- 8.- CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA.
- 9.- PRECIO AL QUE ADQUIERE LOS RESIDUOS.
- 10.- PRECIO ESTIMADO PARA LOS RESIDUOS DEL IMSS.
- 11.- COMENTARIOS SOBRE EL PROGRAMA DE SEPARACIÓN.
- 12.- COMENTARIOS SOBRE LOS RESIDUOS PRESENTADOS.

Una vez realizadas las entrevistas, se procedió a analizar los cuestionarios y los resultados obtenidos se trabajaron en dos partes, la primera se refiere a la situación de las industrias entrevistadas, y la segunda es sobre la opinión que se tiene tanto de el programa de separación de residuos, como de los residuos mostrados.

Los resultados obtenidos mediante la entrevista directa fueron:

## PARTE PRIMERA: SITUACIÓN ACTUAL DE LAS EMPRESAS ESTUDIADAS.

De la entrevista realizada a las 25 empresas se pudo observar que:

- a) El 24% quebró o cambió de giro.
- b) El 8% recicla exclusivamente los residuos que sus mismos procesos generan.
- c) El 68% se dedica al reciclaje de residuos industriales o de origen municipal.

y es precisamente a estas últimas a las que se refiere el estudio realizado.

### CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.

Con base a la capacidad productiva de las empresas estudiadas se les clasificó en las siguientes categorías:

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LAS EMPRESAS ESTUDIADAS		
CAPACIDAD (ton/día)	TAMAÑO	%
161 A 400	GRANDE	6.0
100 A 160	MEDIANA	41
40 A 99	PEQUEÑA	24
10 A 39	MICRO	29
TOTAL		100

con lo que pudo apreciarse que la mayoría de las empresas que reciclan son de tipo mediano.

### EXPERIENCIA EN EL RECICLADO.

El tiempo que tienen estas empresas reciclando es muy variable ya que existen empresas que se han iniciado en este giro muy recientemente (de 1 a 4 años), pero el promedio general es de 13 años.

### TIPOS DE PLÁSTICO QUE RECICLAN.

Para esta sección se agrupó a las industrias en base a los tipos de materiales que reciclan, para obtener aquellos de mayor interés en este mercado. De esta forma los resultados aquí presentados corresponden a los tipos de plásticos más reciclados y son en orden decreciente:

- 1.- Polietileno de baja densidad.
- 2.- Polipropileno.
- 3.- Policloruro de vinilo.
- 4.- Polietileno de alta densidad, poliestireno (sin expandir), PET y ABS.
- 5.- Poliuretano.

#### ORIGEN DE LOS RESIDUOS EMPLEADOS.

En cuanto a el origen se observó que:

- a) El 35% trabaja únicamente con residuos industriales.
- b) El 59% trabaja con residuos tanto industriales como municipales.
- c) El 6% trabaja con pelet o granulado, de material reciclado como materia prima.

#### CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS DE LOS RESIDUOS PARA EFECTUAR EL RECICLADO.

Este punto se refiere a las condiciones de separación y limpieza con las que la industria adquiere los residuos, para iniciar su recuperación.

Es necesario aclarar que el proceso de reciclado, en la mayoría de las empresas visitadas, independientemente de que trabajen con varios tipos de plásticos o no, se efectúa para cada tipo de plástico por separado, para no alterar sus propiedades y limitar su posterior utilización, de manera que si adquieren los residuos sucios o mezclados es porque cuentan con el suficiente personal para realizar dicha separación y limpieza previos al procesamiento.

Por otra parte las empresas que trabajan con mezclas de plásticos, deben conocer la composición de esta para controlar sus propiedades, térmicas y mecánicas, principalmente.

Respecto a las condiciones con que la empresa los adquiere:

- a) El 24% no requiere que este separado, pero si libre de residuos de alimentos.
- b) El 41% lo solicita limpio y separado, y
- c) El 35% como trabaja con un solo material de origen industrial, este no se encuentra ni sucio ni mezclado.

Con lo que se determinó que todas las empresas utilizan residuos de tipo industrial, también la mayoría emplea aunque en menor proporción los municipales, pero limpios y separados, y solo el 24% trabaja con una mayor cantidad de municipales que limpia y separa provenientes de las compañías que los contratan.

#### PRODUCTOS QUE SE GENERAN A PARTIR DE LOS RESIDUOS.

Aunque en realidad en todas las empresas se granula o peletizan residuos. En lo referente a los productos que fabrican se identificaron dos tendencias, como productor de materia prima, que puede variar desde material limpio y separado, granulado o peletizado, o bien como fabricante de productos terminados, que generalmente son: bolsa negra para basura, escobas, poliducto, vivos y cintillas, muñecos, etc., la proporción de estas dos divisiones fue:

- a) El 65% Produce materia prima.
- b) El 35% fabrica artículos terminados.

#### PROCESOS EMPLEADOS.

En términos generales, el proceso de reciclado inicia con la selección ó clasificación de los residuos por tipo de plástico, seguida de una etapa de lavado y secado del material, pero para la mayoría de las industrias entrevistadas esta etapa es relativamente muy sencilla e incluso innecesaria ya que normalmente trabajan con material separado y la suciedad que presentan es fácilmente removible, a continuación se efectúa una selección<sup>2</sup> más minuciosa para separar la fracción que contiene pigmentos de la que no los tiene.

Los procesos empleados para reciclar residuos plásticos termoplásticos en forma de pelet o granulado se reducen básicamente a una etapa de compactación o fundición del material, mediante fricción, seguida por otra de fragmentación, la cual se logra al adicionar agua al material fundido, y por último se le peletiza vía extrusión.

El proceso de recuperación observado para el caso específica de PET consiste además de la separación y lavado del material en una reducción de tamaño mediante cuchillas, para producir el granulado, que es lo que finalmente se comercializa a otras industrias. Sólo en el caso de que se desee mejorar la presentación se realiza una extrusión para formar el pelet.

### **PARTE SEGUNDA: COMENTARIOS DE LAS EMPRESAS SOBRE:**

#### **A) EL PROGRAMA DE SEPARACIÓN.**

- Es una gran ventaja que los residuos de plástico se separen del resto de las basuras, pero para poderlos reciclar es necesario que dicha separación sea más escrupulosa ya que se deben agrupar por tipo de plástico.
- Algunas (60%) de las empresas están interesadas en realizar una prueba con un lote representativo de estos residuos para valorar el tiempo y mano de obra requeridos para realizar la separación, y la cantidad de material que realmente pudieran recuperar.

#### **B) LOS RESIDUOS DEL IMSS.**

- Existe una gran cantidad de materiales termoplásticos, que actualmente se están recuperando.
- Dado que son residuos de los artículos empleados en la atención a la salud y el consumo humano, y que están elaborados con materia prima virgen de alta calidad, es posible esperar que el material reciclado lo sea también.
- En la mezcla presentada existe gran cantidad de polímero natural, y este es el que les interesa más.

<sup>2</sup>Se observó que en todas las industrias entrevistadas la separación se realiza en forma manual.



- Por tratarse de una mezcla su recuperación no es fácil, y separarlos implica el empleo de mayor mano de obra y tiempo dado que se trata de artículos pequeños, compuestos a su vez de diferentes materiales y con etiquetas difíciles de retirar.
- La separación la realizan en forma manual y la presencia de los remanentes de soluciones o fármacos, les pudieran ocasionar problemas.<sup>3</sup>
- Se tendría que pagar la disposición de los residuos que no se recuperaran, lo cual podría dificultarse por tratarse de artículos médicos.
- El hecho de que los residuos se generen en unidades distribuidas en todo el D.F. dificulta su recolección, por lo que es necesario concentrarlos en almacenes generales, para que se justifique el costo de transportación.

A modo de conclusión con toda la información obtenida se estableció que en la actualidad no se está reciclando este tipo de residuos básicamente porque no se les habían presentado separados del resto de los residuos municipales, es decir siempre habían formado parte de la basura, por otro lado contienen materiales que tecnológicamente pueden recuperarse, por lo que la mayoría de las empresas visitadas están realmente interesadas en realizar una prueba.

#### PRECIO EN EL MERCADO.

Hasta estos momentos no se tiene un precio establecido, es más, ni siquiera aproximado para los residuos en cuestión, pero los precios que actualmente se están pagando por el material ya separado por tipo de plástico son:

PRECIOS DE LOS RESIDUOS	
TIPO DE PLASTICO	\$/Kg.
POLIETILENO Y POLIPROPILENO NATURAL	0.8
POLIETILENO Y POLIPROPILENO CON COLOR	0.4
PVC NATURAL	1.2
PVC CON TINTAS	0.7 A 0.9
PET	0.7

Por otra parte para que el material reciclado tenga a su vez mercado, el precio al cual el reciclador lo ofrece debe estar 50% en promedio, por abajo del precio de la materia prima virgen, es por esto que no pueden pagar un precio más elevado en los residuos que adquieren.

<sup>3</sup>Se especificó que se trata de residuos sin biológico infecciosos, pero es difícil desligar a un residuo de uso médico de esta característica.

No obstante y dada su experiencia, algunos industriales comentaron que el precio que pudiera pagarse por los residuos una vez concentrados desde uno hasta cuatro sitios diferentes pudiera variar de 20 a 30 centavos por kilogramo.

**ANEXO 4**

**DIRECCIONES DE LOS HOSPITALES QUE FUNCIONARAN COMO  
ALMACENES TEMPORALES DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS SIN  
BIOLOGICO-INFECCIOSO.**

Para conocer la ubicación de los centros de almacenamiento temporal localizados dentro de las instalaciones de unidades médicas estratégicamente elegidos a partir del análisis de rutas, se muestra su localización dentro del territorio del D.F., dividido en cuatro delegaciones asignadas por el propio IMSS.

**DELEGACIÓN: 1 NOROESTE D.F.**

**UNIDAD DE MEDICINA FAMILIAR No. 40**  
Av. Hidalgo # 14, 24 y 83.  
Col. Sta. Bárbara  
Delegación Azcapotzalco.

**HOSPITAL DE ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGÍA  
CONJUNTO MAGDALENA DE LAS SALINAS.**  
Colector 15 s/n Av. Instituto Politécnico Nacional.  
Col. Magdalena de las Salinas  
Delegación Gustavo A. Madero.

**UNIDAD DE MEDICINA FÍSICA NORTE  
CONJUNTO MAGDALENA DE LAS SALINAS**

**HOSPITAL GENERAL DE ZONA No. 24**  
Insurgentes Norte #1322  
Col. Magdalena de las Salinas  
Delegación Gustavo A. Madero.

**HOSPITAL GINECO-OBSTETRICIA No. 13  
CON MEDICINA FAMILIAR**  
Reforma # 6 y Av. Hidalgo  
Col. Azcapotzalco.  
Delegación Azcapotzalco.

**DELEGACIÓN: 2 NORESTE D.F.****HOSPITAL GINECO-OBSTETRICIA AUXILIAR  
TLATELOLCO.**

Eje Lázaro Cárdenas y Manuel González.  
HOSPITAL GENERAL DE ZONA No. 29  
Emiliano Zapata, Allende y Av. 510 # 110.  
Col. San Juan de Aragón.  
Delegación Gustavo A. Madero.

**HOSPITAL GENERAL REGIONAL No 25**  
Gral. I. Zaragoza  
Calzada Gral. I. Zaragoza # 1840 Km 11.  
Gral. Francisco Leyva y P. García.  
Delegación Iztacalco.

**HOSPITAL PSIQUIÁTRICO**  
Calzada San Juan de Aragón # 11.  
Col. San Juan de Aragón.  
Delegación Gustavo A. Madero

**CONJUNTO MEDICO LA RAZA**  
Calzada Vallejo Jacarandas y Ferrocarril Industrial y Tlaxcalteca  
Col. Vallejo.  
Delegación Azcapotzalco.

**DELEGACIÓN: 3 SUROESTE D.F.**

**HOSPITAL GENERAL DE ZONA No. 26 "LAS AMÉRICAS"**  
Chilpancingo # 48 y 60.  
Col. Hipódromo Condensa  
Delegación Cuahutémoc 06170.

**HOSPITAL GENERAL DE ZONA Y MEDICINA FAMILIAR No. 8 "LA HORMIGA"**  
Av. Río Magdalena # 289  
Tizapán, San Ángel  
Delegación Tlalpan.

**HOSPITAL DE URGENCIAS TRAUMATOLOGICAS DEL SUR**



Torres Adalid # 1305,  
Col. Del Valle  
Delegación  
BANCO DE SANGRE  
Nicolás San Juan # 453 esq. con Xola.

CONJUNTO CENTRO MEDICO NACIONAL S. XXI  
Av. Cuahutémoc # 330  
Delegación Cuahutémoc.

**DELEGACIÓN: 4 SURESTE D.F.**

CONJUNTO VILLA COAPA  
HOSPITAL GENERAL DE ZONA No. 32  
UNIDAD DE MEDICINA FÍSICA  
Calzada del Hueso y Calzada de la Bombas  
Villa Coapa.

HOSPITAL GENERAL DE ZONA No. 47 "VICENTE GUERRERO"  
Combata de Celaya y Campaña del Ébano  
Av. Díaz Soto y Gama  
Col. Vicente Guerrero  
Delegación Iztapalapa.

HOSPITAL GENERAL DE ZONA No. 1-A "LOS VENADOS"  
Div. del Norte, Municipio libre y Dr. Vértiz.

HOSPITAL GENERAL DE ZONA No. 30  
P. Elias Calles # 473 y 1o. de Mayo  
Corregidora y Mina.

**ANEXO 5****RESULTADO DEL ANÁLISIS DE RUTAS PARA RECICLADO.**

El presente anexo contiene únicamente los resultados del planteamiento del análisis de ruta para la técnica del reciclado, y la cual es considerada en el desarrollo del estudio de costos.

Como en su oportunidad se explicó se consideró la existencia de 16 hospitales del IMSS (4 por cada delegación) en el D.F., en los cuales se concentrarán los residuos de las unidades médicas más cercanas.

El recorrido que efectuarían los camiones para la recolección se inicia en la bodega donde se concentrarán los residuos para ser finalmente recogidos por la industria encargada de reciclarlos.

Las cantidades numéricas a continuación mostradas representan la distancia total en kilómetros, para la ruta seleccionada.

El horario de recolección se realiza de lunes a viernes operando dos turnos, con dos camiones.

Por último, en el análisis realizado se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Volumen de los residuos acumulados en cada hospital, que sirva de almacén por día.
- Capacidad de carga (volumen) de los camiones.
- Distancia mínima entre los hospitales de la misma delegación.

Los resultados números obtenidos, son los mostradas a continuación.

## DELEGACIÓN 1.

RECORRIDO	Km / semana
Bodega - H. Traumatología y ortopedia.	35.19
H. Traumatología y ortopedia - Bodega.	28.89
Bodega - H. Ginecología 13.	5.46
H. Ginecología 13 - H. M. F.- Centro.	6.42
H. M. F.- Centro - Bodega	4.68
Bodega - HGZ 24.	12.21
HGZ 24 - Bodega.	9.57
<b>TOTAL</b>	<b>102.42</b>

## DELEGACIÓN 2

RECORRIDO	Km / semana
Bodega - C.M. la Raza.	10.23
C.M. La Raza - Bodega.	8.02
Bodega - C.M. la Raza.	20.46
C.M. la Raza - H. Ginecología Tlatelolco.	6.96
H. Ginecología Tlatelolco - Bodega.	14.1
Bodega... - C.M. la Raza.	10.23
C.M. la Raza - HGZ 25	18.96
HGZ 25 - Bodega.	18.09
<b>TOTAL</b>	<b>144.57</b>

## DELEGACIÓN 3.

RECORRIDO	Km / semana
Bodega - C.M. S-XXI.	20.52
C.M. S-XXI - Bodega.	16.44
Bodega - HGZ 8.	33.96
HGZ 8 - Bodega.	32.82
Bodega - HGZ 26.	10.11
HGZ 26 - H. Esp. Trauma. del sur.	3.63
H. Esp. Trauma. del sur - Bodega.	9.54
<b>TOTAL</b>	<b>149.28</b>

## DELEGACIÓN 4

RECORRIDO	Km / semana
Bodega - HGZ 30.	30.9
HGZ 30 - Bodega.	21.08
Bodega - HGZ 1-A.	26.64
HGZ 1-A - HGZ 32.	15.6
HGZ 32 - Bodega.	36.48
Bodega - HGZ 47.	24.39
HGZ 47 - Bodega.	22.23
<b>TOTAL</b>	<b>177.3</b>



**KILÓMETROS TOTALES**

<b>ORIGEN</b>	<b>Km / semana</b>
DELEGACIÓN 1	102.42
DELEGACIÓN 2	144.57
DELEGACIÓN 3	149.28
DELEGACIÓN 4	177.3
<b>TOTAL</b>	<b>573.57</b>

El cálculo de los kilómetros recorridos para un año daría de 2581.085 Km/año.

## ANEXO 6

**RESULTADO DEL ANÁLISIS DE RUTAS PARA RELLENO SANITARIO.**

El presente anexo resume los resultados que se obtuvieron del análisis de ruta realizado para disponer los residuos plásticos en el Relleno Sanitario denominado "Bordo Poniente" bajo las condiciones especificadas anteriormente en el desarrollo del texto.

Las condiciones bajo las que se realizó dicho análisis, así como la forma en la que se presentan los resultados obtenidos, son las mismas que el desarrollado para el análisis de rutas para el reciclado.

Los resultados a los que se llegó son presentados en los siguientes cuadros, donde se presenta el recorrido por delegación, según la división que da el IMSS a sus unidades:

**DELEGACIÓN 1.**

RECORRIDO	Min / segundos
Relleno - H. Traumatología y ortopedia.	30.33
H. Traumatología y ortopedia - HGZ - 24.	4.50
HGZ - 24 - H. Ginecología 13.	20.73
H. Ginecología 13 - UMF- Centro.	19.80
UMF- Centro - Relleno	45.00
<b>TOTAL</b>	<b>137.36</b>

## DELEGACIÓN 2

RECORRIDO	Km / Semana
Relleno - HGZ 29.	29.25
HGZ 29 - C.M. La Raza.	41.40
C.M. La Raza - H. Ginecología Tlatelolco.	18.45
H. Ginecología - HGZ 25	89.70
HGZ 25 - Relleno	102.60
<b>TOTAL</b>	<b>281.4</b>

## DELEGACIÓN 3.

RECORRIDO	Km / semana
Relleno - C.M. S-XXI	58.36
C.M. S-XXI - HGZ 28	5.13
HGZ 28 - H. Esp. Trauma. del sur.	15.21
H. Esp. Trauma. del sur - HGZ 8	25.71
HGZ 8 - Relleno.	85.18
<b>TOTAL</b>	<b>189.59</b>

## DELEGACIÓN 4

RECORRIDO	Km / Semana
Relleno - HGZ 30.	49.56
HGZ - HGZ 1-A.	27.0
HGZ 1-A - HGZ 32.	31.2
HGZ 32 - HGZ 47.	52.92
HGZ 47 Relleno.	62.
<b>TOTAL</b>	<b>229.8</b>

## KILÓMETROS TOTALES

ORIGEN	Km / semana
DELEGACIÓN 1	137.56
DELEGACIÓN 2	281.4
DELEGACIÓN 3	229.8
DELEGACIÓN 4	189.59
<b>TOTAL</b>	<b>838.15</b>

El cálculo de los kilómetros recorridos para un año daría de 43583.8 Km/año.



## **BIBLIOGRAFIA**

---

## BIBLIOGRAFÍA

1. ANDREWS Gerard & Pallatheri Subramanian "Emerging Technologies in Plastics Recycling" Ed. American Chemical Society, Washington D.C.; USA 1992.
2. ALLEN R.J. & Brenniman G.R. "Incineration of Hospital Waste" Journal the Air Pollution Control Association, July 1986, Vol. 36 No. 7, pp.829-831.
3. ALVIZAR Gutierrez y Méndez Francisco "Comportamiento Mecánico y Manufactura de Materiales Plásticos", Tesis profesional Facultad de Ingeniería UNAM 1984.
4. BRANDRUP J. & Immergut T.H. "Polymer Handbook" De. John Wiley & Sons, 3a. Edition, New York, USA 1990.
5. BATSTONE Roger "The Safe Disposal of Hazardous Waste" The Special Need and Problems of Develoim Countries The Word Bank (ECO), Vol. 1, 2 y 3, USA 1989
6. BRAUN Diedrich "Métodos Sencillos de Identificación de Plásticos" Ed. Pulsar S.A., Barcelona, España 1990.
7. CRISTENSEN Thomas H. "Sanitary Landfill Proccass Technology and Enviromental Impact", Academic Press, USA 1989.
8. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación "Curso Sobre manejo y disposición final de residuos sólidos municipales" SEDUE, México 1991, Vol. I pp.108-115.
9. DAWSON Gaynor W. & HerculBasill "Hazardous Waste Management" Ed. Prosell, Washington USA 1989.
10. DOYLE Lawrence E. "Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros", Prentice -Hall Hispanoamericana, México 1988.
11. EHRINJ R. J. "Recycling product and process", Hanser, Germany 1992.
12. FISHER, MENGERS, Lackner "Proceso y Aparato para Reciclado de Residuos Poliméricos", Patente No. WO9515244 A1950608. Instituto Mexicano de protección Industrial (IMPI), Servicios de información SECOFI, México 1996.
13. Fundación Mexicana Para la Educación Ambiental "Directorio de Centros de Recepción de Desperdicios de la Ciudad de México y de su Area Metropolitana", México 1993.
14. GOTTINGER Hans-Wernwer "Economic Models and Aplications of Solid Wastes Management", Gordon ans Breach Science publisher, New York USA 1991, pp.5 - 10.

15. GUTIERREZ Zúñiga H. "Reutilización de Plásticos Reciclados" Tesis profesional, Facultad de ingeniería UNAM 1991.
16. KOKOSKKA Leopold "Environmental Management Handbook Toxic Chemical Materials and Wastes", Marcel Dekker Inc., USA 1989, pp. 446 - 452.
17. KALPAKJIAN Serop "Manufacturing Processes for Engineering Materials", Word Students series edition, USA 1991.
18. "Manual de residuos sanitarios" SEDUE, Subsecretaria de Ecología, Dirección general de contaminación ambiental.
19. MARTINEZ Ocampo Jorge Luis "Aprovechamiento de Residuos Industriales como Combustibles Alternos en Hornos Cementeros" Tesis profesional FES ZARAGOZA UNAM, México 1995.
20. MENDENHALL Scheaffer "Elementos de Muestreo" Ed. Iberoamericana, México 1993.
21. MORTON Jons "Procesamiento de Plásticos" Ed. Limusa Noriega, México 1993.
22. ODIAN George "Principles of Polymerization" John Wiley & Sons Inc., 3a. Edition, USA 1991, pp. 1 - 37.
23. PFEFFER John T. "Solid Waste Management Engineering" Prentice Hall, USA 1992.
24. RAMIREZ Nieto José A. "Mejoramiento del Ambiente Mediante una Gestión Práctica de los Residuos Sólidos", SEDEBOL México 1991.
25. ROSATO Donald V. "Designing With Plastics and Composites" Ed. Van Nostrand Reinhold, USA 1991.
26. SHOBANOGLIOUS George "Solid Wastes Engineering Principles and Management Issues" Mc. Graw Hill, USA 1977.
27. THEODORE Louis & Reynold Joseph "Introduction o Hazardous Waste Incineration" John Wileyand Sons, USA 1997, pp. 91-96, 247-266.
28. TADHOR Zehav & Costas G. "Principles of Polymer Processing" John Wiley & Sons, New York, USA 1990.
29. TAYLOR George A. "Ingeniería Económica" Ed. Limusa Noriega, 13a. edición , México 1998.
30. THUESEN H.G. "Ingeniería Económica", Prentice-Hall Hispanoamericana, México 1998.
31. URETA Barrón Ernesto, "Polímeros, Estructuras, Propiedades y Aplicaciones" Ed. Limusa Noriega, México, D.F. 1999.

32. WITTCOF Harold & Recciben Bryan, "Productos Químicos Orgánicos e Inorgánicos" Vol. I y II, Ed. Limusa Noriega, México D.F.

**ENCICLOPEDIAS:**

33. KIRK OTHMER "Encyclopedia of Chemical Technology" 3a. edition, Vol. 1, 7, 8, 10, 13, 16, 18 y 19, USA 1982.

34. PERRY & CHILTON "Biblioteca del Ingeniero Químico" Ed. Mc. Graw Hill 6a. edición, México 1992.

**REVISTAS:**

- 35. Revista del Plástico Moderno, No. 442, Abril 1993, pp. 368 - 376.
- 36. Revista del Plástico Moderno, No. 344, Febrero 1985, pp. 171 - 183.
- 37. Revista del Plástico Moderno, No. 347, Mayo 1985, pp. 551 - 564.
- 38. Revista del Plástico Moderno, No. 349, Julio 1985, pp. 51 - 56.
- 39. Revista del Plástico Moderno, No. 397, Julio 1989, pp. 104 - 110.
- 40. Revista del Plástico Moderno, No. 418, Abril 1991, pp. 520 - 528.