

87
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA



**EXÁMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA**

**IDENTIFICACIÓN, ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN
DE RESIDUOS PLÁSTICOS GENERADOS EN
LA PRÁCTICA DE LA MEDICINA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA QUÍMICA
P R E S E N T A:
LILIANA LIMÓN JIMÉNEZ



MÉXICO, D. F.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente	Profa. Elvira Santos Santos
Vocal	Prof. Joaquín Palacios Alquisira
Secretario	Profa. Beatriz Luna Millán
1er. Suplente	Prof. Amando José Padilla Ramírez
2do. Suplente	Prof. Blas Flores Pérez

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

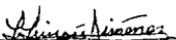
**LABORATORIO DE OPTIMIZACIÓN, MINIMIZACIÓN Y
MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS PELIGROSOS
FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.**



Dra. Elvira Santos Santos.
ASESORA DEL TEMA



Q. Irmá Cruz Gavilán García.
SUPERVISORA TÉCNICA DEL TEMA



Lilliana Limón Jiménez.
SUSTENTANTE

Dedicatorias

☞ A mis padres

Anselmo Limón Gómez
Carmen Jiménez de Limón

por haberme dado todo lo necesario y más, para llegar a ser lo que soy y lograr la conclusión de este trabajo.

☞ A mis hermanos

Lucía, Arturo y Leticia

por estar siempre conmigo y ayudarme cuando lo necesito. Los amo.

☞ A Dios por darme la oportunidad de vivir y tener logros tan importantes como éste.

☞ A Daniel por haber compartido mis estudios universitarios (V.I.D.A.).

Agradecimientos

☞ A la Facultad por haberme abierto sus puertas y darme la oportunidad de una educación profesional.

☞ A la Q. Irma Cruz Gavilán G. por la confianza que ha depositado en mí.

☞ A las personas que me brindaron su ayuda para realizar este trabajo.

Dr. Mario Anaya
Ing. Silverio Sánchez
Dr. Humberto Uribe

☞ Mil gracias a Armando Butanda, a Q. Ruth López y a Omar Díaz por haberme brindado su ayuda desinteresada y gentil.

☞ A Tania, Lulú, Olivia y Sandra por seguir siendo mis mejores amigas a pesar del tiempo.

☞ A mis amigos de la universidad por que con ustedes viví, y espero seguir viviendo, los momentos más divertidos de la escuela.

☞ A todos los muchachos que en estos momentos están haciendo su servicio social o su tesis en el laboratorio por haberse convertido en la razón de mi trabajo.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. Antecedentes.	3
CAPÍTULO II. Residuos Biológico-Infeciosos	8
2.1. Definición.	8
2.2. Legislación.	8
2.3. Generación de residuos hospitalarios.	9
2.4. Composición de residuos hospitalarios.	10
2.5. Separación, envasado y etiquetado de los residuos hospitalarios.	12
2.6. Recolección interna de los residuos hospitalarios.	14
2.7. Almacenamiento temporal de los residuos hospitalarios.	15
2.8. Recolección y transporte externo de los residuos hospitalarios.	15
2.9. Tratamiento final de los residuos hospitalarios.	16
2.9.1. Factores para la evaluación de las tecnologías de tratamiento.	16
2.9.2. Tipos de tratamiento.	18
2.9.2.1. Incineración	18
2.9.2.2. Esterilización con vapor.	21
2.9.2.3. Inactivación térmica / Esterilización.	23
2.9.2.4. Esterilización con gas.	23
2.9.2.5. Trituración / Desinfección química	24
2.9.2.6. Irradiación.	24
2.9.2.7. Comparación de las tecnologías.	25
2.10. Disposición final de los residuos hospitalarios.	25
CAPÍTULO III. Residuos Plásticos	27
3.1. Definición	27
3.2. Clasificación de los plásticos	28
3.3. Problemática.	28
3.4. Legislación sobre residuos plásticos.	29
3.5. Generación de residuos plásticos.	30
3.6. Composición de los residuos plásticos.	30
3.7. Separación de los residuos plásticos.	31

3.8. Tratamiento y disposición final de los residuos plásticos.	33
3.8.1. Reciclaje.	33
3.8.2. Reducción en la fuente de origen.	34
3.8.3. Incineración.	34
CAPÍTULO IV. Residuos Hospitalarios Plásticos.	36
4.1. Normas Oficiales Mexicanas en materia de especificaciones de equipos médicos.	36
4.2. Composición de los residuos hospitalarios plásticos.	37
4.3. Separación de los residuos hospitalarios plásticos.	39
4.4. Reducción de los materiales desechables.	39
4.5. Incineración de residuos hospitalarios.	41
4.6. Sustitutos para el PVC	42
4.6.1. PVC plastificado	42
4.6.2. PVC rígido	43
4.6.3. Costos.	43
CAPÍTULO V. Parte Experimental.	44
5.1. Selección y recolección del material.	44
5.2. Identificación del material.	44
5.3. Metodología de identificación del material.	45
5.3.1. Prueba de combustión.	45
5.3.2. Prueba de densidad.	45
5.3.3. Punto de fusión.	48
5.4. Corroboración de la metodología de identificación.	48
CAPÍTULO VI. Resultados.	50
6.1. Prueba de combustión.	50
6.2. Prueba de densidad	56
6.3. Punto de fusión.	58
6.4. Resultados de infrarrojo	60
CAPÍTULO VII. Análisis de Resultados y Conclusiones.	79
7.1. Análisis de resultados.	79
7.1.1. Prueba de combustión.	79
7.1.1.1. Polipropileno (PP) y Polietileno (PE)	79

7.1.1.2. Poli(cloruro de vinilo), PVC.	80
7.1.1.3. Poliestireno (PS).	80
7.1.1.4. Látex.	81
7.1.2. Prueba de densidad.	81
7.1.2.1. PP.	81
7.1.2.2. PE	82
7.1.2.3. PVC.	82
7.1.2.4. PS.	83
7.1.2.5. Látex.	83
7.1.3. Punto de fusión.	84
7.1.3.1. PP.	84
7.1.3.2. PE	84
7.1.3.3. PVC.	84
7.1.3.4. PS.	85
7.1.3.5. Latex.	85
7.1.4. Clasificación de las muestras de acuerdo a la metodología usada	86
7.2. Análisis infrarrojo.	87
7.2.1. Polipropileno.	87
7.2.2. Polietileno.	87
7.2.3. Poli(cloruro de vinilo)	88
7.2.4. Poliestireno	88
7.2.5. Látex.	89
7.3. Conclusiones.	90
ANEXO I.	92
BIBLIOGRAFÍA.	101

INTRODUCCIÓN.

Este estudio realizado como trabajo de tesis tiene como tema central a los residuos hospitalarios, particularmente a aquellos fabricados o constituidos por algún material plástico, que están contemplados en la NOM-087-ECOL-1995 para residuos peligrosos biológico-infecciosos.

La finalidad primera de este trabajo es el proponer una metodología sencilla y confiable de identificación de los materiales plásticos que componen a los equipos o instrumentos médicos. Esta metodología pretende poderse realizar en cualquier centro de atención médica.

Objetivos

Los objetivos específicos planteados para este trabajo son:

- Identificar el equipo e instrumentos médicos que comúnmente se fabrican con plástico
- Analizar dicho equipo por medio de la metodología propuesta.
- Clasificar el material médico de acuerdo al plástico que los compone.
- Proponer una forma ambientalmente viable para separar y disponer este tipo de residuos biológico-infecciosos

Esta tesis consta de 7 capítulos. El primer capítulo presenta los antecedentes para la realización del presente trabajo.

El siguiente par de capítulos presenta, por separado, las dos importantes vertientes de este estudio, primero el manejo de los residuos peligrosos biológico-infecciosos en el capítulo II, y después la problemática de los residuos plásticos, principalmente de aquellos que se presentan en forma de empaques o embalajes.

En el capítulo IV se expone el tema central de este trabajo de tesis, es decir, se unen las vertientes anteriormente expuestas y se analiza la problemática que provocan.

Estos capítulos pretenden establecer el problema que puede generar la incineración del PVC, que en presencia de compuestos aromáticos provoca la formación de dioxinas y furanos. Éstos son extremadamente dañinos, ya que son tóxicos aún en muy pequeñas cantidades y además son bioacumulables.

La metodología propuesta para llevar a cabo el análisis y la identificación de los instrumentos médicos aquí estudiados, se explica en el capítulo V.

El capítulo VI muestra los resultados obtenidos con la metodología propuesta, así como los espectros obtenidos del análisis infrarrojo que se establecen como corroboración de la metodología empleada.

Finalmente, en el capítulo VII se establece el análisis de los resultados obtenidos, así como las conclusiones que arroja este estudio

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.

Desde que el hombre existe ha generado residuos a través de las actividades que realiza. Con el paso del tiempo y por la evolución tecnológica que ha logrado la humanidad, la cantidad de residuos ha aumentado dramáticamente, en algunos casos sin control, habiéndose diversificado al igual que las actividades humanas.

Debido a este enorme crecimiento de los residuos, el manejo de los mismos enfrenta actualmente una crisis en todo el mundo. Por este motivo se han hecho varios esfuerzos por regular y moderar la generación de los mismos. Para empezar se ha buscado una definición práctica y universal de residuo, sin embargo, no se ha logrado un acuerdo mundial y por ello cada país lo define siguiendo su criterio y sus necesidades.

En México, según la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, LGEEPA,⁽¹⁾ un residuo se define como

Cualquier material generado en los procesos de extracción benéfico, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó

Como ya se mencionó, los residuos tienen diferentes características que dependen del proceso del cual provienen y de los compuestos que lo constituyen, por ejemplo algunos residuos son peligrosos; de acuerdo a la LGEEPA⁽¹⁾ los residuos peligrosos se definen como:

Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológico-infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

En un esfuerzo por unificar los criterios normativos, a nivel internacional se maneja una clasificación de los residuos peligrosos conocida como Código CRETIB,⁽²⁾ donde cada sigla representa la característica que torna peligroso a un residuo en particular. Un residuo peligroso puede presentar una o más de dichas propiedades para que sea considerado como peligroso. Así las características que puede presentar un residuo peligroso son

Tabla 1.1. Código CRETIB.

SIGLA	CARACTERÍSTICA
C	Corrosivos
R	Reactivos
E	Explosivos
T	Tóxicos
I	Infamables
B	Biologico-infecciosos

De acuerdo a esta clasificación los residuos biológico-infecciosos son residuos peligrosos. El tema central de este trabajo de tesis lo constituyen los residuos médicos u hospitalarios, los cuales se clasifican, a su vez, dentro de los residuos biológico-infecciosos como lo indica la NOM-087-ECOL. 1995,⁽²⁾ publicada el 7 de noviembre de 1995.

En los últimos años los residuos médicos han sido centro de atención en todo el mundo, aumentando la preocupación sobre dichos residuos principalmente por el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas tales como el SIDA, la hepatitis y otras que estos residuos, bajo ciertas condiciones, pueden diseminar.

La forma tradicional de combatir el peligro que estos residuos representan, desde que la humanidad ha sido afectada por plagas, como la lepra, el cólera, el paludismo, la viruela o la peste, ha sido la incineración, ya que la intuición del hombre le hizo pensar que el fuego era la única manera de eliminar dichas plagas. Esto se ha ido corroborando conforme el desarrollo de la microbiología ha avanzado.

Sin embargo, actualmente existen otros métodos para tratar los residuos biológico-infecciosos, tales como el uso del autoclave, la desinfección química, la irradiación, etc.

En nuestro país, la primera vez que se legisó sobre el manejo de dichos residuos fue en 1994, cuando se publicó el Proyecto de Norma Oficial NOM-087-ECOL-1994. Dicho proyecto entró en vigor, ya como Norma Oficial Mexicana, en noviembre de 1995.

De la enorme gama de materiales comprendidos dentro de los residuos médicos, este trabajo se abocará a los residuos que estén fabricados con algún tipo de plástico, lo que constituye un problema con dos importantes vertientes: por un lado son residuos

biológico-infecciosos y por otro, también son residuos plásticos, ésto provoca que su manejo presente complicaciones adicionales.

Los residuos plásticos, por sí mismos, han recibido una gran atención por parte de toda la comunidad, ya que aunque representan menos del 10% en peso de las basuras municipales, por su volumen presentan una gran dificultad en su manejo, además una gran mayoría no son biodegradables. Por este motivo, desde hace varios años, se ha intentado encontrar soluciones creando centros de investigación abocados al reuso y reciclaje de los plásticos.

Los plásticos más comúnmente usados en el consumo general (empaques principalmente) son el polietileno, el poli(tereftalato de etileno) (PET) y el poli(cloruro de vinilo) (PVC).

El uso de material plástico en la práctica de la medicina ha ido en aumento debido a la necesidad de usar material desechable para evitar el riesgo de contagio de enfermedades infecciosas, debido al mal manejo de los materiales reusables.

1.1. Dioxinas y furanos.⁽⁴⁾

Dentro del manejo de los residuos plásticos se emplea la incineración como método de tratamiento y disposición, sin embargo se tienen reportes de que al quemar residuos plásticos que contengan cloro en su estructura, como el PVC, y la presencia de compuestos aromáticos o sus precursores, se presenta la posibilidad de formación de compuestos como dioxinas, furanos, HCl y otros que son altamente tóxicos aún en muy pequeñas concentraciones.⁽⁴⁻⁷⁾

Se conoce por dioxinas y furanos a una familia de compuestos aromáticos clorados tríclicos con propiedades químicas similares. Las dioxinas se diferencian de los furanos en la cantidad de átomos de oxígeno presentes en la molécula: los furanos tienen un átomo de oxígeno y las dioxinas dos. Las estructuras básicas se presentan en la figura 1.1.

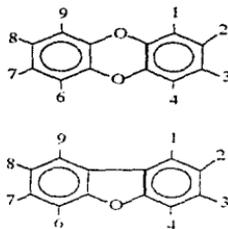


Figura 1.1 Dibenzo-para dioxina y Dibenzofurano.

Las posiciones numeradas pueden ser ocupadas tanto por átomos de hidrógeno como de cloro. La suma de átomos de cloro e hidrógeno tanto en dioxinas como en furanos es igual a ocho.

Las características fisicoquímicas de estos compuestos se pueden resumir en que son poco solubles en agua, que la solubilidad decrece cuanto mayor sea el número de átomos de cloro que presenta la molécula, y que presentan una solubilidad ligeramente mayor en disolventes y grasas. Tienen una presión de vapor de 6.2×10^{-7} Pa; característica que les hace poco volátiles. Son estables a la descomposición térmica por debajo a los 850°C y se descomponen rápidamente por la acción de la luz en presencia de hidrógeno. Sin embargo, cuando se incorporan al suelo o a las corrientes hídricas son prácticamente inalterables, persistentes y bioacumulativos.

Se ha determinado también que las dioxinas y furanos policlorados coexisten además con familias polibromadas, que en general parecen ser menos tóxicos que los compuestos clorados, ya que la característica de toxicidad, entre otros factores, va asociada al halógeno correspondiente.

Existen numerosas hipótesis y estudios de investigación sobre el origen y mecanismos de formación de las dioxinas y furanos en procesos de incineración, que se han identificado como una de las principales fuentes de emisión de estos compuestos, si bien los mencionados estudios no se encuentran aún perfectamente contrastados.

Tres mecanismos son los propuestos inicialmente como causantes de la emisión de dioxinas y furanos en incineración:

- a) Presencia de los mismos en la alimentación del incinerador.
- b) Formación de estas sustancias a partir de precursores similares, como fenoles clorados (figura 1.2.) y bifenilos policlorados, PCB (figura 1.3).

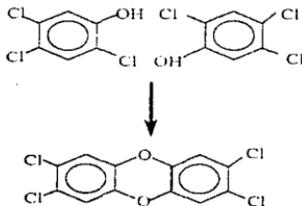


Figura 1.2. Formación de dioxinas a partir de fenoles.

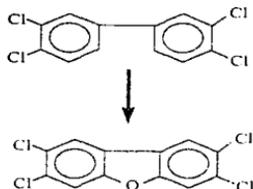


Figura 1.3. Formación de furanos a partir de PCB.

- c) Síntesis de estas sustancias en las diferentes fases del incinerador, según a distintos precursores originados a partir de especies orgánicas presentes en los residuos y especies donadoras de cloro.

CAPÍTULO II. RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS.

2.1. Definición.

Actualmente no existe una definición uniforme de residuo biológico-infeccioso. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA (Environmental Protection Agency) ha sido renuente para dar una definición concreta y en consecuencia cada estado define a los residuos biológico-infecciosos según su propio criterio, a veces de forma muy vaga.

En general se consideran como residuos biológico-infecciosos los siguientes:⁽¹⁾⁽²⁾

- Residuos de laboratorios de microbiología
- Objetos punzocortantes contaminados
- Sangre y sus derivados
- Residuos patológicos (cuerpos y tejidos)
- Objetos que hayan estado en contacto con sangre

Por otro lado, en México se define a un residuo biológico-infeccioso de acuerdo a la NOM-087-ECOL-1995⁽³⁾ como sigue:

Residuo Peligroso Biológico-Infeccioso: El que contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de causar infección o que contiene o puede contener toxinas producidas por microorganismos que causan efectos nocivos a seres vivos y al ambiente, que se generan en establecimientos de atención médica.

De acuerdo con estas definiciones los residuos hospitalarios o médicos, estudio de este trabajo de tesis, son considerados, en su mayoría residuos biológico-infecciosos.

2.2. Legislación.

En general, la legislación, reglamentación y normatividad existente en Latinoamérica en relación al manejo de los residuos biológico-infecciosos es insuficiente, muy general en algunos casos y demasiado rígida en otros. Esta carencia de información lleva a estos países a recurrir a la información proporcionada por la EPA y por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para seguir, en la medida de lo posible, las

recomendaciones ya establecidas en Estados Unidos.

Ejemplo de esto es el decreto de ley denominado "Medical Waste Tracking Act of 1988" firmado el 1° de noviembre de 1988 en Estados Unidos.⁽¹⁰⁾ En este documento la EPA estableció un programa de dos años para identificar el tipo y número de pequeños y grandes generadores, volumen de residuos generados y métodos de manejo, almacenaje, transporte, tratamiento y disposición de los residuos generados.

En México, la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) publicó en el Diario Oficial de la Federación el martes 7 de noviembre de 1995, la Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-1995, que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica.

Dentro de dicha norma se establece que su aplicación abarca a "clínicas y hospitales así como laboratorios clínicos, laboratorios de producción de agentes biológicos, de enseñanza y de investigación, tanto humanos como veterinarios en pequeñas especies y centros antirrábicos, y es de observancia obligatoria en dichos establecimientos."

2.3. Generación de residuos hospitalarios.

Como ya se mencionó los residuos hospitalarios son considerados residuos biológico-infecciosos, por lo tanto nos abocaremos a ellos.

La generación de residuos hospitalarios depende de muchos factores, tales como, la cantidad de servicios médicos ofrecidos por un establecimiento, el tamaño del hospital, la proporción de pacientes externos y la dotación de personal entre otros. Por ello no resulta fácil estimar la cantidad de residuos producidos por un establecimiento hospitalario.

Sin embargo, se ha logrado relacionar la cantidad promedio de residuos generados diariamente con el número de camas del hospital, obteniéndose cifras aproximadas pero de fácil manejo y aplicación.

Las cifras promedio, obtenidas en diversos países latinoamericanos, para la generación de residuos sólidos en hospitales fluctúan entre 1 - 4.5 Kg/cama/día, haciendo notar que dicha tasa tiende a aumentar con el tiempo. Este comportamiento coincide con

el de la tasa de generación de los países desarrollados y por lo tanto las tasas actuales de generación en dichos países son significativamente mayores a las que presentan los países en desarrollo.

Como un ejemplo, en Estados Unidos se registraron cifras del orden de 3.5 Kg/cama/día para fines de los años cuarenta, alcanzando cifras superiores a los 6-8 Kg/cama/día para fines de los ochenta.⁽⁵⁾

Las causas principales de este aumento son que la atención médica se ha tornado más compleja con el paso del tiempo y que también ha aumentado significativamente el uso de material desechable.

Tabla II.1. Tasa de generación de residuos hospitalarios en algunos países de Latinoamérica.⁽⁶⁾

País	Año de estudio	Generación (Kg/cama/día)		
		Min.	Med.	Max.
Chile	1973	0.97	--	1.21
Venezuela	1975	2.56	3.10	3.71
Brasil	1978	1.20	2.63	3.80
Argentina	1988	1.85	--	3.65
Perú	1987	1.60	2.93	6.00
Paraguay	1989	3.00	3.80	4.50
México	1990	3.00	3.80	4.50

2.4. Composición de los residuos hospitalarios.

Una característica importante de los residuos sólidos de los hospitales es su heterogeneidad, debido a la amplia gama de actividades complementarias a la atención médica que se desarrolla en los establecimientos hospitalarios, todas las cuales aportan residuos de diversas calidades.

La composición de los residuos hospitalarios puede establecerse de acuerdo a diferentes tipos de clasificación de componentes, según lo que se requiera para resolver un problema específico.

Desde el punto de vista del manejo sanitario de los residuos hospitalarios, el interés principal es clasificar los residuos de acuerdo a su carácter infeccioso, lo cual ha

sido adoptado por la EPA, como observamos en el punto 2.1.

En México, la SEMARNAP establece como clasificación de residuos peligrosos biológico-infecciosos la siguiente:⁽⁹⁾

- **La Sangre.**
 - Productos derivados de la sangre (plasma, suero y paquete globular).
 - Materiales con sangre o sus derivados, aún secos, así como los recipientes que los contienen o los contuvieron.
- **Cultivos y cepas almacenadas de agentes infecciosos**
 - Cultivos generados en procedimientos de diagnóstico e investigación, así como los generados en la producción de agentes biológicos
 - Instrumentos y aparatos para transferir, inocular y mezclar cultivos.
- **Patológicos.**
 - Tejidos, órganos, partes y fluidos corporales que se remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención quirúrgica
 - Muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico o histológico.
 - Cadáveres de animales
- **Residuos no anatómicos derivados de la atención a pacientes.**
 - Equipo y material utilizados durante la atención a humanos o animales.
 - Equipo y dispositivos desechables utilizados para la exploración y toma de muestras biológicas.
- **Objetos punzocortantes usados o sin usar.**
 - Material que ha estado en contacto con humanos o animales durante el diagnóstico y tratamiento, incluyendo navajas, lancetas, jeringas, pipetas Pasteur, agujas hipodérmicas, de acupuntura y para tatuaje, bisturíes, cajas de Petri, cristalería entera o rota, porta y cubre objetos, tubos de ensayo y similares.

Por otro lado, en Estados Unidos, se generan 160 millones de toneladas de residuos cada año y de éstos, aproximadamente, 3.2 millones de toneladas son de residuos hospitalarios. Se estima que del 10-15% de los residuos hospitalarios son residuos biológico infecciosos.⁽¹⁶⁾ En contraste, el contenido de residuos biológico-infecciosos en Latinoamérica fluctúa entre 10 y 40%.⁽¹⁹⁾

Otro tipo de clasificación es el propuesto por el Instituto Mexicano del Seguro Social, IMSS, dentro de su "Programa de Separación de Desperdicios", hecho en 1992.⁽¹¹⁾ Este programa está abocado a las unidades médicas de primer nivel o Unidades de Medicina Familiar (UMF)

El IMSS dice que los desperdicios típicos de una UMF son:

MATERIAL	PORCENTAJE
• Papel y cartón	43%
• Desperdicios de comida	14%
• Desperdicios de áreas exteriores (pasto y residuos de la poda de arbustos, plantas, árboles y raíces)	9%
• Plástico (principalmente porrónes, jeringas, botellas y envases)	9%
• Material de curación	7%
• Desperdicios de baños	7%
• Vidrio (cristalería rota y envases)	6%
• Metal (agujas de jeringa y vacutainer, mercurio y amalgama)	5%
• Otros (líquido revelador y placas radiográficas)	--
TOTAL	100

2.5. Separación, envasado y etiquetado de los residuos hospitalarios.

Actualmente, la separación de los residuos hospitalarios es una práctica común en los establecimientos que prestan atención médica, sin embargo dicha separación tiene como fin reducir los costos del manejo de los residuos y no el propósito de disminuir el riesgo asociado al manejo de las fracciones biológico-infecciosas

Una práctica frecuente es la separación y comercialización de los residuos provenientes de la preparación, elaboración y servicios de alimentos, del papel y cartón provenientes del embalaje de material médico, de laboratorio o farmacia; también se comercializan otras fracciones menores, tales como envases de vidrio y plástico. Sin embargo, el hecho de no contar con una práctica adecuada de separación de la fracción biológico-infecciosa implica la existencia de riesgos a la salud

El establecimiento de una práctica adecuada de separación en la fuente de origen de las fracciones biológico-infecciosas y de otras fracciones peligrosas permite derivar el resto de los residuos hospitalarios hacia la recolección municipal, reservando los sistemas

de manejo especiales sólo para aquella porción de residuos que realmente ofrece riesgos. Pese a las ventajas de la separación en la fuente de origen, no resulta fácil implantar este tipo de prácticas en los establecimientos hospitalarios, ya que ello requiere, en primer término, de la colaboración decidida y permanente del personal médico, paramédico y auxiliar, dado que será dicho personal el que deberá canalizar los residuos, tan pronto como se generen, hacia los receptáculos apropiados. Se requiere además, disponer del equipo y/o instalaciones suficientes para almacenar, recolectar, transportar, tratar y disponer de estos residuos en forma totalmente independiente del resto de los residuos del hospital, mientras mantengan sus características de peligrosidad.

De acuerdo a la SEMARNAP los residuos biológico-infecciosos deben separarse y envasarse como se indica en la siguiente tabla:

Tabla II.2. Separación y envasado de los residuos biológico-infecciosos.

TIPO DE RESIDUOS	ESTADO FÍSICO	ENVASADO	COLOR
• Sangre	Sólidos	Bolsa de plástico	Rojo
• Cultivos y cepas almacenadas de agentes infecciosos			
• Residuos no anatómicos derivados de la atención a pacientes	Líquidos	Recipientes herméticos	Rojos
• Patológicos	Sólidos	Bolsa de plástico	Amarillo
	Líquidos	Recipientes herméticos	Amarillo
• Objetos punzocortantes	Sólidos	Recipientes rígidos	Rojos

De acuerdo a las recomendaciones de la EPA y por ley, en México, los contenedores de material biológico-infeccioso deben ser debidamente etiquetados y marcados con el símbolo universal de riesgo biológico,⁽²⁾⁽¹⁾⁽²⁾ el cual se muestra en la figura 2.1

El envasado de los residuos en su lugar de origen temporalmente representa la primera etapa de un proceso secuencial de operaciones que conforman el sistema de manejo. Para ello debe contarse con recipientes de tamaño, forma y material adecuados, de manera que se asegure una capacidad suficiente, un fácil manejo, limpieza y hermeticidad acorde con los requerimientos sanitarios de cada zona. Se considera óptimo

el uso de contenedores cilíndricos de plástico rígido, provistos de tapa y asa, y con capacidad entre 20 y 100 litros.



Fig. 2.1. Símbolo universal de riesgo biológico.

El uso de bolsas de polietileno resistentes al autoclave, como elemento complementario del recipiente, ofrece una serie de ventajas, como la reducción de la exposición al contacto directo con los desechos del personal que los manipula. Las bolsas deben llenarse máximo al 80% de su capacidad.

Los objetos punzocortantes deben embalarse en cajas de plástico rígido no mayores de 4 litros.

2.6. Recolección interna de los residuos hospitalarios.

La tendencia actual en Latinoamérica es la de suprimir el uso de tolvas de gravedad para el transporte interno de los residuos debido a los problemas de derrame de residuos tanto en las tolvas de admisión como en las salas de recepción y a la introducción en el ambiente hospitalario de materiales contaminantes, tales como gases y partículas cuando las tolvas se encuentran en malas condiciones o son operadas de forma inconveniente.

En México, la SEMARNAP establece las siguientes disposiciones para la recolección interna de los residuos:

1. Se destinarán carros manuales de recolección exclusivamente para la recolección y depósito en el área de almacenamiento.
2. Dichos carros se desinfectarán diariamente con vapor o algún producto químico que garantice sus condiciones higiénicas.

3. Los carros deberán tener la leyenda "Uso Exclusivo para Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos" y marcados con el símbolo universal de riesgo biológico.
4. El diseño de los carros deberá prever la seguridad en la sujeción de las bolsas y los contenedores, así como el fácil tránsito dentro de la instalación.
5. Los carros no deberán rebasar su capacidad de carga durante su uso.
6. El equipo mínimo de protección del personal que efectúe la recolección consistirá en uniforme completo, guantes y mascarilla o cubreboca. Si se manejan residuos líquidos se deberán usar anteojos.

2.7. Almacenamiento temporal de los residuos hospitalarios.

El área de almacenamiento de los residuos deberá estar separada del área de pacientes, visitas, cocina, comedor, instalaciones sanitarias, oficinas y lavandería; su capacidad mínima debe ser de 3 veces el volumen promedio de residuos biológico-infecciosos generados diariamente ⁽¹³⁾

El almacén deberá estar claramente identificado con el símbolo de peligro biológico y el acceso debe ser restringido y contar con muros de contención en caso de derrames

Para establecer el tiempo de almacenamiento, la SEMARNAP hace una clasificación de los establecimientos generadores de residuos biológico-infecciosos (Tabla II.3.).

Los residuos patológicos humanos o de animales deberán conservarse a una temperatura no mayor de 4°C.

2.8. Recolección y transporte externo de los residuos hospitalarios.

La NOM-087-ECOL-1995 establece que la recolección y el transporte de los residuos biológico-infecciosos deberá realizarse conforme a lo dispuesto en el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, en el Reglamento para el Transporte de Materiales y Residuos Peligrosos y las Normas Oficiales aplicables, y deberá cumplir lo siguiente:

- Sólo podrán recolectarse los residuos que cumplan con el envasado, embalado y etiquetado que establece esta norma
- Los residuos no deberán ser compactados durante su recolección o transporte

Tabla II.3. Clasificación de establecimientos generadores de residuos biológico infecciosos.

NIVEL	DESCRIPCIÓN	ALMACENAMIENTO
NIVEL I	*Clínicas de consulta externa y veterinarias en pequeñas especies *Laboratorios clínicos que realicen de 1 a 20 análisis al día	Hasta 7 días
NIVEL II	*Hospitales que tengan de 1 a 50 camas. *Laboratorios clínicos que realicen de 21 a 100 análisis al día	Hasta 4 días
NIVEL III	*Hospitales con más de 50 camas. *Laboratorios clínicos que realicen más de 100 análisis al día *Laboratorios para la producción de biológicos. *Centros de enseñanza e investigación *Centros antirrábicos	Hasta 2 días

2.9. Tratamiento final de los residuos hospitalarios.

2.9.1. Factores para la evaluación de las tecnologías de tratamiento.

Existen varias opciones de tratamiento para los residuos biológico-infecciosos. Es necesario evaluar dichas opciones para establecer el mejor sistema de manejo para cada caso. La selección debe contemplar dos aspectos importantes.

- La selección del lugar de tratamiento.
 - En el lugar de origen.
 - Fuera del lugar de origen
- La selección del tratamiento que mejor se adapte a sus necesidades

Algunas de las ventajas del tratamiento en el lugar de origen son que se tiene un control directo sobre los residuos, además se controla con mayor facilidad el costo del tratamiento, ya que no se está sujeto a una compañía dedicada al tratamiento. Si el método de tratamiento es la incineración, se presenta la posibilidad de aprovechar el calor generado con un beneficio en costos energéticos.

Por otro lado, el tratamiento en el lugar de origen tiene serias desventajas. Al elegir esta opción, el establecimiento se compromete en una actividad que no es la función principal de la organización y se debe hacer responsable de conocer y cumplir todas las regulaciones vigentes en cada zona.

La ventaja principal del tratamiento fuera del lugar de origen radica en que la

organización se puede concentrar en sus funciones principales y su compromiso con los residuos biológico-infecciosos se limita a tenerlos empacados apropiadamente y entregarlos para el tratamiento fuera del lugar de origen. Sin embargo, la desventaja de esta opción es que se debe estar seguro de que los residuos están siendo tratados y dispuestos conforme la ley lo dictamina.

Ninguna técnica es ideal para todos los residuos biológico-infecciosos ni para todos los establecimientos, por lo tanto es necesaria una evaluación de las tecnologías para cada caso. Algunos aspectos importantes por considerar son:

- Requisitos legales: es necesario conocer la legislación en cuanto al tratamiento de los residuos, ya que ésta varía de tecnología en tecnología.
- Operación: se debe establecer la facilidad o dificultad de operación de cada tecnología, ya que de esto depende si se requieren operadores expertos o si sólo es necesario una capacitación de los mismos.
- Versatilidad: la importancia de este aspecto radica en que todos los métodos de tratamiento pueden ser usados para tratar al menos un tipo de residuos biológico-infecciosos, sin embargo, la mayoría de los generadores de residuos generan más de un tipo de residuos biológico-infecciosos, por lo tanto los generadores requieren que el método seleccionado sea aplicable a diversos tipos de residuos biológico-infecciosos.
- Separación de los residuos: como se ha visto anteriormente la composición de los residuos biológico-infecciosos es variable y por otro lado ningún método es capaz de tratar todos los residuos; por esta razón cada método requiere de cierta separación de los residuos que no es apto para tratar. En ciertos métodos también es necesario estandarizar la corriente de residuos a tratar.
- Reducción del volumen: este factor es importante, ya que todos los residuos sólidos del tratamiento son dispuestos en confinamientos controlados, y éstos estiman sus costos en base al volumen de los residuos.
- Riesgos ocupacionales: es importante tomar conciencia de que los operadores del tratamiento de los residuos biológico-infecciosos corren el mismo riesgo que el resto del personal que maneja dichos residuos, además de los riesgos inherentes al manejo del equipo necesario para cada tipo de tratamiento.
- Efectos ambientales: cada tecnología produce algún impacto ambiental, por ejemplo, casi todos los tratamientos producen residuos sólidos que deben ser confinados.

- **Costos:** en este punto se incluyen los costos de inversión, de operación y de mantenimiento. Estos costos varían, dependiendo del tipo de equipo.

2.9.2. Tipos de tratamiento.

En cuanto al tipo de tratamiento, existen varias tecnologías efectivas para el tratamiento de los residuos biológico-infecciosos. Algunas son:

- ⇒ Esterilización con vapor (Autoclave)
- ⇒ Incineración
- ⇒ Inactivación térmica / Esterilización
- ⇒ Esterilización con gas
- ⇒ Trituración / Desinfección química
- ⇒ Irradiación

De éstas, el autoclave y la incineración son las técnicas más usadas en Estados Unidos.⁽⁵⁾

2.9.2.1. Incineración.

La incineración puede reducir el volumen de los desechos hasta en un 90%, dejando como residuo, únicamente, cenizas para disponer. Un beneficio adicional de la incineración es que el sistema se puede diseñar para recuperar el calor generado por la misma y utilizarlo para requerimiento de agua caliente del establecimiento médico.⁽⁵⁾⁽⁹⁾ Estas características hacen a la incineración el método más usado para tratar la gran mayoría de los desechos biológico-infecciosos.

Las funciones principales de un incinerador de desechos hospitalarios son transformar los desechos en material inocuo y reducir su tamaño y masa. Estos objetivos se logran exponiendo los residuos a altas temperaturas durante un periodo suficiente para destruir los organismos infecciosos y quemar toda la porción combustible.

El diseño de un incinerador de desechos hospitalarios requiere de considerar diversos factores, tales como tiempo de residencia, temperatura, turbulencia y cantidad de oxígeno entre otros.

Existen tres tipos de incineradores que son los usados con mayor frecuencia en los Estados Unidos:⁽⁶⁾ incinerador de retona, incinerador de aire controlado e

incinerador de horno rotatorio.

El incinerador de aire controlado es el que más se usa y por lo tanto se describen brevemente sus partes más importantes en la Tabla 11.4

Tabla 11.4. Componentes de un incinerador de aire controlado para residuos biológico-infecciosos.⁽⁶⁾

Componente	Propósito	Funcionamiento
Cámara de combustión primaria	Secar, calentar y convertir los residuos en gases; puede tener lugar la oxidación y la pirólisis	Se usa un combustible auxiliar para elevar la temperatura de la cámara a 1600-1800°F para iniciar y mantener la combustión
Cámara de combustión secundaria	Oxidar los gases a CO ₂ y agua	Con suficiente oxígeno presente y 1800°F se logra una eficiente conversión de los compuestos orgánicos en CO ₂ y agua
Caldera	Recupera el calor de los gases	Un cambiador de calor convierte el agua en vapor
Control de contaminación atmosférica	Remueve el HCl, otros gases ácidos y partículas	Ver la Tabla 11.5
Chimenea	Dispersa los gases	Libera los gases de la cámara secundaria a una altura que permite la dilución de los gases a concentraciones permisibles

Debido a que los controladores de contaminación atmosférica pueden variar, se presentan algunos datos en la Tabla 11.5

En cuanto a las emisiones atmosféricas que produce un incinerador de residuos biológico-infecciosos la EPA ha encontrado factores de emisión de varios contaminantes. Dichos factores se muestran en la Tabla 11.5.

En la figura 2.2 se muestra el esquema de un incinerador de aire controlado

Tabla II.5. Controladores de emisiones atmosféricas usados para la incineración.⁽¹⁵⁾

Componente	Propósito	Funcionamiento
Venturi	Facilitar la neutralización de los gases ácidos	Neutraliza los gases de la chimenea mezclándolos con químicos
Torre empacada	Remover y neutralizar los gases ácidos	Consiste en una columna llena de empaques que proveen una gran superficie para que los gases y el agente neutralizante se mezclen
Inyector de cal	Remover y neutralizar los gases ácidos	Una corriente atomizada de cal se mezcla con los gases de la chimenea
Bag House	Remover partículas	Los gases de la chimenea pasan a través de filtros
Precipitador electrostático	Remover partículas	Las partículas cargadas son atraídas a las placas y removidas de los gases de la chimenea

Tabla II.6. Factores de Emisión de la Incineración no controlada de Residuos Hospitalarios.⁽¹⁴⁾

Compuesto	Factor de emisión Superior	(lb/ton alimentada) Inferior
Gases ácidos:		
HCl	99.4	6.5
SO ₂	3.01	1.47
NO _x	7.82	4.64
Materia Particulada	32.37	3.05
Metales (trazas)	8.3562×10^{-2}	3.7299×10^{-2}
Dioxinas	1.25×10^{-6}	1.43×10^{-6}
Furanos	2.18×10^{-6}	3.25×10^{-6}
Compuestos orgánicos de bajo peso molecular	6.9231×10^{-2}	
Monóxido de carbono	1.7	1.32

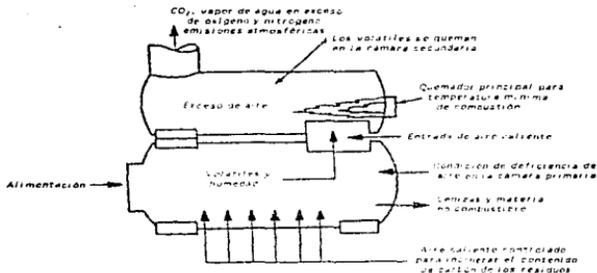


Fig. 2.2. Incinerador de aire controlado.

2.9.2.2. Esterilización con vapor.

La esterilización consiste en eliminar completamente los microorganismos de un determinado medio, para lo cual se utilizan diferentes mecanismos, tales como en calor (uso de autoclaves y de hornos especiales en los que se logran elevadas temperaturas que resultan letales para los microorganismos); la filtración (por medio de filtros de porcelana, de fibras específicas con las que se obtiene una trampa tan tupida como se desee, etc.); las radiaciones (sobre todo ultravioleta), y un gran número de productos químicos que provocan la muerte de los microbios.

La esterilización con vapor se basa en el hecho de que el vapor saturado es un poderoso agente esterilizante por sí solo. Además de los criterios de tiempo y temperatura para la esterilización, la esterilización con vapor considera un tercer criterio, el contacto directo del vapor saturado con los agentes infecciosos.

El vapor juega un doble papel en la esterilización con vapor: aumenta las propiedades del calor para destruir a los agentes infecciosos y facilita la transferencia de calor hacia los residuos. El vapor es agua en estado gaseoso y para una esterilización

eficiente éste debe ser vapor saturado.

El autoclave es el esterilizador con vapor más común. Cuenta con una cámara que resiste la temperatura y la presión del vapor; se caracteriza por tener una camisa de vapor que rodea la cámara de presión. La camisa se llena con vapor antes de cargar el autoclave. Una vez que se carga y se cierra el autoclave, el vapor entra a la cámara. Debido a que las paredes de la cámara se precalcientan, el periodo de calentamiento de los residuos es más rápido.

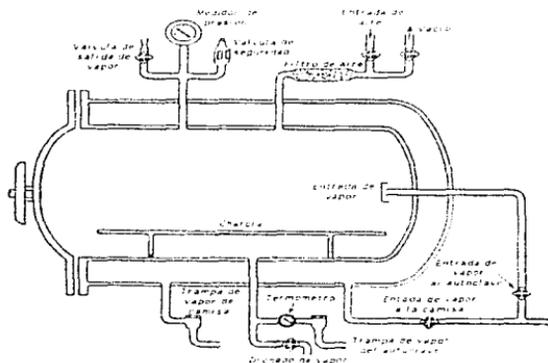


Fig. 2.3. Autoclave.

En general, la esterilización con vapor consta de seis pasos.

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Carga de los residuos | 4. Esterilización |
| 2. Vacío | 5. Descarga de vapor |
| 3. Carga de vapor | 6. Descarga de los residuos y disposición |

En cuanto al tipo de residuos que pueden ser tratados con este método, The National Research Council y la EPA recomiendan el autoclave para tratar residuos de cultivos, agentes infecciosos, agentes biológicos y material de laboratorio contaminado.¹⁶⁰⁾⁽¹⁷⁾ Además la EPA recomienda el autoclave o la incineración para los residuos de aislamiento, productos con sangre y objetos punzocortantes contaminados. Por otro lado la EPA hace notar que, si bien, el autoclave puede ser útil para tratar residuos patológicos y partes de animales, por razones de estética dichos residuos deben ser incinerados o hacerlos irreconocibles antes de su disposición final.¹⁶¹

En la figura 2.3 se muestra el esquema de un autoclave.

2.9.2.3. Inactivación Térmica / Esterilización.¹⁶¹

Este método consiste en tratar los residuos biológico-infecciosos con calor seco, es decir, sin adicionar agua, vapor o fuego. Para esterilizar con calor, los residuos deben mantenerse a cierta temperatura, tal que los microorganismos sean expuestos a dicha temperatura por un periodo mínimo de tiempo.

Es necesario decir que el calor seco es menos eficiente que el calor húmedo como agente esterilizador. Debido a esta deficiencia, esta técnica es más costosa que la esterilización con vapor. Sin embargo esta técnica tiene aplicaciones específicas, tales como el tratamiento de desechos acuosos que provienen de laboratorios industriales, de investigación y de producción farmacéutica.

2.9.2.4. Esterilización con gas.¹⁶¹

Este método de tratamiento consiste en exponer los residuos a una concentración suficientemente alta de un gas esterilizador bajo las condiciones establecidas para el periodo de tratamiento.

El óxido de etileno y el formaldehído son los agentes esterilizadores más usados en este método. Actualmente se investiga al peróxido de hidrógeno como agente esterilizador.

Debido a los riesgos asociados con la esterilización con gas, esta tecnología no se usa rutinariamente para el tratamiento de residuos, al contrario de la esterilización de material y equipo médico e industrial, y medicamentos.

2.9.2.5. Trituración / Desinfección química.⁽⁵⁾

Este método consiste en adicionar productos químicos que maten o inactiven los agentes infecciosos. Este método es apropiado para desechos líquidos, sin embargo, también puede usarse para desechos sólidos si éstos se desmenuzan antes o durante el tratamiento; esto se puede lograr con un triturador. Por el contrario, si los residuos sólidos se tratan sin triturar, este tratamiento únicamente desinfectará la superficie de los mismos.

Los compuestos clorados (principalmente el hipoclorito de sodio) son el único tipo de agentes que se usa para la desinfección de residuos biológico-infecciosos.

Con la tecnología de trituración / desinfección química los residuos sólidos son triturados y molidos como parte del proceso; al mismo tiempo la molinda se sumerge en la solución desinfectante. Al final del proceso, el líquido se desecha por el drenaje y los sólidos se colectan para disponerlos.

En cuanto a la seguridad de esta tecnología, es esencial que la trituración y la molinda se conduzcan con una presión de vacío para prevenir posibles fugas y la exposición de los operadores.

2.9.2.6. Irradiación.⁽⁵⁾

La aplicación de esta tecnología está limitada debido a:

- a) su alto costo
- b) la necesidad de equipo de protección costoso
- c) el personal altamente calificado
- d) los problemas por la disposición de material radiactivo.

Los rayos ultravioleta no penetran el material, por lo tanto, su uso está limitado a la esterilización de superficies. La aplicación específica de este método es para la esterilización de hojas de papel.

Por otro lado, los rayos gamma sí penetran a los materiales, por lo tanto, esta es una tecnología viable teóricamente para el tratamiento de residuos biológico-infecciosos, sin embargo, actualmente se usa con muy poca frecuencia.

2.9.2.7. Comparación de las tecnologías.

En esta sección se presenta una tabla comparativa de las tecnologías más empleadas actualmente, es decir, la incineración, el autoclave y la trituración / desinfección química (Tabla II.7.).

2.10. Disposición final de los residuos hospitalarios.⁽⁶⁾

Cuando los residuos biológico-infecciosos se han tratado efectivamente, éstos no presentan ningún riesgo y por lo tanto pueden ser manejados de igual forma que los residuos sólidos ordinarios.

Sin embargo, existen dos excepciones a esta generalización:

1. Para cierto tipo de residuos, como los objetos punzocortantes o los residuos patológicos, es necesario garantizar un procesamiento adicional antes de disponerlos, dependiendo del tratamiento empleado.
2. Si los residuos presentan otra característica que los haga peligrosos además de ser biológico-infecciosos, deben someterse a otro tratamiento antes de su disposición final.

Tabla II.7. Comparación de Tecnologías.

Aplicación	Casi todo tipo de residuos biológico-infecciosos	La mayoría de los residuos biológico-infecciosos	La mayoría de los residuos biológico-infecciosos
<i>Operación</i>	Complejo	Facil	Moderadamente complejo
<i>Operadores</i>	Altamente capacitados	Entrenados	Bien entrenados
<i>Separación de los residuos</i>	No	Si	Si
<i>Carga uniforme</i>	No	Si	Cuando se alimenta por tipo de residuo
<i>Efecto</i>	Residuos quemados	No varía la apariencia	Residuos triturados
<i>Reducción de volumen</i>	35-95%	30%	> 85%
<i>Riesgos ocupacionales</i>	Moderados	Bajos	Moderados
<i>Pruebas</i>	Complejas, costosas	Fáciles, baratas	En desarrollo
<i>Beneficios potenciales</i>	Recuperación de energía	Ninguno	El efluente puede usarse en lavandería
<i>Lugar (dentro/fuera)</i>	Ambos	Ambos	Ambos
<i>Regulaciones</i>	Registros	Aplicable	Aplicable
<i>Emisiones atmosféricas</i>	Alto riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo
<i>Descargas</i>	Bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo
<i>Disponición de los residuos</i>	Las cenizas se disponen en un confinamiento controlado si son peligrosas	Disponer en un relleno sanitario	El efluente se va al drenaje y los residuos a un relleno sanitario
<i>Permisos</i>	Establecimiento y emisiones atmosféricas	Ninguno	Ninguno
<i>Costos</i>	Altos	Bajos	Moderados

CAPÍTULO III.

RESIDUOS PLÁSTICOS.

Es importante destacar que este capítulo no pretende ser un estudio profundo sobre los materiales plásticos y sus residuos, sino que únicamente busca presentar un panorama general del manejo actual de los residuos plásticos.

3.1. Definición.

Un plástico se puede definir genericamente como un material orgánico sintético constituido principalmente por cadenas moleculares muy largas.

Es importante señalar que los términos "plástico" y "polímero" se manejan como sinónimos, y así se usarán en esta tesis.

Si bien es difícil definir concretamente lo que es un plástico, algunas de las características más importantes son que:

- son materiales susceptibles de ser moldeados mediante la aplicación de presiones y temperaturas relativamente bajas.
- tienen pesos moleculares muy elevados.

Otro aspecto importante de los plásticos, es la flexibilidad. Se considera que un polímero es flexible si los segmentos de su cadena pueden girar unos con respecto a otros con libertad. Así, el polibutadieno y el polietileno son polímeros que tienen cadenas flexibles, mientras que el poliestireno y el metacrilato de metilo tienen cadenas rígidas.⁽¹⁶⁾

La flexibilidad de los polímeros depende principalmente de los siguientes factores:

- Energía potencial.
- Peso molecular.
- Tamaño de los sustituyentes
- Densidad de entrecruzamiento
- Temperatura.

El factor que nos interesa en este estudio es la temperatura, y por lo tanto es importante decir que la flexibilidad es directamente proporcional a la temperatura.

3.2. Clasificación de los plásticos.

Los plásticos se pueden clasificar de diversas formas, una de ellas es la que se basa en el comportamiento de los plásticos frente al calor:

- ⇒ Termoplásticos: son los plásticos que pueden ser fundidos repetidamente y que recuperan su dureza al enfriarse. También se caracterizan porque durante su fabricación y transformación sus propiedades permanecen prácticamente sin cambio y por ello son susceptibles de ser reutilizados como materia prima en las operaciones de transformación. Tienen un punto de fusión o temperatura de reblandecimiento definida. Algunos ejemplos son: plásticos de celulosa, los acrílicos, el polietileno, el poliestireno y el polidloruro de vinilo (PVC) entre otros.
- ⇒ Termofijos: son los plásticos que no pueden ser fundidos, además son más duros y brillantes que los termoplásticos. Durante su fabricación, se produce en ellos un cambio químico o una reacción de entrecruzamiento y por lo tanto su estructura química se modifica de forma sustancial, diferenciándose de los lineales. Estos plásticos no pueden considerarse como susceptibles del proceso de reciclaje. Algunos ejemplos son: las resinas de formaldehído, el poliuretano, el poliéster insaturado y la resina epóxica, entre otros.

3.3. Problemática.

El manejo de los residuos sólidos vive hoy en día una crisis en todo el mundo. En Estados Unidos se generan 320 billones de libras de residuos sólidos municipales, aproximadamente el 85% de esta basura municipal se dispone en rellenos sanitarios.⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾

El uso de los materiales plásticos ha ido en aumento en las últimas décadas principalmente debido a que son materiales ligeros con un gran rango de usos en muy diversos campos tales como la ingeniería, la medicina y el hogar entre otros. Sin embargo, con el paso del tiempo, también se ha descubierto que algunos artículos de consumo tienen cortos tiempos de vida y rápidamente se convierten en desechos.

A pesar de que los residuos plásticos representan el 7% en peso de los residuos sólidos,⁽¹⁹⁾⁽²¹⁾ el manejo de los residuos plásticos, ha acaparado la atención de la comunidad mundial. Esto se debe principalmente a que los residuos plásticos representan, en volumen, el 30% de los residuos municipales,⁽¹⁹⁾ además de que son no

biodegradables y no reciclables (lo cual no es del todo cierto como se verá más adelante).

3.4. Legislación sobre residuos plásticos.

Desafortunadamente en nuestro país no existe legislación alguna que norme el manejo de los residuos plásticos, cualquiera que sea su origen.

En Estados Unidos la legislación a esto respecto es reciente. En octubre de 1988 se firmó el Acta de Control de la Contaminación por Plásticos (Plastic Pollution Control Act), la cual hace énfasis en la necesidad de materiales plásticos biodegradables; una ley más comprensiva es el "Acta de Desarrollo Científico y Tecnológico de Materiales Reciclables" ("Recyclable Materials Science and Technology Development Act") la cual contempla un programa para productos reciclables a nivel nacional.⁽¹⁹⁾

A nivel estatal, en Estados Unidos, la preocupación por normar el manejo de los residuos plásticos comenzó en 1978 con la introducción de botellas de PET para bebidas. En poco tiempo se establecieron normas para que dichas botellas fueran retornables.⁽¹⁹⁾

Éstos sólo son ejemplos de como cada estado está buscando la forma más adecuada de crear leyes sobre el manejo de residuos sólidos que incluyan a los plásticos.

Es importante hacer notar que esta legislación tiene dos prioridades,⁽²²⁾ más allá de sólo tratar de limpiar el ambiente y darle un tratamiento a los residuos ya generados y que se continúan generando, éstas son:

- Reciclar.
- Reducir en el origen.

En Wisconsin, reciclar significa el uso benéfico, reuso o recuperación de los residuos peligrosos. El reciclaje incluye la recuperación de energía a partir de los residuos peligrosos.⁽²³⁾

Por otro lado, en México se define tanto reciclaje como reuso; por reciclaje se entiende el método de tratamiento que consiste en la transformación de los residuos con fines productivos. La definición de reuso es el proceso de utilización de los residuos peligrosos que ya han sido tratados y que se aplicarán a un nuevo proceso de transformación o de cualquier otro.⁽¹⁷⁾

Como podemos observar, las definiciones de reciclar y reusar, en México, son muy parecidas, sin embargo, la diferencia radica en que un residuo se considera reciclable únicamente si puede volver a ser usado en la misma forma o en el mismo

proceso que lo generó.

En este trabajo, el término reciclar se usa con la acepción empleada en Estados Unidos, a menos que se indique lo contrario, ésto es debido a que la mayor parte de la literatura consultada proviene de dicho país.

La EPA define como reducción en el origen cualquier medida que reduzca el volumen de desechos, incluyendo el rediseño de productos, ampliar su tiempo de vida útil o fabricar productos más ligeros. También se incluye la disminución de la toxicidad de los residuos sólidos.⁽¹²⁴⁾

3.5. Generación de residuos plásticos.

A pesar del bajo porcentaje de residuos plásticos en la corriente de los residuos sólidos municipales, los plásticos y el papel son las fracciones de los residuos que aumentan con mayor rapidez.⁽¹²⁵⁾

Hasta 1987, la industria del plástico de Estados Unidos producía un total de 55 billones de libras de plásticos, de las cuales el público desechaba 22 billones de libras aproximadamente. Para el año 2000, se espera una producción de 75 billones de libras y un desecho de 36 billones de libras, lo cual podría constituir un 10% de los residuos municipales.⁽¹²⁶⁾

3.6. Composición de los residuos plásticos.

El principal rubro que genera residuos plásticos es el empaque y embalaje, ya que más de la mitad de los plásticos desechados se presentan en alguna de las formas antes mencionadas, dicho rubro es un área considerada como reciclable, si se tiene en cuenta que materiales como aluminio, vidrio y papel, que también se emplean como empaques o embalajes se reciclan como una práctica común.

Los empaques constituyen aproximadamente la tercera parte de los desechos de consumo y consisten principalmente de papel (48%), vidrio (27%) y plásticos (11%).⁽¹²⁷⁾

Los plásticos más empleados como empaques son termoplásticos, ya que como pueden ser fundidos y moldeados varias veces, son propicios para ser reciclados.⁽¹²⁸⁾ Los plásticos más usados son

1. Polietileno de baja densidad, LDPE	32%
2. Polietileno de alta densidad, HDPE	31%
3. Poliestireno, PS	11%
4. Polipropileno, PP	10%
5. Poli(tereftalato de etileno), PET	7%
6. Poli(cloruro de vinilo), PVC	5%

3.7. Separación de los residuos plásticos.

Debido a que la legislación referente al manejo de residuos plásticos es reciente y que no cubre toda su problemática, no existen programas específicos y establecidos para la separación de los residuos plásticos.

La principal estrategia que se ha implementado para la separación de los residuos plásticos propone que desde su fabricación, es decir desde su origen, los fabricantes identifiquen el plástico con el que están hechos sus productos. Esta identificación se ha logrado por medio de números que identifican a cada plástico que es susceptible de ser reciclado.

Los números, del 1 al 7, identifican distintos grupos de resinas, como se muestra en la tabla III.1. El reciclaje de los plásticos implica un proceso mucho más complicado que la simple fundición del aluminio dentro del reciclaje del mismo, por ello, es crucial que algunas clases de plástico no se mezclen.⁽²⁵⁾

El Partnership for Plastics Progress, un grupo industrial, dice que el 35% de las botellas fabricadas a base de PET se reusaron en 1991; la mayoría de las mismas provenía de estados que cuentan con leyes para el depósito de dichas botellas. La mayor parte de este plástico se usó para fabricar objetos que no contengan comida.⁽²⁵⁾

Otros plásticos pueden ser reciclados, pero los costos son muy elevados.

A pesar de que esta separación se lleva a cabo actualmente, no toda la gente está de acuerdo con esto, ya que algunos expertos hacen notar que cada plástico viene en cientos de variedades y por lo tanto no es posible esperar que al mezclarlos se obtenga un producto de alta calidad.

Como alternativa proponen que se disminuya el número de variedades de plásticos usados en los productos de consumo general, así como imprimir un código de barras en dichos productos de tal manera que puedan ser separados por máquinas.⁽²⁵⁾

Tabla III.1. Código numérico para el reciclaje de plásticos.

NUMERO	PLASTICO	USOS Y CARACTERISTICAS	PRODUCTO RECICLADO
	PET	Botellas flexibles para bebidas, frascos para alimentos. El 20-30% de las botellas se fabrican de PET. Es la resina más cara; mantiene el oxígeno fuera y las burbujas dentro.	Tapeles, botellas para refrescos, esques, pelotas de tenis
	HDPE	Botellas para leche y agua, detergentes líquidos. El 50-60% de las botellas se fabrica con HDPE. Es barato fuerte y se puede teñir de varios colores.	Basas de las botellas flexibles, asientos para estadios, botes de basura.
	PVC	Bolsas para empacar, aceites para cocina, empaques para comida, shampoo. el 5-10% de las botellas se fabrica con PVC. Es muy claro y resiste la degradación producida por los aceites.	Tubos, mangueras.
	LDPE	Tapas, bolsas de pan. El 5-10 % de las botellas se fabrica con LDPE. Es flexible.	Bolsas par viveres, botes de basura.
	PP	Botellas para jarabes, catsup, yogurt y margarina. el 5-10% de las botellas se fabrica con PP. Es resistente a la humedad, es flexible y no se deforma con líquidos calientes.	Cubetas para pintura, cajas de registro.
	PS	Vasos para café, charolas para carne, utensilios plásticos, cajas para videocasetes. Es ligero pero frágil; puede ser rígido o esponjado.	Cubetas, arreglos florales, botes de basura, tubos.
	Otros	Resinas varias, pueden contener metales, pegamentos u otros contaminantes.	Madera plástica.

3.8. Tratamiento y disposición final de los residuos plásticos.

3.8.1. Reciclaje.

Como ya se ha mencionado anteriormente, se ha propuesto el reciclaje de los materiales plásticos como una forma viable de tratar y disponer este tipo de residuos. Además, el reciclaje puede ser más barato que otros métodos de disposición, ya que elimina los costos de otro tipo de disposición y proporciona materiales susceptibles de ser reusados.

De los más de 300 billones de libras de residuos sólidos que se generan anualmente en Estados Unidos, únicamente se recicla el 10% aproximadamente. Los materiales más reciclados son el aluminio y el papel; alrededor del 30% de aluminio y el 20% del papel son reprocesados. Sin embargo sólo el 1% de los plásticos es reprocesado.¹¹⁰⁾

Si bien las compañías productoras de plásticos y productos plásticos practican el reciclaje interno de los residuos de sus operaciones de manufactura, ahora están encaminando sus esfuerzos a procesar los residuos generados por fuentes externas como escuelas, restaurantes de comida rápida, hogares, etc.

Es importante mencionar que el valor de los materiales reciclados únicamente se extiende dentro del mercado para dichos materiales, y los plásticos se han convertido en el material reciclado con mayor valor después del aluminio. La gran ventaja de reciclar plásticos se obtiene cuando éstos son empleados en su aplicación original o para fabricar productos con valor agregado. Si las propiedades de los plásticos no se ven afectadas por el proceso de reciclado, y si están libres de contaminantes, los polímeros reciclados pueden venderse, en algunos casos, como sustitutos de materia prima virgen.¹¹⁰⁾

El reciclaje de los plásticos no es un proceso fácil y se complica aún más cuando los productos a reciclar están fabricados a base de copolímeros o plásticos mezclados, sin embargo existen diversas tecnologías capaces de reciclar dichos materiales. Una de estas tecnologías es el proceso de "extrusión ET/1" de Advanced Recycling Technology of Belgium. Otro ejemplo es el proceso de "compresión-moldeo" de Recycloplast of West Germany.¹¹⁰⁾

3.8.2. Reducción en la fuente de origen.

La reducción en la fuente de origen es la mayor prioridad de los empaques actualmente.

El ejemplo más claro de esto es el concepto de empaques para productos concentrados.¹²⁴⁾ Esta estrategia se enfoca a un amplio grupo de productos para el hogar y alimentos. La idea consiste en ofrecer a los consumidores un producto en forma concentrada envuelto en una bolsa de polietileno y empaçado en cartón, al adquirir el producto el consumidor solo agrega agua para obtener el producto deseado. De esta forma todos obtienen un beneficio, el consumidor adquiere un producto más ligero y barato; las tiendas que ofrecen los productos ahorran en almacenaje y los productores aumentan sus ventas al ofrecer un producto más económico. La ventaja de esta estrategia es que casi cualquier producto que pueda concentrarse, desde la leche hasta el anticongelante puede formar parte del rediseño de empaques, uno de los aspectos de la reducción en la fuente de origen.

3.8.3. Incineración.

Los subproductos que genera la incineración de los residuos plásticos son considerados como productos nocivos para la salud y el ambiente, dichos productos y sus efectos son los siguientes:¹²⁶⁾

- ✦ *Dioxinas y Furanos*: son productos orgánicos sintéticos que se han ligado con defectos genéticos, cáncer y deficiencias en el sistema inmune. No existe un mecanismo totalmente aprobado que explique la formación de estos compuestos, pero algunas investigaciones sugieren que un factor importante es la combustión incompleta en la incineración de los residuos municipales cuando existe la presencia de cloro. Por lo tanto, los plásticos clorados son un factor importante en la formación de dioxinas y furanos.^{126a)}
- ✦ *Metales pesados*: las sales de plomo y de cadmio se emplean como aditivos en diversos polímeros. El cadmio se considera un carcinógeno y el plomo ha sido vinculado con daños a los sistemas neurológico y reproductivo. Después de la incineración, estos metales se dispersan en el aire o en las cenizas, las cuales deben disponerse en rellenos sanitarios, donde son susceptibles de lixiviarse y llegar a los

mantos freáticos.⁽²⁶⁾

- ➔ **Gases ácidos:** Se han identificado a las poliolefinas, estireno, PET y otros polímeros (los cuales representan más del 90% de los residuos plásticos) como polímeros limpios en la incineración. Sin embargo, el restante 10% se vincula con la emisión de gases ácidos; aquí se incluye el PVC (HCl), el nylon y el poliuretano (NO_x). Los gases ácidos contribuyen a la formación de la lluvia ácida y a la corrosión de los propios incineradores.⁽²⁵⁾⁽¹⁷⁾ Sin embargo, para evitar este tipo de emisiones, las unidades de incineración deben contar con un sistema de lavado y depuración de gases.

A pesar de dichas emisiones nocivas, se sigue afirmando que un incinerador **operado apropiadamente** es la opción de disposición de residuos más viable que existe actualmente.

Para proteger la salud y el ambiente, los incineradores modernos cuentan con varios dispositivos, tales como sistemas de control que minimizan la formación de subproductos asegurando la temperatura y cantidad de aire óptimas; también cuentan con chimeneas que interceptan las emisiones que irían a la atmósfera inyectando un compuesto de calcio que reacciona con las mismas de manera que quedan capturadas, entre otras alternativas.

En total, la incineración es capaz de reducir el peso de los desechos en aproximadamente un 75%, de acuerdo a las estimaciones de la EPA.⁽²⁵⁾

La gente que está a favor de la incineración dice que ésta puede verse como una forma de reciclaje, ya que los desechos se están convirtiendo en energía. Por ejemplo, cuando se queman poliolefinas producen 19000 BTU, el polietileno produce 17000 BTU y el PET y el PVC producen entre 7000 y 9000 BTU. Además se estima que el 7% de los residuos municipales que representan los plásticos, contribuye con el 24% de la energía producida por medio de la incineración de los residuos municipales.

Debido a la gran oposición contra la incineración (única alternativa viable para disponer grandes cantidades de residuos), ésta se usa para disponer, únicamente, el 15% de los residuos municipales de Estados Unidos, mientras que en Suiza, Japón, Francia y Suecia los porcentajes son 77%, 66%, 35% y 50% respectivamente.

CAPÍTULO IV. RESIDUOS HOSPITALARIOS PLÁSTICOS.

En los capítulos II y III se ha presentado un panorama general de las dos vertientes que tiene el problema del manejo de los residuos hospitalarios plásticos. En este capítulo, se expondrá una visión del manejo de dichos residuos.

4.1. Normas Oficiales Mexicanas en materia de especificaciones sanitarias de equipos médicos.

Haciendo una revisión de las Normas Oficiales Mexicanas referentes a las especificaciones sanitarias de equipo médico que se fabrique con plástico,⁽²⁷⁻³⁰⁾ ya sea en su totalidad o en alguna de sus partes, se encontró que los principales puntos que cubren dichas normas son los siguientes:

- ✓ Prefacio: se mencionan a las instituciones que participaron en la elaboración de la norma.
- ✓ Objetivos y Campo de aplicación: se establece cual es el objetivo de la norma y quienes están obligados a cumplirla
- ✓ Referencias: se enumeran las NOM's que complementan a la norma.
- ✓ Definiciones, símbolos y abreviaturas
- ✓ Especificaciones: en esta sección se describe el equipo y sus partes, así como el tipo de material con el cual debe fabricarse, las dimensiones del mismo. También se enumeran las pruebas de calidad y funcionamiento a las cuales debe someterse cada equipo. Las pruebas más comunes, enumeradas en las normas son:
 - Prueba de integridad.
 - Pruebas de pirógenos.
 - Prueba de funcionamiento.
 - Prueba de seguridad.
 - Partículas
 - Cambio de pH.
 - Óxido de etileno residual.
 - Metales pesados.
 - Absorbancia.
 - Prueba de reactividad intracutánea.
 - Esterilidad.
 - Espacio muerto.

- ✓ **Clasificación:** se explica con base en que se clasifican los equipos médicos que regula cada norma
- ✓ **Métodos de prueba:** se explican o se hace referencia a los métodos a seguir para comprobar las especificaciones del producto normado.
- ✓ **Marcado, empaque y embalaje.**
- ✓ **Muestreo:** En general se recomienda seguir la NOM-Z-12.
- ✓ **Concordancia con normas internacionales.**
- ✓ **Bibliografía**
- ✓ **Observancia de la norma** se establece que la vigilancia del cumplimiento de la norma corresponde a la Secretaría de Salud

Cabe señalar que solo en pocos casos las normas señalan el material plástico específico con el cual debe fabricarse determinado equipo médico (como en el caso de los guantes de exploración de polícloruro de vinilo⁽²²⁾), en general, el tipo de plástico se deja a la elección del fabricante con la única restricción de ser "PLÁSTICO GRADO MÉDICO".

De acuerdo con el Proyecto de NOM-081-SSA1-94,⁽³¹⁾ publicada en el Diario Oficial de la Federación el viernes 12 de agosto de 1994, se define al plástico grado médico como macromoléculas de polímeros o copolímeros orgánicos no tóxicos ni pirógenos con grado aceptable de reacciones tisulares, moldeables en múltiples formas por efectos del calor, la presión y la catálisis los cuales son procesados mediante formulaciones específicas.

4.2. Composición de los residuos hospitalarios plásticos.

De acuerdo a un estudio realizado por la EPA,⁽³²⁾ aproximadamente el 20% de los residuos biológico-infecciosos consiste en plásticos.

En otro estudio⁽⁷⁾, realizado en dos hospitales de Houston (uno con 150 camas y otro con 98) se reporta que el 9.4% en peso de las bolsas rojas o "red bags" (Nota 1) está constituido por PVC y el 3.8% por otros plásticos.

NOTA 1 "Red Bags" son bolsas de plástico de color rojo especialmente diseñadas para contener residuos biológico-infecciosos⁽⁷⁾. Este tipo de bolsas, presenta ciertos problemas, uno de ellos es que sino se educa al personal, éste los usa como botes de basura aumentando notablemente el volumen de residuos biológico-infecciosos. Otro problema se presenta en la disposición, ya que los encargados de los rellenos sanitarios sólo al ver el color de las bolsas creen que corren un riesgo aún cuando estos residuos hayan sido previamente esterilizados.⁽⁷⁾⁽⁵⁾

Sin embargo, en el mismo análisis se establece que esta proporción puede no representar el contenido de las bolsas rojas de hospitales más grandes o que atienden un mayor número de casos traumáticos, los cuales involucran más equipo fabricado comúnmente con PVC

Estas cifras contrastan con las reportadas para los residuos sólidos municipales, donde el contenido de PVC se establece en 0.5% en peso ⁽³⁷⁾

Esta fracción de PVC contribuye con el 80% del cloro contenido en la materia orgánica encontrada en los incineradores municipales y con la mitad del cloro total (materia orgánica más materia inorgánica) ⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾

Por otro lado, en un estudio de reciclaje de residuos plásticos realizado por el Instituto Mexicano del Seguro Social⁽⁴¹⁾ se reportan los siguientes porcentajes:

TIPO DE PLASTICO	% EN PESO
Poli(etileno de baja densidad, LDPE)	39.58
Poli(cloruro de vinilo), PVC	23.65
Poli(propileno, PP)	8.17
Hule latex	7.76
Poli(estireno, PS)	6.09
Acril(nitrilo-Butadieno-Estireno, ABS)	5.87
Hule sintético	2.37
Poli(terefalato de etileno), PET	2.03
Poli(etileno de alta densidad, HDPE)	0.59
No estudiados	3.89
TOTAL	100.00

En este estudio el 100% de plásticos equivale a 4763.86 Kg/día generados tanto en unidades médicas como no médicas, como se observa en la tabla IV.1. Esta cantidad de residuos plásticos constituye el 16.01% del total de desechos generados en las unidades del IMSS en el D.F. También se observa que el promedio de residuos plásticos biológico-infecciosos es del 15.75% que si se compara con el 20% determinado por la EPA⁽³⁷⁾ se puede considerar como una estimación válida teniendo en cuenta las tasas de generación de residuos hospitalarios en Estados Unidos y en los países latinoamericanos.

Tabla IV.1. Cantidad de residuos generados en unidades del IMSS.

DESECHOS GENERADOS EN UNIDADES DEL IMSS EN EL D.F.				
TIPO DE UNIDAD*	DESECHOS	% PLÁSTICOS	% SIN B.I.	PLÁSTICOS Kg/día
NO MÉDICA	8946.00	7.40	100.00	562.00
1º NIVEL ATENCIÓN MÉD.	4639.80	4.74	77.00	220.07
2º NIVEL ATENCIÓN MÉD.	6271.33	23.53	87.82	1475.45
3º NIVEL ATENCIÓN MÉD.	9739.21	24.71	87.99	2406.32
TOTAL	29596.34			4763.86

* 1º Nivel: establecimientos de consulta externa. Unidades Médicas Familiares (UMF).

2º Nivel: establecimientos para internar al paciente con atención básica. Hospitales regionales con algunas especialidades

3º Nivel: Establecimientos de alta especialidad. Puede haber investigación

4.3. Separación de los residuos hospitalarios plásticos.

Pese a que en algunos establecimientos de atención médica se han implantado programas para la separación de los residuos hospitalarios y así reducir la fracción de residuos biológico-infecciosos, este trabajo de tesis pretende que exista una separación de los plásticos clorados que formen parte de los residuos biológico-infecciosos. Este propósito se debe principalmente a que el tratamiento que se emplea con mayor frecuencia para destruir a los residuos biológico-infecciosos es la incineración (ver sección 2.9.2.1), sin considerar que dentro de esos residuos se incluyen plásticos clorados que favorecen la formación de dioxinas y furanos.

Otro factor importante para promover la separación de los plásticos del resto de los residuos biológico-infecciosos, es que éstos pueden causar problemas en el incinerador, tales como variaciones drásticas en la temperatura, corrosión, emisiones de HCl, dioxinas y furanos, entre otros.

4.4. Reducción de los materiales desechables.

La importancia de la reducción de los materiales desechables radica en que al ser materiales plásticos que se usan una sola vez aumentan el volumen de los residuos biológico-infecciosos

El impacto que puede causar un programa para reducir el uso de equipo y material desechable se refleja en la porción que no es biológica-infecciosa y que no se destina al incinerador. Sin embargo, la implantación de un programa para la reducción de material desechable puede ayudar a reducir la cantidad de residuos que, inadvertidamente, se manda a incinerar por estar revuelto con los residuos biológico-infecciosos. Existe evidencia de que estos residuos, que inicialmente no son biológico-infecciosos, constituyen una gran porción de los desechos que se disponen en las bolsas especiales para los residuos biológico-infecciosos (red bags), y por lo tanto influyen directamente en la cantidad de emisiones tóxicas producidas durante la incineración de los residuos biológico-infecciosos.⁽⁵⁴⁾

Por otro lado, a pesar de que algunos materiales desechables son necesarios de acuerdo al Protocolo Universal de Precauciones, la magnitud del costo de los mismos sugiere que los materiales desechables no deberían reemplazarse a los materiales reusables en todas las situaciones.⁽⁵⁵⁾

En un estudio hecho en la Universidad de Minesota,⁽⁵⁴⁾ se determinó que "el reemplazo de algunos productos desechables seleccionados con productos reusables no reduce significativamente el peso total ni los costos de disposición de los residuos sólidos hospitalarios". Sin embargo, este estudio falló al identificar los objetos que, por su uso, casi siempre se desechan junto con los residuos biológico-infecciosos y, por lo tanto, se convierten en residuos biológico-infecciosos. El reemplazo de estos artículos con material reusable es el que reportaría una minimización significativa de los residuos hospitalarios.⁽⁵⁵⁾

Diversos hospitales han reportado experiencias positivas en sus esfuerzos por reducir el uso de materiales desechables. Un hospital en Canadá (The Mineral Springs Hospital) implantó un programa para cambiar de pañales desechables a pañales reusables para los recién nacidos, reportaron, en 1991, que en un intervalo de seis meses no había un incremento considerable en los costos de lavandería y además no disminuyó la calidad en la atención a los pacientes.⁽⁵⁶⁾

Se reportó en 1990 que un hospital de Australia se hicieron varias reducciones después de un análisis para encontrar los productos potencialmente reemplazables. Se sustituyeron los vendajes desechables con vendajes reusables; esto requirió de 16 mil dólares australianos pero este costo se compensó con los ahorros en los costos de

adquisición y disposición. La reducción más significativa se obtuvo en los utensilios para la comida; los platos y vasos de poliestireno se reemplazaron con utensilios de plástico duro o porcelana, los cubiertos de plástico se sustituyeron con cubiertos de metal.⁽⁴³⁾

4.5. Incineración de residuos hospitalarios.

Tanto en el capítulo II como en el capítulo III se ha descrito en panorama de la incineración tanto para los residuos biológico-infecciosos como para los residuos plásticos, sin embargo este espacio está destinado para especificar los límites máximos permisibles de emisiones para un incinerador de residuos hospitalarios.

Los valores mostrados en la tabla IV 2 se publicaron en el Proyecto de NOM-087-ECOL-1994⁽⁴⁴⁾ en el Diario Oficial de la Federación el viernes 19 de agosto de 1994, y aún cuando en la publicación de la NOM-087-ECOL-1995 dichos valores ya no aparecen publicados como parte de la norma, en este trabajo de tesis se consideran de suma importancia. Estos valores se asemejan a los establecidos en el Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-ECOL/95 que establece el procedimiento para el control interno y el tratamiento térmico de residuos sólidos municipales, residuos peligrosos e industriales no peligrosos.

En cuanto a las cenizas resultantes se estableció que éstas deberán someterse trimestralmente a la prueba de extracción, de acuerdo a la NOM-052-ECOL-1993⁽²⁾ para identificar plomo, cadmio, cromo, mercurio y arsénico. Si al practicar la prueba las concentraciones exceden los límites establecidos en la norma oficial mexicana correspondiente, serán consideradas como residuos peligrosos.

Por otro lado, actualmente existen algunas empresas que proporcionan servicios para el manejo de residuos biológico-infecciosos, una de ellas cuenta con un sistema de Oxidación Térmica (EnviroClean). Este proceso incluye los siguientes pasos:

- Pretratamiento de los residuos
- Alimentación de los residuos
- Oxidación (cámaras de combustión primaria y secundaria)
- Enfriamiento de los gases
- Lavado de gases

En cuanto a las temperaturas que se manejan en las cámaras de combustión, se afirma que con dichas temperaturas evitan el rango de temperatura que favorece la formación de dioxinas y furanos y aun cuando en sus emisiones existen éstas, es a nivel de trazas.

Temperatura en la cámara de combustión primaria: 980 °C
 Temperatura en la cámara de combustión secundaria 1100 °C
 Tiempo de residencia en la cámara de combustión secundaria: > 2.6 segundos

Tabla IV.2. Niveles máximos de emisión a la atmósfera.

Niv. Max. Permisibles	mg/m ³ (zonas críticas)	mg/m ³ (resto del país)	Frecuencia
Partículas	30.0	100.0	semestral
CO	100.0	100.0	-
HCl	50.0	75.0	-
SO ₂	100.0	100.0	-
Pb	5.0	5.0	semestral
Cd más Hg	0.2	0.2	-
Cr ⁺⁶	0.5	0.5	-
As	0.5	0.5	-
Dibenzodioxinas y dibenzofuranos clorados	≤ 0.5 ng/m ³	≤ 0.5 ng/m ³	anual

*Corrección a 11% de O₂ y condiciones estándares de presión y temperatura (25 °C, 1 atm).

4.6. Sustitutos para el PVC.

4.6.1. PVC plastificado.

Una de las mayores aplicaciones del PVC plastificado es la fabricación de bolsas para sangre, ya que es biocompatible, tiene buenas propiedades mecánicas y es barato. Dichas bolsas pueden resistir una gran tensión y se pueden sellar fácilmente con calor. Por lo tanto, un sustituto para el PVC plastificado debe contar con las mismas características, además de que debe ser inherentemente flexible para eliminar el uso de plastificantes y no debe contener cloro u otros halógenos.⁽⁴⁵⁾

Green⁽⁴⁵⁾ afirma que el uso de copolímeros cumple con los requisitos. Dichos copolímeros existen comercialmente, algunos son el poliéter-poliuretano (Biomer de Ethicon) y poliuretano-poliadialsiloxano (Avcothane de Avco Medical Products).

4.6.2. PVC rígido.

De acuerdo a Green,⁽⁴⁵⁾ existe una gran cantidad de plásticos que comparten las mismas características que el PVC rígido y que no contienen cloro. La lista de candidatos potenciales incluye el polipropileno, el policarbonato, el poli(tereftalato de butileno), el poli(tereftalato de etileno) y el poliestireno. El poliestireno, junto con el PVC, se encuentra entre los plásticos más baratos.

4.6.3. Costos.

El PVC es comúnmente el plástico más barato, esto se debe principalmente al amplio uso que se le da y su precio es menor por la escala de la economía. Green argumenta que otros plásticos pueden ser más competitivos con el PVC si se estimula la demanda de estos polímeros.

El costo de los polímeros para equipos médicos puede ir de 0.75 a 3 dólares por libra. Por eso, aún un aumento en el precio de los polímeros tendría un efecto pequeño en el precio final del producto.

CAPÍTULO V. PARTE EXPERIMENTAL.

5.1. Selección y recolección del material.

La selección del material se llevó a cabo con base al Cuadro Básico de Material de Curación y Prótesis del Sector Salud,⁽⁴⁶⁾ escogiendo de éste los materiales y equipos médicos fabricados con plástico. De este primer grupo se obtuvieron 19 muestras nuevas, principalmente provenientes del ISSSTE.

Aún cuando se tenía contemplado el análisis de las muestras, se contactó a varios fabricantes de material médico para obtener información a cerca de la composición de sus productos, sin embargo todos se negaron a proporcionar dicha información.

Las muestras a estudiar son representativas de los desechos hospitalarios y se muestran en la tabla V.1. (ver anexo 1 para una mayor descripción)

Tabla V.1. Material estudiado a la largo de este trabajo de tesis.

Jeringas	Especulos
Góteros	Cánulas
Ropa médica	Multicampo
Abatelenguas	Sonda infantil
Guante para exploración	Equipo para venoclisis
Sonda para drenaje urinario	Frasco de medicina
Vaso de medicina	Catéter para oxígeno
Equipo de transfusión	Tubo para enema
Sonda para temas	Catéter
Sonda gastrointestinal	Eyector dental

5.2. Identificación del material.

Para la identificación del plástico que compone a cada una de las muestras se estableció una metodología que consiste en someter dichas muestras a 3 sencillas técnicas experimentales: prueba de combustión, prueba de densidad y prueba de punto de fusión.

5.3. Metodología de identificación del material.

5.3.1. Prueba de combustión.

Debido a que los plásticos generan emisiones tóxicas durante la combustión, tales como ácido clorhídrico, monóxido de carbono y ácido cianhídrico, es esencial realizar esta prueba en una buena campana de extracción y con muestras muy pequeñas de material.⁽²⁾

La prueba de combustión o ensayo a la flama es una prueba de análisis destructivo y de identificación preliminar para distinguir entre una amplia gama de plásticos.

Para realizar esta prueba se usa un mechero Bunsen, la muestra se analiza tanto dentro como fuera de la flama con ayuda de unas pinzas. Se debe observar si la muestra se reblandece, si se quema o se carboniza, si se producen vapores o humo y su pH, si permanece encendida aún al retirarla de la flama o si se autoextingue, si gotea, qué clase de residuo queda después de la combustión y que olor produce.^{(47) (48)}

5.3.2. Prueba de densidad.

Los plásticos tienen densidades dadas en un rango de valores. Además, la densidad de los plásticos depende de varias características, tales como la linealidad de su molécula, el grado de cristalinidad, el peso molecular y su historia térmica.⁽⁴⁷⁾

La medición de la densidad es un ejemplo de análisis no destructivo y también se considera un ensayo preliminar de identificación de plásticos.

Para determinar la densidad de las muestras se utilizó el método de flotación. Dicho método consiste en introducir la muestra en una gama de soluciones de densidades conocidas y observar si la muestra flota o se sumerge en cada una de las soluciones. Su comportamiento indica una aproximación de su densidad.⁽⁴⁹⁾

La densidad de los plásticos abarca un rango de 0.88 - 2.3 g/cm³

Para cubrir el rango de 0.66 - 1 g/cm³ se hicieron mezclas acuosas de alcohol isopropílico, cuya densidad teórica es de 0.786 g/cm³. La densidad de estas mezclas se determinó pesando una alícuota de 50 ml de cada solución en una balanza analítica y relacionando ambos valores para calcular la densidad, ρ , ($\rho = \text{masa/volumen} = \text{g/cm}^3$). Los valores de densidad obtenidos, así como la concentración de cada solución se muestran en la tabla V.2. Es importante hacer notar que el alcohol isopropílico empleado para hacer

las soluciones tenía una densidad de 0.8045 g/cm^3 , dicha densidad se calculó de igual manera.

En cuanto al rango de densidad de $1 - 2.3 \text{ g/cm}^3$ se emplearon las sustancias que se muestran en la tabla V.3. Para esta gama de soluciones y sustancias también se pesó una alícuota de 50 ml.

Tabla V.2. Gama de soluciones con densidades de $0.86 - 1 \text{ g/cm}^3$.

SUSTANCIA	ALICUOTA	PESO (g)	DENSIDAD (g/cm^3)
Alcohol isopropílico (acuoso) 80%	50 ml	43.1605	0.8632
Alcohol isopropílico (acuoso) 70%	50 ml	44.4850	0.8897
Alcohol isopropílico (acuoso) 60%	50 ml	45.6599	0.9132
Alcohol isopropílico (acuoso) 50%	50 ml	46.6673	0.9333
Alcohol isopropílico (acuoso) 40%	50 ml	47.3893	0.9478
Alcohol isopropílico (acuoso) 30%	50 ml	48.2255	0.9645
Alcohol isopropílico (acuoso) 20%	50 ml	48.7750	0.9755
Alcohol isopropílico (acuoso) 10%	50 ml	49.2630	0.9853
Agua destilada	50 ml	49.8462	0.9989

Tabla V.3. Gama de soluciones con densidades de $1-2 \text{ g/cm}^3$.

SUSTANCIA	ALICUOTA	PESO (g)	DENSIDAD (g/cm^3)
MgSO_4 al 30% (acuoso)	50 ml	61.9581	1.2391
Glicerina pura	50 ml	62.6797	1.2536
Sacarosa al 90% (acuosa)	50 ml	67.9362	1.3587
KI al 60% (acuoso)	50 ml	78.8990	1.5779
KI (solución saturada)	50 ml	85.4008	1.7080
AgNO_3 (solución saturada)	50 ml	103.7215	2.0788

5.2.3. Punto de fusión.

Todos los plásticos cristalinos tienen un punto de fusión bien definido y el cambio de fase es fácil de detectar. En contraste, los plásticos amorfos se reblandecen en un rango amplio de temperatura y en consecuencia, el punto de fusión es difícil de medir.

Para medir el punto de fusión de los residuos médicos plásticos, se empleó un aparato Fisher-Johns (ASTM D 795).⁽⁴⁰⁾ Este aparato consta de una platina de calentamiento controlada mediante un reóstato, un termómetro de 0-300 °C y de una lupa.

El termómetro se calibra determinando el punto de fusión de cuatro compuestos conocidos y comparando su punto de fusión teórico (descrito para el producto 100% puro) con el obtenido en el aparato Fisher-Johns. En la tabla V.4. se muestran dichos valores.

Tabla V.4. Valores para la calibración del termómetro.

COMPUESTO	P. FUSIÓN REPORTADO EN LA LITERATURA ⁽⁶⁰⁾	P. FUSIÓN EXPERIMENTAL
Benzofenona	47-49 °C	46-47 °C
Acido Benzoico	121-122 °C	123-124 °C
Benzoína	134-136 °C	133-135 °C
2,4 Dinitrofenilhidrazina	215-217 °C	205-207 °C

Con estos valores se construye una gráfica para corregir los puntos de fusión de los residuos estudiados. En la figura 5.1. se muestra dicha gráfica, los valores reportados en la literatura se colocan en el eje de las abscisas y los valores experimentales se colocan en el eje de las ordenadas al origen.

El método consiste en colocar una pequeña astilla del material plástico entre dos cubreobjetos y sobre la platina de calentamiento. Después se incrementa la temperatura gradualmente hasta que el material funde o se ablanda lo suficiente para deformarse. A esa temperatura se le considera como el punto de fusión.

Este método es útil tanto para plásticos cristalinos como plásticos amorfos, ya que aún cuando los plásticos amorfos no funden propiamente si se logra observar el reblandecimiento de los mismos.

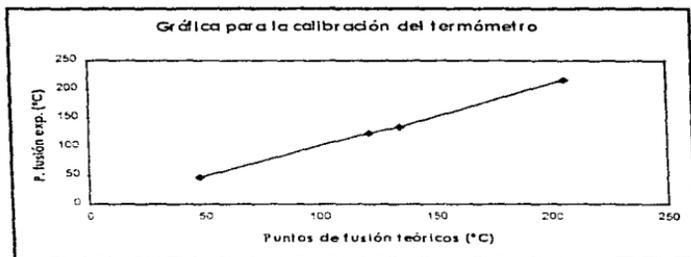


Figura 5.1. Calibración del termómetro del aparato Fisher-Johns.

5.3. Corroboración de la metodología de identificación.

Con el objeto de corroborar la metodología de identificación propuesta, se realizó el análisis de Infrarrojo (IR) de los equipos y utensilios estudiados.

La absorción de radiación de longitudes de onda entre 4000 y 600 cm^{-1} causa estiramientos y vibraciones de los enlaces presentes en las moléculas, en este caso en la moléculas de los polímeros. Los movimientos de un grupo funcional determinado son independientes del resto de la molécula y comparables a los que se observan en compuestos de bajo peso molecular con estructuras similares. Las bandas características están relacionadas a los grados de libertad de los movimientos de rotación, translación y vibración. Estos movimientos están relacionados con el número de átomos en las moléculas simples y al número de átomos en la unidad repetitiva en la molécula del polímero.⁽⁵¹⁾

Los espectrofotómetros de IR se deben modificar para obtener el espectro de reflexión interna que es similar pero no idéntico al de absorción y sobre todo características del espectro de cada polímero examinado. La espectroscopia de reflectancia interna o reflectancia total atenuada (attenuated total reflectance), ATR, se puede usar para analizar polímeros in situ. En contraste con la espectroscopia de transmisión clásica, que requiere de películas transparentes, soluciones o pastillas, para las mediciones en ATR no se requiere transparencia.⁽⁵¹⁾

En este trabajo se empleo el método de ATR, haciendo uso del kit para ATR del espectrofotómetro de IR Nicolet Impact 410 para las muestra flexibles susceptibles de este método. En este método las muestras no requieren de una preparación especial, sino que únicamente se coloca la muestra sobre la celda procurando cubrir completamente la misma con ayuda de una prensa

Por otro lado, se empleo el kit de reflectancia difusa para las muestras rígidas estudiadas. En este caso la preparación de las muestras consiste en raspar el material a estudiar con una pequeña lija y ésta, con la muestra, se coloca en el equipo para hacer el análisis.

CAPÍTULO VI. RESULTADOS.

Para llevar a cabo un análisis comparativo de los resultados, éstos se presentan en tres tablas. En la tabla VI.1 se presentan los resultados de la prueba de combustión obtenidos experimentalmente así como los resultados reportados en la literatura que más se asemejan a lo observado; en la tabla VI.2 se encuentran los valores obtenidos para la densidad de las muestras al igual que los valores reportados en la literatura; y en la tabla VI.3 se muestran los puntos de fusión obtenidos en el aparato Fisher-Johns y los presentados en la literatura

6.1. Prueba de combustión.

Tabla VI.1. Resultados de la prueba de combustión.*

MUESTRA	COMBUSTIÓN
Jeringa	<p>EXP. Se prende al estar en la flama. Al calentarse se vuelve transparente y al enfriarse recupera su forma translúcida. Permanece encendida aún al retirarla de la flama. No desprende humo. Su pH es neutro.</p> <p>LIT. Probable PP o PE. Se quema aún al retirarlo de la flama. Gotea y huele como una vela. A temperatura ambiente es translúcida y se vuelve transparente al calentarlo. Recupera su forma translúcida.</p>
Abatelenguas	<p>EXP. Se prende al estar en la flama. Se derrite y gotea. Permanece encendida aún al retirarla de la flama. No desprende humo. Su pH es neutro.</p> <p>LIT. Probable PP o PE.</p>
Sonda para drenaje urinario	<p>EXP. Se prende fácilmente, se derrite y gotea. La flama es muy tiznada, el humo es negro y huele a llanta quemada. Produce chispas. El residuo queda carbonizado. Su pH es neutro.</p> <p>LIT. Probable Látex. Se reblandece y se quema vigorosamente con humo negro. Si está vulcanizado tiene un olor sulfuroso. Puede producir humos ácidos dejando un residuo carbonizado.</p>

*La prueba se llevó a cabo por duplicado

Tabla VI.1. Continuación.

MUESTRA	COMBUSTIÓN
Guante para exploración	<u>EXP</u> : Se retrae ante la flama, pero al estar dentro se prende rápidamente. No desprende humo, excepto al apagarse. El residuo se oscurece ligeramente. Su pH es neutro. <u>LIT</u> : Probable PP ó PE. Se quema aún al retirarlo de la flama. Gotea y huele como una vela. A temperatura ambiente es translúcido y se vuelve transparente al calentarlo. Recupera su forma translúcida.
Espéculo	<u>EXP</u> : Se prende y se quema sin desprender humo. Se derrite y gotea. Al apagarse produce humo blanco. Su pH es neutro. <u>LIT</u> : Probable PP ó PE
Frasco de medicina	<u>EXP</u> : Se prende con dificultad, se derrite y gotea. No produce humo. Adquiere un ligero color verde al estarse quemando. Su pH es neutro. <u>LIT</u> : Probable PP ó PE
Vaso de medicina	<u>EXP</u> : Se prende y adquiere transparencia al calentarse; se vuelve translúcido al enfriarse. Se ablanda y se hace elástico. No produce humo. Huele a parafina. Su pH es neutro. <u>LIT</u> : Probable PP ó PE
Ropa Médica	<u>EXP</u> : Se quema con una flama anaranjada. El humo que desprende es negro y con olor a quemado. Como residuo quedan cenizas negras. Se quema aún al retirarlo de la flama. <u>LIT</u> : No coincide con las características de ningún plástico.
Multicampo	<u>EXP</u> : Se quema rápidamente aún al retirarlo de la flama. Se quema con flama anaranjada y humo negro. <u>LIT</u> : No coincide con las características de ningún plástico.
Eyector: a)Tubo	a) <u>EXP</u> : Se prende al estar en la flama. Se derrite y gotea. Permanece encendida aún al retirarlo de la flama. No desprende humo. Su pH es neutro.
b)Punta	b) <u>EXP</u> : Se prende al estar en contacto con la flama, se derrite, gotea y huele a parafina. Se torna transparente con el calor y translúcido al enfriarlo. Su pH es neutro. <u>LIT</u> : Probable PP ó PE

Tabla VI.1. Continuación.

MUESTRA	COMBUSTIÓN
Cánula:	a) EXP: Se prende al estar en contacto con la flama, se derrite, gotea y huele a parafina. Se torna transparente con el calor y translúcido al enfriarlo. Su pH es neutro. LIT: Probable PP ó PE
a) Tapón de la aguja.	
b) Tapón inferior	b) EXP: Prende y se quema sin desprender humo. Se derrite y gotea. Se torna transparente al calentarlo y translúcido al enfriarlo. Su pH es neutro LIT: Probable PP ó PE
Equipo para venoclisis:	a) EXP: No se retrae ante la flama. El borde de la flama es verde. Produce humo negro. Se autoextingue. Su pH es ácido.
a) Tubo	LIT: Probable PVC. Produce humo negro y los vapores son ácidos por el HCl producido. Puede notarse el olor a HCl. Se autoextingue. La flama tiene el borde verde
b) Válvula	b) EXP: No se retrae ante la flama. Produce humo negro. El residuo es ceniza oscura. Su pH es neutro. LIT: Probable PS. Se quema rápidamente produciendo humo negro.
c) Bayoneta	c) EXP: No se retras ante la flama. Produce humo negro. El residuo es ceniza oscura. Su pH es neutro LIT: Probable PS
d) Cámara de goteo	d) EXP: Se quema al estar en la flama, pero se extingue al retirarlo. Se reblandece y se vuelve chicoso. Produce humo negro. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido LIT: Probable PVC
e) Tapon azul	e) EXP: Se prende fácilmente, se derrite y gotea. No produce humo. Al calentarse se vuelve transparente y translúcido al enfriarse. Su pH es neutro. LIT: Probable PP ó PE
f) Tapón de la bayoneta	f) EXP: Se prende fácilmente, se derrite y gotea. Al calentarse se vuelve transparente y translúcido al enfriarse. Produce humo blanco al apagarse y huele a parafina. Su pH es neutro LIT: Probable PP ó PE.

Tabla VI.1. Continuación.

MATERIAL	COMBUSTIÓN
Gotero: a) Tubo	<p>a) <u>EXP</u>: Se prende al estar en la flama y se reblandece. Al calentarse se vuelve transparente y translúcido al enfriarse. No produce humo. Su pH es neutro</p> <p><u>LIT</u>: Probable PP ó PE.</p>
b) Base	<p>b) <u>EXP</u>: Se prende al estar en la flama, se derrite y gotea ligeramente. No produce humo. Su pH es ligeramente ácido.</p> <p><u>LIT</u>: Probable PP ó PE.</p>
c) Goma	<p>c) <u>EXP</u>: No se retrae ante la flama. Se quema vigorosamente con flama muy tiznada y humo negro. El residuo queda carbonizado. Su pH es ligeramente ácido.</p> <p><u>LIT</u>: Probable Látex.</p>
Sonda gastroin-	
testinal: a) Tubo	<p>a) <u>EXP</u>: No se retrae ante la flama. Tarda en prender y se autoextingue. Se quema con flama ligeramente verde y humo negro. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido.</p> <p><u>LIT</u>: Probable PVC.</p>
b) Conector	<p>b) <u>EXP</u>: No se retrae ante la flama. Se autoextingue. Se quema con flama verde y humo negro. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido.</p> <p><u>LIT</u>: Probable PVC.</p>
Sonda infantil:	
a) Tubo	<p>a) <u>EXP</u>: Se quema vigorosamente con flama de borde verde y humo negro. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido.</p> <p><u>LIT</u>: Probable PVC.</p>
b) Conector	<p>b) <u>EXP</u>: No se retrae ante la flama. Se quema con flama verde y humo negro. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido.</p> <p><u>LIT</u>: Probable PVC.</p>
Catéter	<p><u>EXP</u>: Se prende fácilmente. Al calentarlo se vuelve transparente y translúcido al enfriarse. Se derrite y gotea. No produce humo. Su pH es neutro.</p> <p><u>LIT</u>: Probable PP ó PE.</p>

Tabla VI.1. Continuación

MATERIAL	COMBUSTION
Catéter para oxígeno: a)Tubo	<p>a)<u>EXP.</u> No se retrae ante la flama. Tarda en prender pero se quema produciendo humo negro. La flama tiene el borde verde. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido.</p> <p><u>LIT.</u> Probable PVC</p>
b)Conector	<p>b)<u>EXP.</u> No se retrae ante la flama. Se reblandece al estar en la flama y después se quema vigorosamente con flama verde y humo negro. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido</p> <p><u>LIT.</u> Probable PVC</p>
Sonda para	
flemas: a)Tubo	<p>a)<u>EXP.</u> Al estar en la flama se reblandece y se quema con flama tiznada y de borde verde. Produce humo negro. El residuo queda tiznado. Su pH es ácido</p> <p><u>LIT.</u> Probable PVC</p>
b)Conector	<p>b)<u>EXP.</u> Se prende y se quema sin producir humo. Se reblandece y gotea. Al calentarlo se vuelve transparente y translúcido al enfriarse. Su pH es neutro</p> <p><u>LIT.</u> Probable PP ó PE.</p>
Tubo para enema:	
a)Tubo	<p>a)<u>EXP.</u> Tarda en prender, se reblandece y se quema con flama tiznada y de borde verde. Produce humo negro. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido.</p> <p><u>LIT.</u> Probable PVC</p>
b)Conector	<p>b)<u>EXP.</u> Tarda en prender se reblandece y se quema con flama tiznada y con el borde verde. Produce humo negro. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido.</p> <p><u>LIT.</u> Probable PVC</p>
c)Regulador	<p>c)<u>EXP.</u> Se prende con facilidad, se reblandece y gotea. Se decolora ligeramente al calentarse y recupera su color oscuro al enfriarse. No produce humo. Su pH es neutro.</p> <p><u>LIT.</u> Probable PP ó PE</p>

Tabla V.1.1. Continuación.

MUESTRA	COMBUSTION
Equipo de transfusión:	
a)Tubo	a)EXP: Se prende y se quema vigorosamente con flama tiznada y con el borde verde. Produce humo negro. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido. LIT: Probable PVC
b)Válvula	b)EXP: No se retrae ante la flama. Produce humo negro. El residuo es ceniza obscura. Su pH es neutro. LIT: Probable PS
c)Bayoneta	c)EXP: No se retrae ante la flama. Produce humo negro. El residuo es ceniza obscura. Su pH es neutro. LIT: Probable PVC.
d)Protector de la bayoneta	d)EXP: Prende con una flama pequeña, se reblandece y gotea. No produce humo. Huele a parafina. Su pH es neutro. LIT: Probable PP ó PE
e)Cámara de goteo	e)EXP: No se retrae ante la flama. Se quema con flama tiznada y de borde verde. Produce humo negro. Se autoextingue. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido. LIT: Probable PVC
f)Adaptador	f)EXP: Se prende y se quema sin humo. Se reblandece y gotea. Se torna transparente al calentarlo y translúcido al enfriarse. Su pH es neutro. LIT: Probable PP ó PE
g)Base de cámara de goteo	g)EXP: Se quema con flama tiznada y con borde verde. Produce humo negro. Se autoextingue. El residuo queda carbonizado. Su pH es ácido. LIT: Probable PVC

Blumberg⁽⁴⁷⁾ y Braun⁽⁴⁸⁾ establecen las características de la combustión de diversos plásticos y son las reportadas en este trabajo (LIT)

6.2. Prueba de densidad.

Tabla V1.2. Resultados de la prueba de densidad.*

MUESTRA	DENSIDAD EXP. (g/cm ³)	DENSIDAD LIT. (g/cm ³)
Jeringa	0 8897-0 9132	0.85-0.92 (PP)
Abatelenguas	0 8897-0 9132	0.85-0.92 (PP)
Sonda para drenaje urinario	0 9132-0 9333	0.92-1.3 (Látex)
Guante para exploración	0.9478-0.9645	0.89-0.98 (PE)
Espéculo	0 8897-0 9132	0.85-0.92 (PP)
Frasco de medicina	0 9132-0 9333	0.89-0.98 (PE)
Vaso de medicina	0 8897-0 9132	0.89-0.98 (PE)
Ropa médica	0.8045	————
Envoltura Multi-campo	0 9989-1 2391	————
Catéter	0 8897-0 9132	0 85-0 92 (PP)
Canúla: a) Tapón de la aguja	0 9333-0.9478	0.89-0.98 (PE)
b) Tapón inferior	0 8632-0 8897	0.85-0.92 (PP)
Equipo para venoclisis:		
a) Tubo	1 2535-1.3587	1 19-1.55 (PVC)
b) Válvula	0 9989-1 2391	1 04-1.06 (PS)
c) Bayoneta	0 9989-1 2391	1.04-1.06 (PS)
d) Cámara de goteo	1 2535-1.3587	1 19-1.55 (PVC)
e) Tapón azul	0 8897-0 9132	0 85-0.92 (PP)
f) Tapón de la bayoneta	0 8897-0.9132	0 89-0.98 (PE)
Gotero: a) Tubo	0 9132-0 9333	0 89-0.98 (PE)
b) Base	0 8897-0 9132	0 85-0.92 (PP)
c) Goma	0 9989-1 2391	0 92-1.3 (Látex)
Sonda gastrointestinal:		
a) Tubo	0 9989-1 2391	1 19-1.55 (PVC)
b) Conector	0 9989-1 2391	1.19-1.55 (PVC)

*Todas las mediciones se realizaron por duplicado.

Tabla VI.2. Continuación.

MUESTRA	DENSIDAD EXP. (g/cm ³)	DENSIDAD LIT. (g/cm ³)
Sonda infantil: a) Tubo	0.9989-1.2391	1.19-1.55 (PVC)
b) Conector	1.2535-1.3587	1.19-1.55 (PVC)
Catéter para oxígeno: a) Tubo	1.2391-1.2536	1.19-1.55 (PVC)
b) Conector	0.9989-1.2391	1.19-1.55 (PVC)
Tubo para enema: a) Tubo	0.9989-1.2391	1.19-1.55 (PVC)
b) Conector	0.9989-1.2391	1.19-1.55 (PVC)
c) Regulador	0.9478-0.9645	0.89-0.98 (PE)
Sonda para flemas: a) Tubo	0.9989-1.2391	1.19-1.55 (PVC)
b) Conector	0.9333-0.9478	0.89-0.98 (PE)
Eyector: a) Tubo	0.8897-0.9132	0.85-0.92 (PP)
b) Punta	0.9478-0.9645	0.89-0.98 (PE)
Equipo de transfusión:		
a) Tubo	0.9989-1.2391	1.19-1.55 (PVC)
b) Vávula	0.9989-1.2391	1.04-1.08 (PS)
c) Bayoneta	0.9989-1.2391	1.04-1.08 (PS)
d) Protector de la bayoneta	0.9132-0.9333	0.89-0.98 (PE)
e) Cámara de goteo	1.2335-1.3587	1.19-1.55 (PVC)
f) Adaptador	0.8897-0.9132	0.85-0.92 (PP)
g) Base de la cámara de goteo	1.2391-1.2536	1.19-1.55 (PVC)

Blumberg,⁽⁴⁷⁾ Rosato,⁽⁴⁸⁾ Saccing,⁽⁴⁹⁾ Mark⁽⁵⁰⁾ y Braun⁽⁴⁰⁾ establecen valores de densidad de diversos plásticos y son las reportadas en este trabajo (LIT)

6.3. Punto de fusión.

Tabla VI.3. Resultados de punto de fusión.*

MUESTRA	P. FUSIÓN EXP. (°C)	P. FUSIÓN LIT. (°C)
Jeringa	150-157	158-170 (PP)
Abatelenguas	155-165	158-170 (PP)
Sonda para drenaje urinario	195-205	-----
Guante para exploración	95-100	105-140 (PE)
Espóculo	150-158	156-170 (PP)
Frasco de medicina	90-105	105-140 (PE)
Vaso de medicina	95-103	105-140 (PE)
Ropa médica	220-230 (se decolora)	-----
Envoltura Multi-campo	210-230 (se decolora)	-----
Catéter	160-165	156-170 (PP)
Canula: a) Tapon de la aguja b) Tapón inferior	a) 120-125 b) 140-153	a) 105-140 (PE) b) 158-170 (PP)
Equipo para venoclisis:		
a) Tubo	a) 65-85 (reblandece) 150 (funde)	a) 75-90. reblandece, 199. funde (PVC)
b) Válvula	b) 120-135	b) 70-115 (PS)
c) Bayoneta	c) 120-135	c) 70-115 (PS)
d) Cámara de goteo	d) 85-100 (reblandece) 150 (funde)	d) 75-90. reblandece; 199. funde (PVC)
e) Tapon azul	e) 133-143	e) 158-170 (PP)
f) Tapón de la bayoneta	f) 105-110	f) 105-140 (PE)
Gotero: a) Tubo	a) 115-120	a) 105-140 (PE)
b) Base	b) 155-165	b) 158-170 (PP)
c) Goma	c) 200-207	c) -----

*Todas las mediciones se realizaron por duplicado

Tabla VI.3. Continuación.

MUESTRA	P. FUSION EXP. (°C)	P. FUSIÓN LIT. (°C)
Sonda gastrointestinal:		
a) Tubo	a) 70-80 (reblandece) 150-160 (funde)	a) 75-90, reblandece; 199, funde (PVC)
b) Conector	b) 70-80 (reblandece) 150-160 (funde)	b) 75-90, reblandece. 199, funde (PVC)
Sonda infantil: a) Tubo	a) 90-95 (reblandece) 132-143 (funde)	a) 75-90, reblandece. 199, funde (PVC)
b) Conector	b) 90-95 (reblandece) 128-140 (funde)	b) 75-90, reblandece. 199, funde (PVC)
Catéter para oxígeno: a) Tubo	a) 130-150	a) 75-90, reblandece. 199, funde (PVC)
b) Conector	b) 135-155	b) 75-90, reblandece. 199, funde (PVC)
Tubo para enema: a) Tubo	a) 70-75 (reblandece) 140-145 (funde)	a) 75-90, reblandece. 199, funde (PVC)
b) Conector	b) 70-75 (reblandece) 140-150 (funde)	b) 75-90, reblandece 199, funde (PVC)
c) Regulador	c) 125-128	c) 105-140 (PE)
Sonda para flemas: a) Tubo	a) 70-80 (reblandece) 115-130 (funde)	a) 75-90, reblandece, 199, funde (PVC)
b) Conector	b) 127-130	b) 105-140 (PE)
Eyector: a) Tubo	a) 160-165	a) 158-170 (PP)
b) Punta	b) 98-107	b) 105-140 (PE)

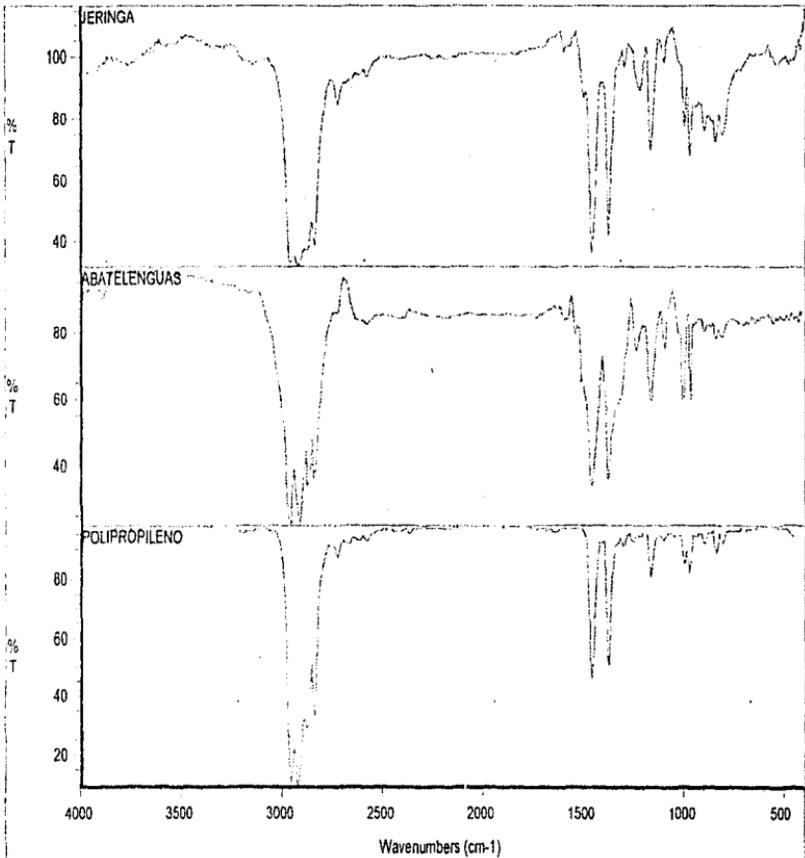
Tabla VI.3. Continuación.

MUESTRA	P. FUSIÓN EXP. (°C)	P. FUSIÓN LIT. (°C)
Equipo de transfusión:		
a) Tubo	a) 118-130	a) 75-90, reblandece. 199, funde (PVC)
b) Vávula	b) 123-137	b) 70-115 (PS)
c) Bayoneta	c) 120-132	c) 70-115 (PS)
d) Protector de la bayoneta	d) 98-110	d) 105-140 (PE)
e) Cámara de goteo	e) 80-85 (reblandece) 105-120 (funde)	e) 75-90, reblandece. 199, funde (PVC)
f) Adaptador	f) 158-165	f) 158-170 (PP)
g) Base de la cámara de goteo	g) 80-85 (reblandece) 110-120 (funde)	g) 75-90, reblandece. 199, funde (PVC)

Blumberg,⁽⁴²⁾ Rosato⁽⁵²⁾, Saecting,⁽⁵⁵⁾ Mark⁽⁵⁴⁾ y Braun⁽⁴⁹⁾ establecen valores de punto de fusión de diversos plásticos y son las reportadas en este trabajo (Lit).

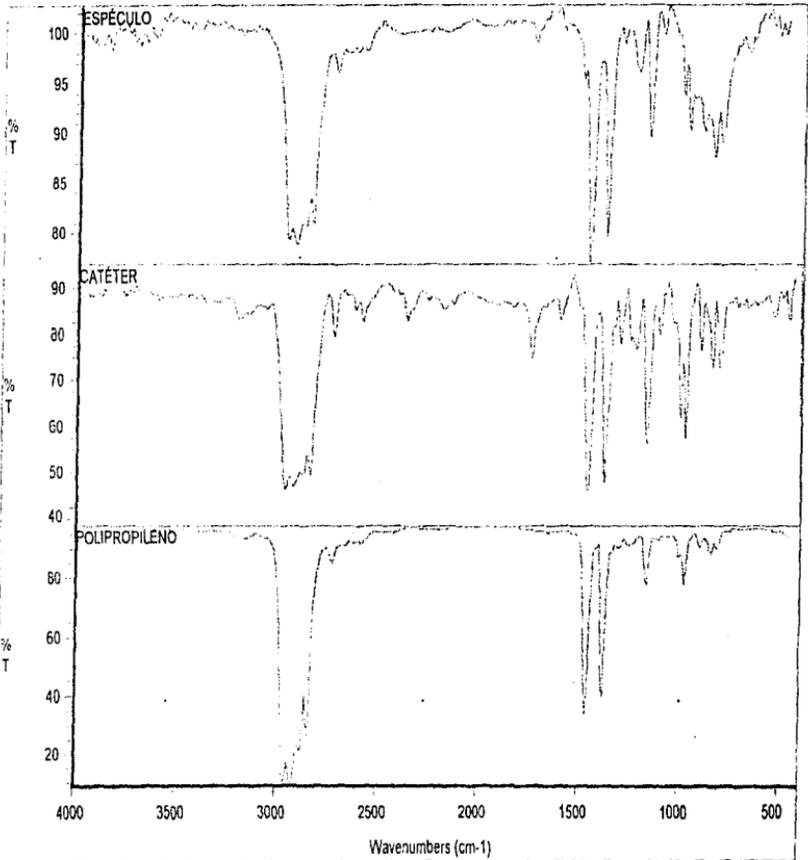
6.4. Resultados de infrarrojo.

En esta sección se presentan los espectros de infrarrojo obtenidos para las muestras estudiadas. Los espectros se muestran con el espectro del plástico al que se asemejan.



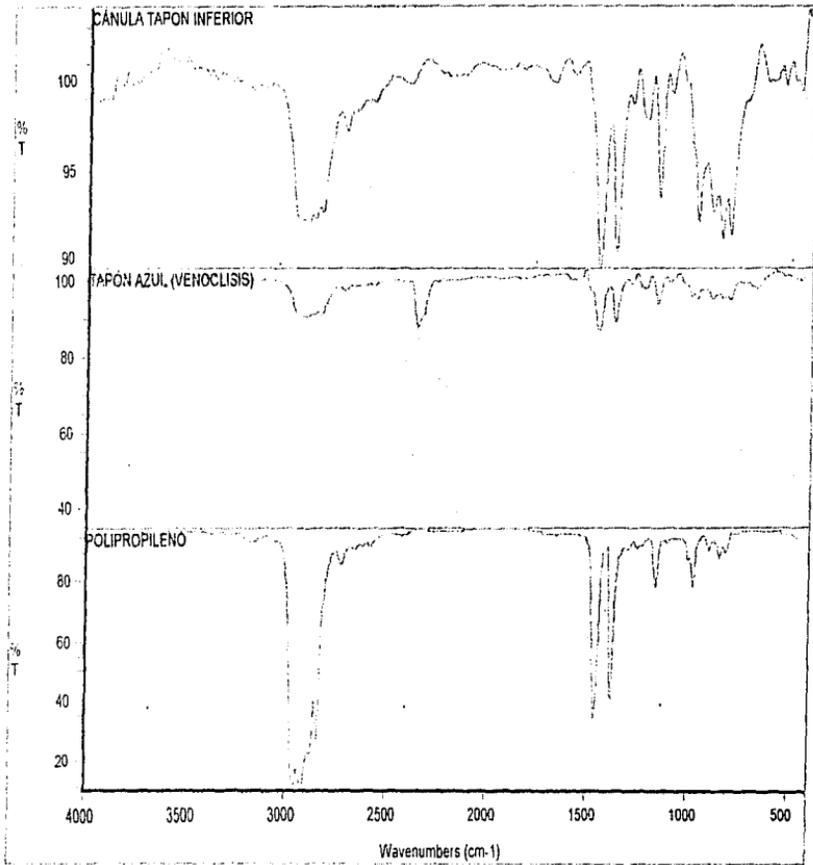
1

2



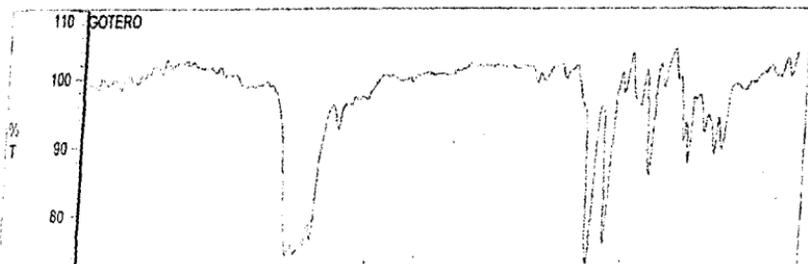
3

4

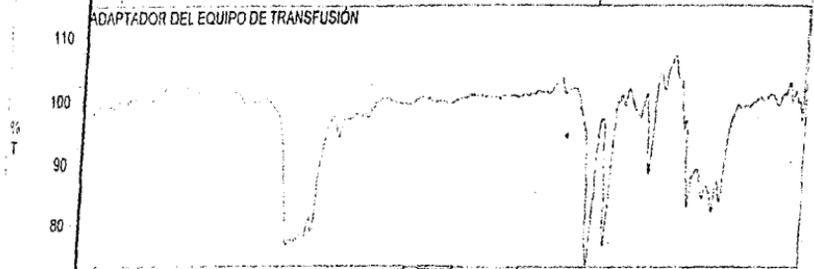


5

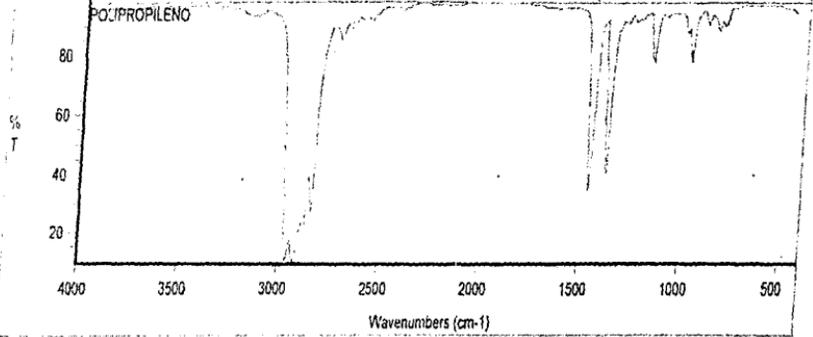
6

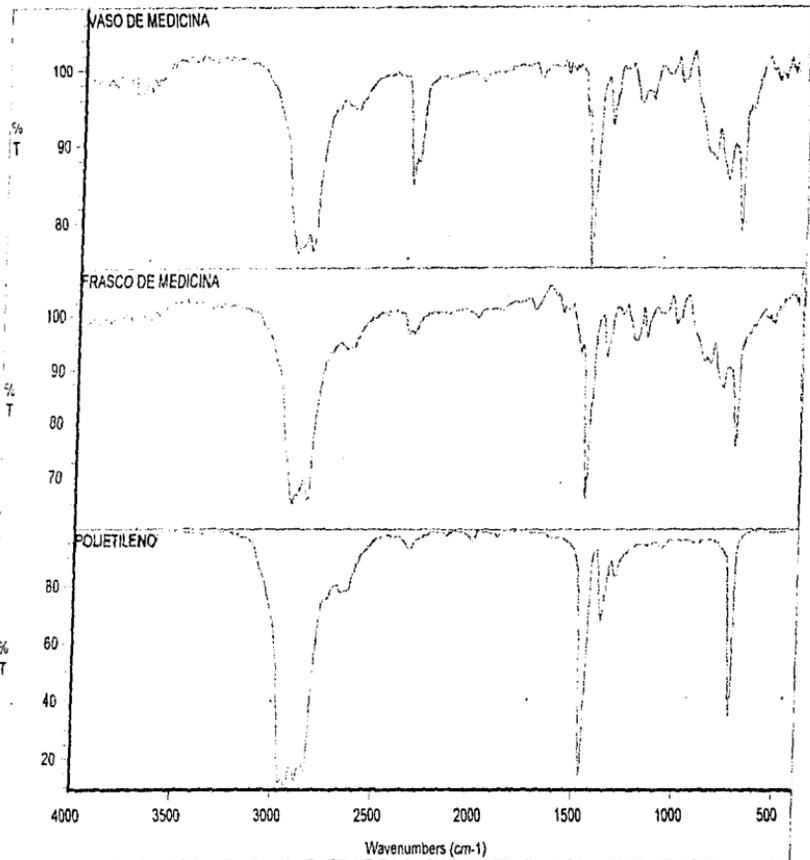


7



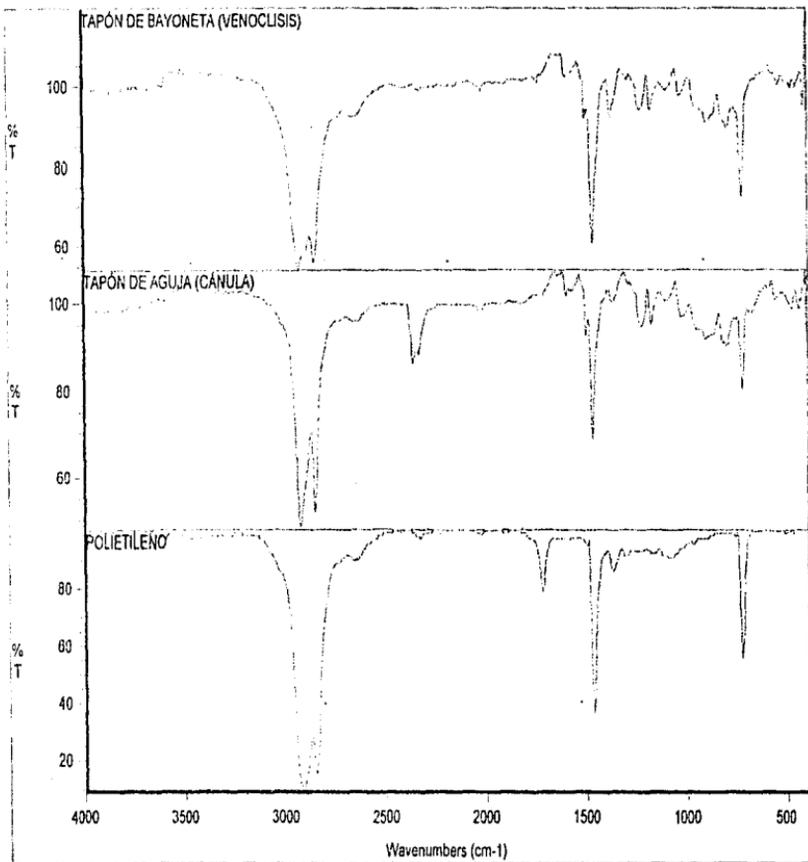
8

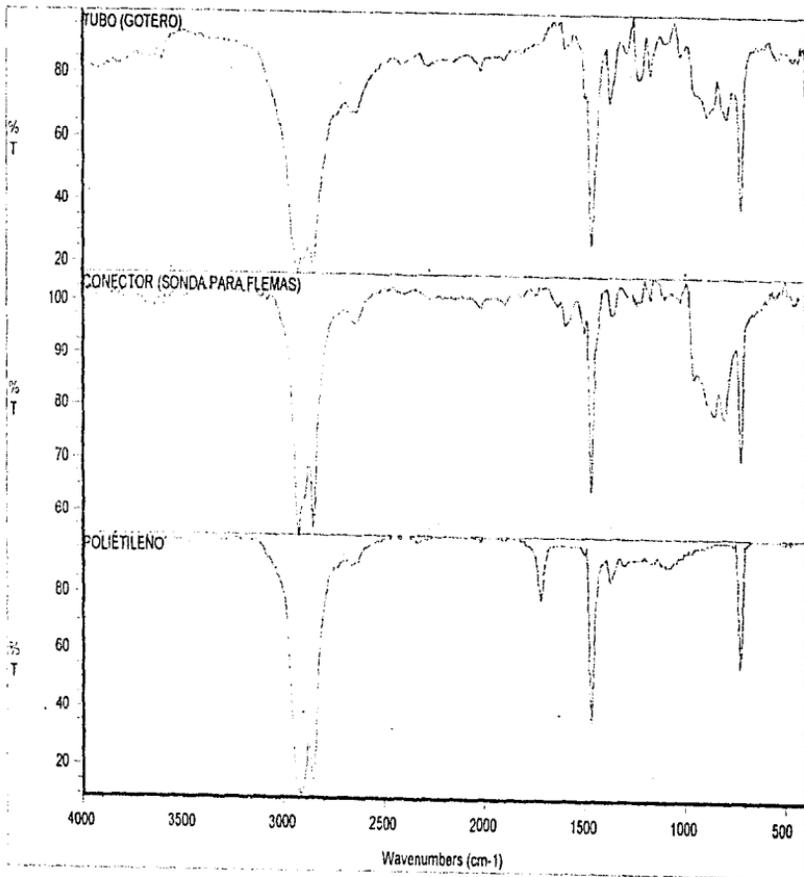




9

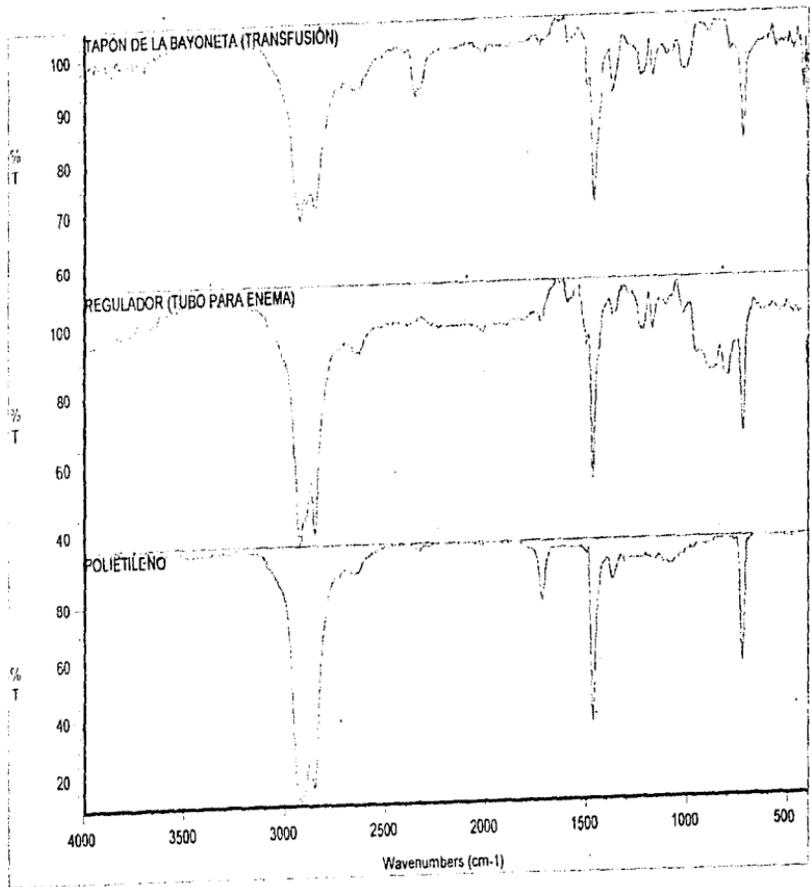
10





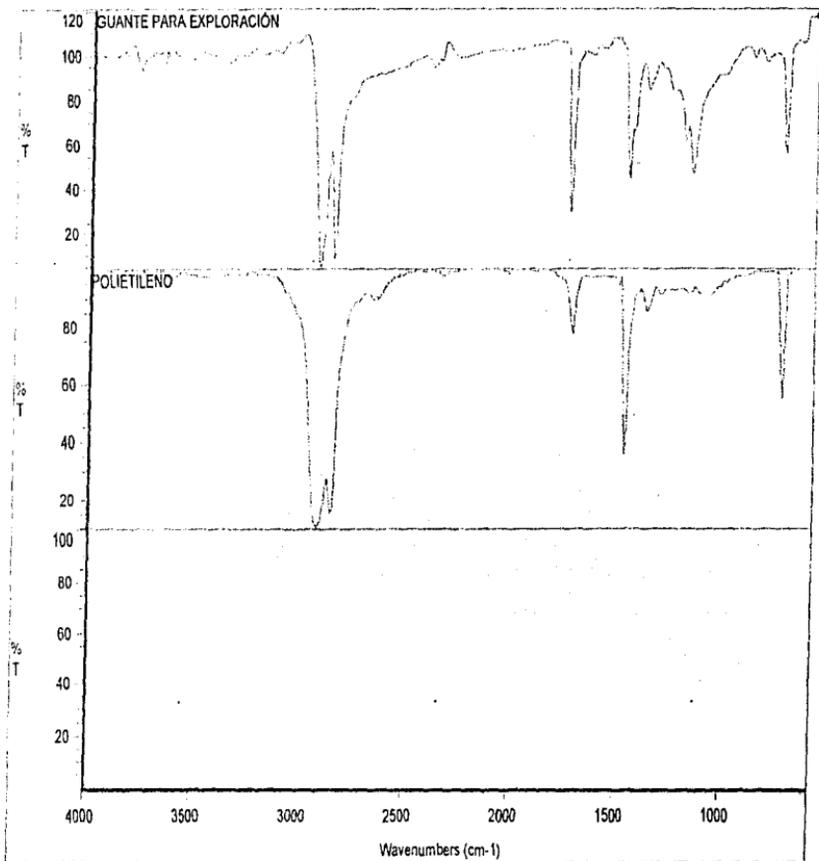
13

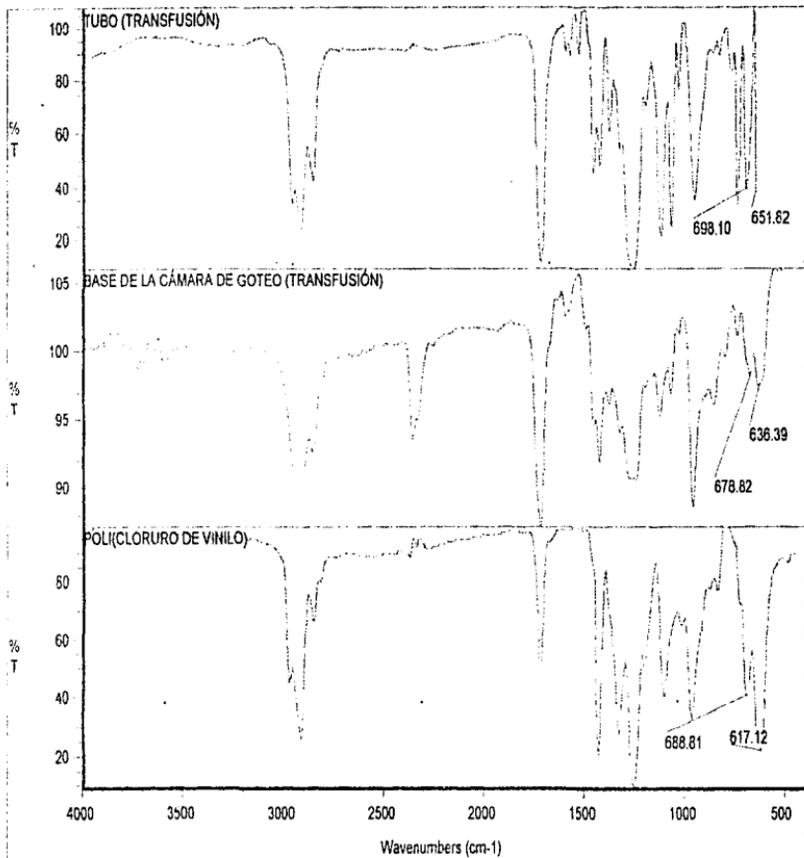
14



15

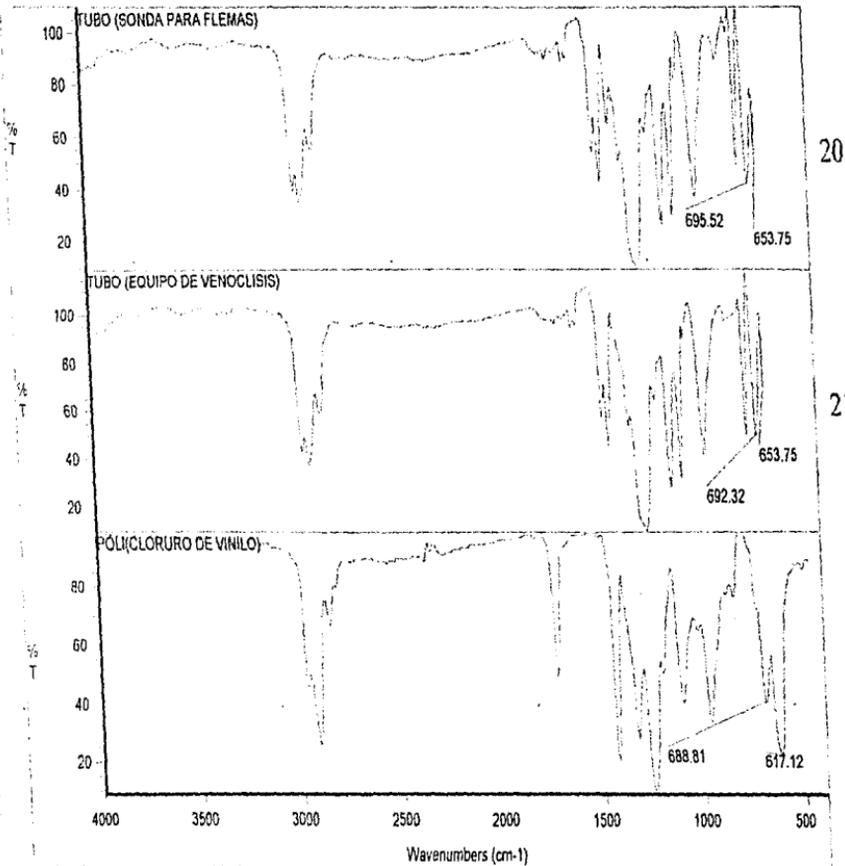
16





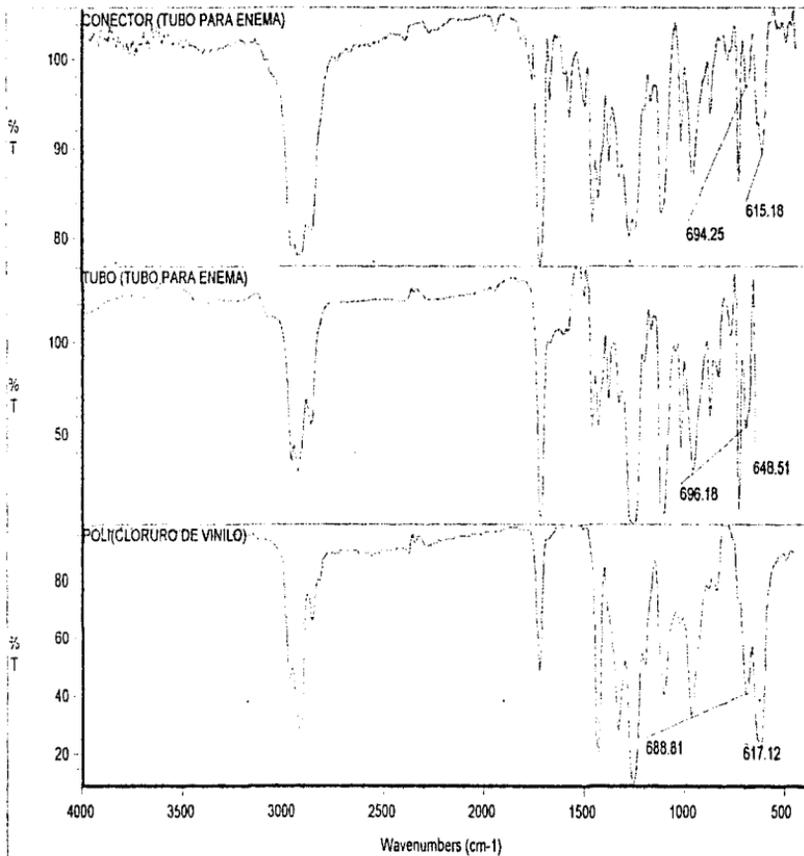
18

19



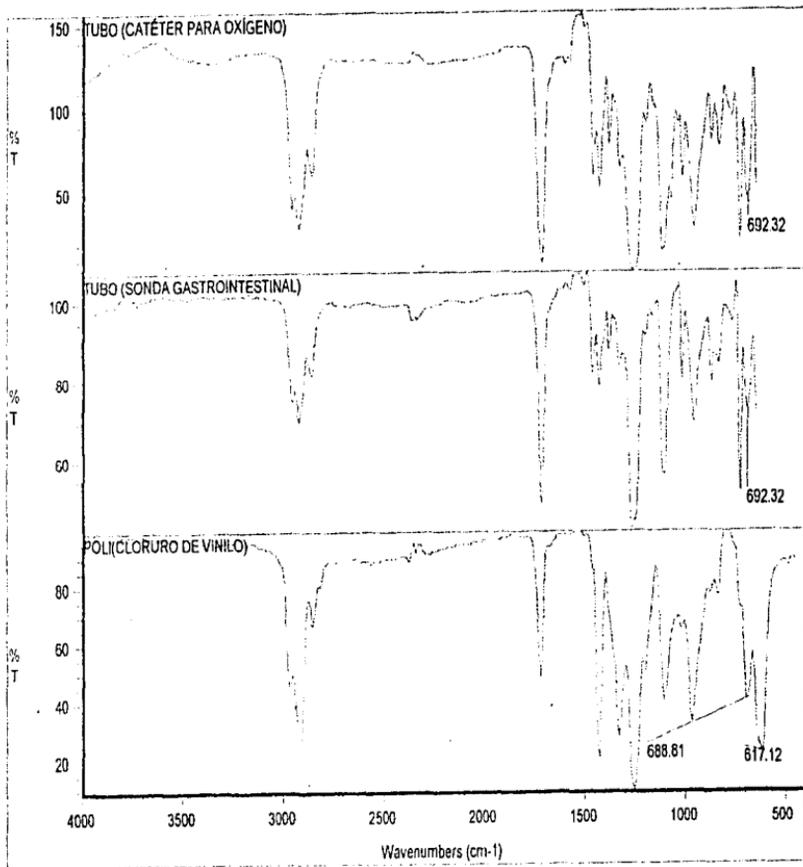
20

21



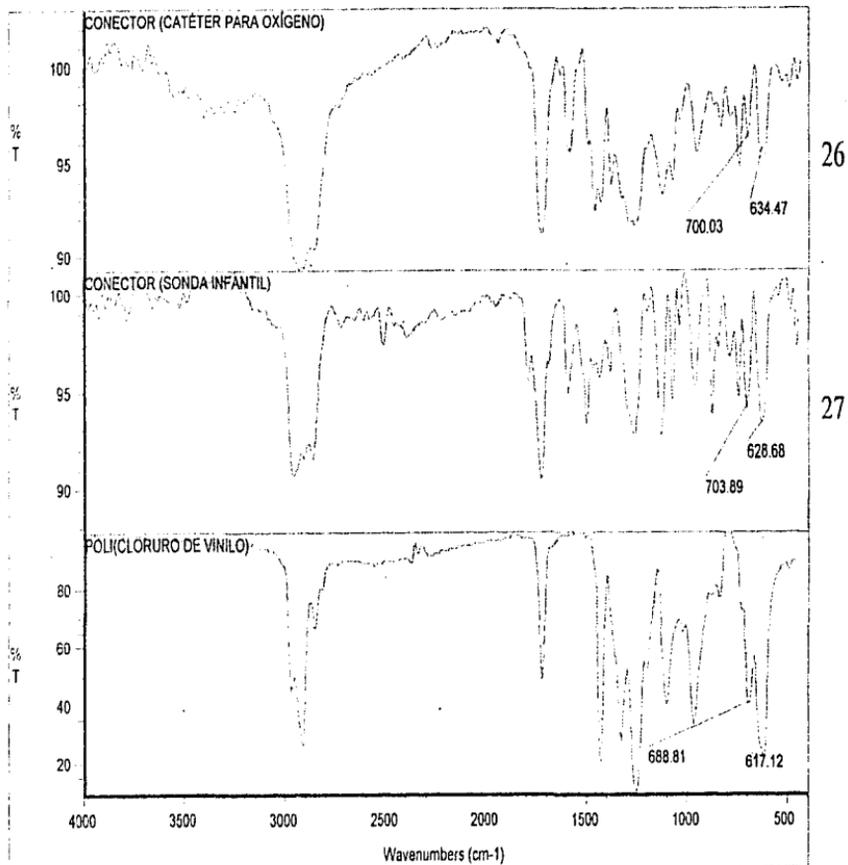
22

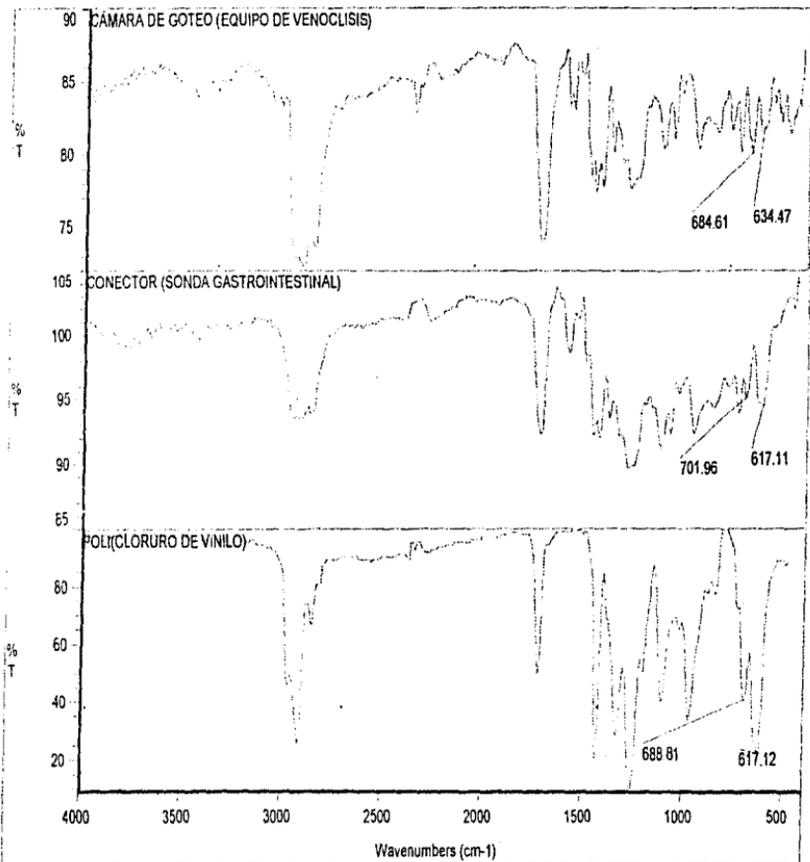
23



24

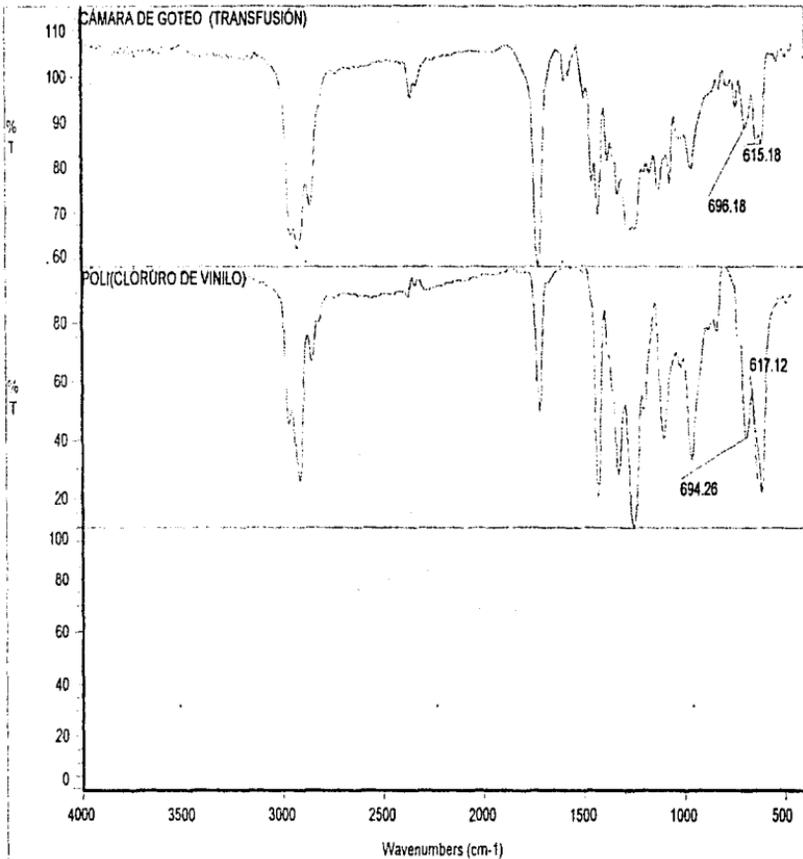
25



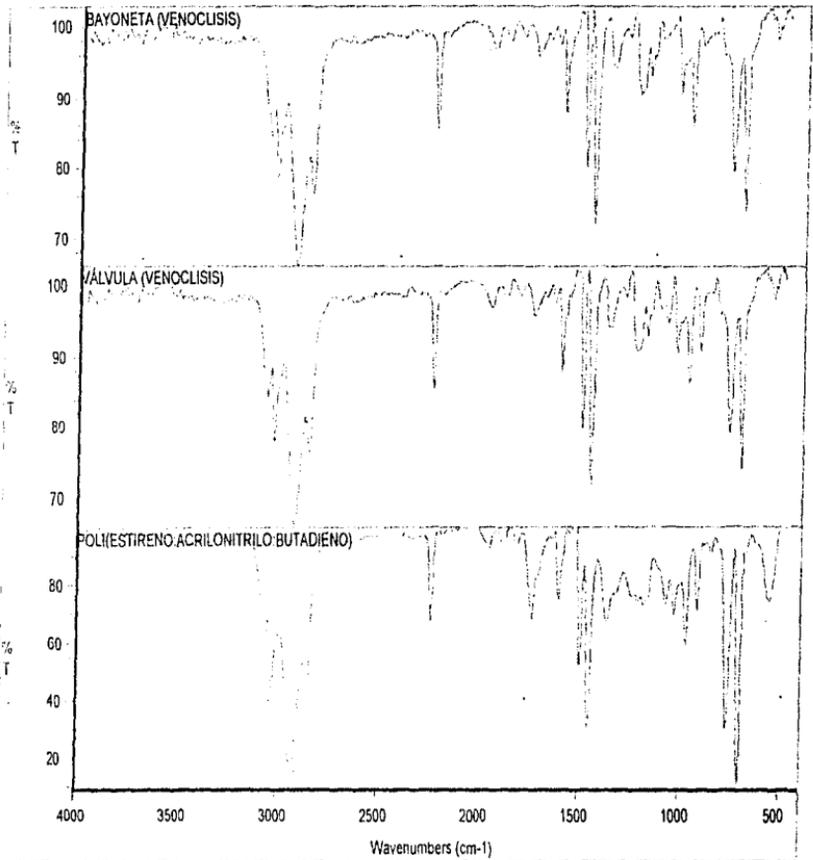


28

29

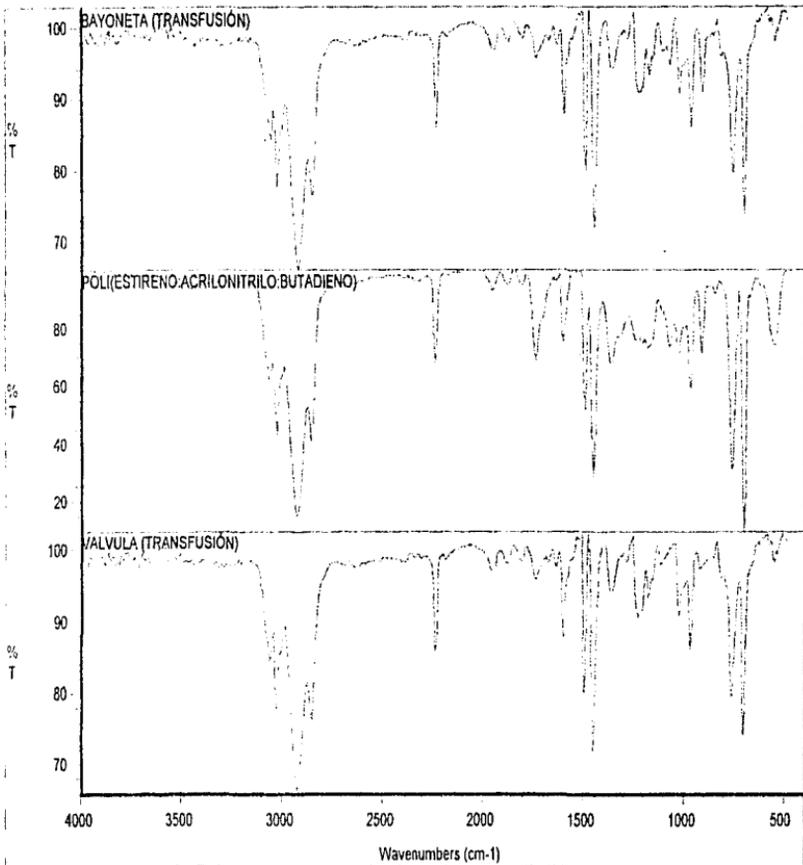


30



31

32



CAPÍTULO VII.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

7.1. Análisis de resultados.

Las tres pruebas que constituyen la metodología empleada (prueba de combustión, densidad y punto de fusión) son consideradas análisis preliminares de identificación de materiales, es decir, que por sí solas no logran una identificación concreta, sin embargo al realizarlas en conjunto estas se complementan unas a otras y consiguen una identificación bastante aproximada entre una amplia gama de plásticos.

7.1.1. Prueba de combustión.

7.1.1.1. Polipropileno (PP) y Polietileno (PE).

En los resultados, capítulo VI, se sugiere para cada muestra el plástico al que se asemejan, sin embargo en algunas se sugiere tanto el PP como el PE, ya que si únicamente se contara con esta prueba, la identificación entre el PP y el PE sería imposible debido a que presentan las mismas características en su combustión.

Las principales características de estos plásticos en cuanto a su combustión son:⁴⁷

- Se queman aún al retirarlos de la flama
- Gotean y huelen a parafina
- Se vuelven transparentes al calentarse
- Recuperan su forma translúcida al enfriarse.

Todas las muestras sugeridas como PP y PE presentan las dos primeras características, y 10 muestras de 17 además presentan las dos últimas.

Esto puede deberse a que los colorantes aplicados a las muestras no permiten distinguir si la muestra se torna transparente o no

Las muestras que entran en esta categoría de PP y PE de acuerdo a los resultados de la prueba de combustión son:

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| 1. Jeringa | 4. Espéculo |
| 2. Abatelenguas | 5. Frasco de medicina |
| 3. Guante para exploración | 6. Vaso de medicina |

7. Tapón de la aguja (cánula)

8. Tapón inferior (cánula)

9. Tapón azul (Eq. venoclisis)

10. Tapón de bayoneta (Eq. venoclisis)

11. Tubo (gotero)

12. Base (gotero)

13. Catéter

14. Conector (sonda para flemas)

15. Regulador (tubo para enema)

16. Adaptador (Eq. transfusión)

17. Protector de la bayoneta (Eq. transfusión)

7.1.1.2. Poli(cloruro de vinilo), PVC.

Las características de la combustión del PVC son las siguientes.⁽⁴⁷⁾⁽⁴⁸⁾

- Se autoextingue.
- La flama presenta color verde en su borde.
- Produce humo negro.
- Los vapores son ácidos por el HCl producido

Todas las muestras sugeridas como PVC presentan las últimas tres características. Las mitad de las muestras también presentan la primera característica, es decir, se autoextinguen inmediatamente al estar fuera de la flama, el resto de las muestras tardan mucho tiempo en prender al estar dentro de la flama al igual que tardan en autoextinguirse, pero sin que se llegue a consumir toda la muestra.

Las muestras que probablemente estén compuestas de PVC de acuerdo a los resultados de la prueba de combustión son:

1. Tubo (Eq. venoclisis)

2. Cámara de goteo (Eq. venoclisis)

3. Tubo (sonda gastrointestinal)

4. Conector (sonda gastrointestinal)

5. Tubo (sonda infantil)

6. Conector (sonda infantil)

7. Tubo (catéter para oxígeno)

8. Conector (catéter para oxígeno)

9. Tubo (sonda para flemas)

10. Tubo (tubo para enema)

11. Conector (tubo para enema)

12. Tubo (Eq. transfusión)

13. Cámara de goteo (Eq. transfusión)

14. Base cámara de goteo (Eq. transfusión)

7.1.1.3. Poliestireno (PS).

Las características de la combustión del PS son las siguientes.⁽⁴⁷⁾⁽⁴⁸⁾

- Se quema rápidamente produciendo humo negro.
- Sus vapores tienen pH neutro.

Las muestras enumeradas a continuación presentan estas dos características, además como residuos de las muestras quedan cenizas oscuras.

Las muestras que probablemente estén compuestas de PS de acuerdo a los resultados de la prueba de combustión son:

1. Válvula (Eq. venoclisis)
2. Bayoneta (Eq. venoclisis)
3. Válvula (Eq. transfusión)
4. Bayoneta (Eq. transfusión)

7.1.1.4. Látex.

Las características de la combustión del látex son:⁽⁴⁷⁾

- Se reblandece y se quema vigorosamente con humo negro.
- Puede producir humos ácidos dejando un residuo carbonizado.

Las muestras listadas a continuación presentan estas características.

Las muestras que probablemente estén compuestas de látex de acuerdo a los resultados de la prueba de combustión son:

1. Tubo (sonda para drenaje urinario)
2. Goma (gotero)

7.1.2. Prueba de densidad.

7.1.2.1. PP.

Con esta prueba se logra diferenciar entre PP y PE, ya que el PP tiene una menor densidad que el PE

El rango de densidad del PP es el siguiente:

$$0.89-0.92 \text{ g/cm}^3 \text{ (47)}$$
$$0.85-0.92 \text{ g/cm}^3 \text{ (48),(44)}$$

Las muestras que se sugiere son hechas de PP por su densidad son:

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Jeringa | 5. Tapón azul (Eq. venoclisis) |
| 2. Abatelenguas | 6. Base (gotero) |
| 3. Espéculo | 7. Caléter |
| 4. Tapón inferior (canula) | 8. Adaptador (Eq. transfusión) |

7.1.2.2. PE.

Las muestras aquí señaladas tienen una densidad dentro del intervalo de densidad del PE de acuerdo a lo reportado en la literatura:

$$0.91-0.98 \text{ g/cm}^3 \text{ (47)}$$
$$0.89-0.98 \text{ g/cm}^3 \text{ (48)(54)}$$

Las muestras que se sugiere son hechas de PE por su densidad son:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1. Guante para exploración | 6. Tubo (gotero) |
| 2. Frasco de medicina | 7. Conector (sonda para flemas) |
| 3. Vaso de medicina | 8. Regulador (tubo para enema) |
| 4. Tapón de la aguja (cánula) | 9. Protector de la bayoneta (Eq. transfusión) |
| 5. Tapón de bayoneta (Eq. venoclisis) | |

7.1.2.3. PVC.

El rango de densidad que abarca el PVC es

$$1.35-1.42 \text{ g/cm}^3 \text{ (47)}$$
$$1.19-1.35 \text{ g/cm}^3, \text{ PVC plastificado (48)(52)}$$
$$1.38-1.41 \text{ g/cm}^3, \text{ PVC rígido (48)(52)}$$
$$1.47-1.55 \text{ g/cm}^3, \text{ PVC clorado (48)(52)}$$

Las muestras que se sugiere son hechas de PVC por su densidad son:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Tubo (Eq. venoclisis) | 9. Tubo (sonda para flemas) |
| 2. Cámara de goteo (Eq. venoclisis) | 10. Tubo (tubo para enema) |
| 3. Tubo (sonda gastrointestinal) | 11. Conector (tubo para enema) |
| 4. Conector (sonda gastrointestinal) | 12. Tubo (Eq. transfusión) |
| 5. Tubo (sonda infantil) | 13. Cámara de goteo (Eq. transfusión) |
| 6. Conector (sonda infantil) | 14. Base cámara de goteo (Eq. transfusión) |
| 7. Tubo (catéter para oxígeno) | |
| 8. Conector (catéter para oxígeno) | |

Como se puede observar en los resultados, estas 14 muestras tienen una densidad que cae en el rango de la densidad reportada para el PVC plastificado, lo cual

es lógico ya que los equipos médicos requieren de un acabado específico que generalmente sólo se logra con la adición de plastificantes, especialmente en el PVC.

7.1.2.4. PS.

El intervalo de densidad reportado en la literatura para el PS es muy reducido:

$$1.04-1.08 \text{ g/cm}^3 \text{ (47)(54)}$$

Las muestras que probablemente estén compuestas de PS de acuerdo a su densidad son:

1. Válvula (Eq. venoclisis)
2. Bayoneta (Eq. venoclisis)
3. Válvula (Eq. transfusión)
4. Bayoneta (Eq. transfusión)

Estas muestras abarcan el rango de densidad del PS. El hecho de que el intervalo de densidad medido para estas muestras sea mayor que el de la literatura se debe a las densidades de las soluciones utilizadas para este propósito. Para lograr medir el rango teórico de densidad del PS se necesitaría hacer soluciones con densidades mucho más finas que las que aquí se emplearon y esto conduciría a aumentar tanto la complejidad como el costo de la metodología propuesta, lo cual iría en contra de la idea de aplicar este método en cualquier centro de atención médica.

Además como se puede observar en los espectros de infrarrojo de estas muestras, no se trata de un solo polímero sino de un copolímero que contiene PS.

7.1.2.5. Látex.

El rango de densidad para el látex es:

$$0.92-1.3 \text{ g/cm}^3 \text{ (47)(54)}$$

Las muestras que probablemente estén compuestas de látex de acuerdo a su densidad son:

1. Tubo (sonda para drenaje urinario)
2. Goma (gotero)

Como se puede observar en los resultados, estas muestras tienen una densidad acorde a lo reportado en la literatura.

7.1.3. Punto de fusión.

7.1.3.1. PP.

Con esta prueba también se establece una diferencia entre PP y PE, ya que el PP tiene un mayor punto de fusión que el PE.

Las muestras que se sugiere son hechas de PP por su punto de fusión son:

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Jeringa | 5. Tapón azul (Eq. venoclisis) |
| 2. Abatelenguas | 6. Base (gotero) |
| 3. Espéculo | 7. Catéter |
| 4. Tapón inferior (cánula) | 8. Adaptador (Eq. transfusión) |

7.1.3.2. PE.

Las muestras que se sugiere son hechas de PE por su punto de fusión son:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1. Guante para exploración | 6. Tubo (gotero) |
| 2. Frasco de medicina | 7. Conector (sonda para flemas) |
| 3. Vaso de medicina | 8. Regulador (tubo para enema) |
| 4. Tapón de la aguja (cánula) | 9. Protector de la bayoneta (Eq. transfusión) |
| 5. Tapón de bayoneta (Eq. venoclisis) | |

7.1.2.3. PVC.

El punto de fusión reportado para el PVC es:

75-90 °C, únicamente se reblanda ^{(48);(54)}

199 °C, funde ^{(46);(52)}

Las muestras que se sugiere son hechas de PVC por su punto de fusión son:

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Tubo (Eq. venoclisis) | 6. Conector (sonda infantil) |
| 2. Cámara de goteo (Eq. venoclisis) | 7. Tubo (catéter para oxígeno) |
| 3. Tubo (sonda gastrointestinal) | 8. Conector (catéter para oxígeno) |
| 4. Conector (sonda gastrointestinal) | 9. Tubo (sonda para flemas) |
| 5. Tubo (sonda infantil) | 10. Tubo (tubo para enema) |

- 11. Conector (tubo para enema)
- 12. Tubo (Eq. transfusión)
- 13. Cámara de goteo (Eq. transfusión)

- 14. Base cámara de goteo (Eq. transfusión)

Como se puede observar en los resultados, las muestras 1-6, 9-11, 13 y 14 presentan el comportamiento de reblandecerse a una temperatura aproximada de 80 °C y fundirse a una temperatura mayor (130-150 °C aproximadamente), que aún cuando no llega a ser tan alta como se reporta ésto puede deberse a los plastificantes y colorantes adicionados para dar el acabado deseado al material médico. Estos plastificantes se comportan como impurezas y ésto ocasiona un abatimiento en el punto de fusión.

El resto de las muestras (7, 8 y 12) no presenta el comportamiento descrito anteriormente, ya que no se observa el reblandecimiento, sino que únicamente funden en el mismo rango que las otras muestras, pero aunado a las dos pruebas anteriores se puede concluir que las muestras efectivamente contienen PVC, lo cual puede confirmarse con la determinación del infrarrojo.

7.1.3.4. PS.

Las muestras que probablemente estén compuestas de PS de acuerdo a su punto de fusión son:

- 1. Válvula (Eq. venoclisis)
- 2. Bayoneta (Eq. venoclisis)
- 3. Válvula (Eq. transfusión)
- 4. Bayoneta (Eq. transfusión)

El rango de punto de fusión de estas muestras es más elevado que el reportado en la literatura para el PS,⁽⁴⁰⁻⁴²⁾ sin embargo este material no contiene únicamente poliestireno según lo obtenido en el análisis de infrarrojo. El espectro indica que además contiene acrilonitrilo y butadieno, el punto de fusión del acrilonitrilo es de 130-150 °C⁽⁴³⁾ y el butadieno no se encuentra reportado en la literatura consultada.

7.1.3.5. Látex.

El látex es un polímero amorfo, no se encontró reportada, en la literatura consultada, la temperatura a la cual el látex se reblandece

7.1.4. Clasificación de las muestras de acuerdo a la metodología usada.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas de combustión, densidad y punto de fusión, y a lo reportado en la literatura, se establece que los plásticos que componen a las muestras estudiadas son los que se presentan en la tabla VII.1

Tabla VII.1. Identificación del plástico que compone a cada muestra.

PLÁSTICO	PP	PE	PVC	PS	LÁTEX
MUESTRAS	Jeringa	Guante para exploración	Tubo (eq. venoclisis)	Válvula (eq. venoclisis)	Sonda para drenaje urinario
	Abatclenquas	Frasco de medicina	Cámara de goteo (eq. venoclisis)	Bayoneta (eq. venoclisis)	Goma (gotero)
	Especulo	Vaso de medicina	Tubo (sonda gastrointestinal)	Válvula (eq. transfusión)	
	Catéter	Tapón de la aguja (cánula)	Conector (sonda gastrointestinal)	Bayoneta (eq. transfusión)	
	Tapón inferior (cánula)	Tapón de la bayoneta (eq. venoclisis)	Tubo (sonda infantil)		
	Tapón azul (eq. venoclisis)	Tubo (gotero)	Conector (sonda infantil)		
	Base (gotero)	Regulador (tubo para enema)	Tubo (catéter para oxígeno)		
	Adaptador (eq. transfusión)	Conector (sonda para flemas)	Tubo (tubo para enema)		
		Protector de bayoneta (eq. transfusión)	Conector (tubo para enema)		
			Tubo (sonda para flemas)		
		Tubo (eq. transfusión)			
		Cámara de goteo (eq. transfusión)			
		Base de la cámara de goteo (eq. transfusión)			

7.2. Análisis Infrarrojo.^(6A)

7.2.1. Polipropileno.

En esta sección se analizan los espectros del 1 al 8.

Por la banda que se observa entre 2800-3000 cm^{-1} se infiere la presencia de ligaduras C-H. Por la banda que se observa en 1450 cm^{-1} aproximadamente se sugiere la presencia de enlaces C-C, que aunado a la banda anterior se deduce la existencia del grupo CH_3 el cual forma parte de la estructura del polipropileno.



La banda entre 1300-1400 cm^{-1} que se observa en los espectros 3, 4 y 6 se debe probablemente tanto a la preparación de la muestra como a su concentración, además se debe tener en cuenta que las muestras estudiadas no son hechas del polímero puro, sino que contiene aditivos.

Además, haciendo una comparación visual de estos espectros con el del polipropileno puro, mostrado en los resultados, se concluye que estas muestras efectivamente están compuestas de polipropileno.

7.2.2. Polietileno.

En esta sección se analizan los espectros del 9 al 17.

Por la banda que se observa entre 2800-3000 cm^{-1} se infiere la presencia de ligaduras C-H. Por la banda que se observa en 1450 cm^{-1} aproximadamente se sugiere la presencia de enlaces C-C, que aunado a la banda en 720 cm^{-1} se deduce la existencia del grupo CH_2 el cual forma parte de la estructura del polietileno.



La banda entre 2350-2400 cm^{-1} que se observa en los espectros 9, 10, 11 y 16 puede deberse a la concentración de la muestra ya que el polietileno puro presenta una pequeña señal en esa misma longitud de onda.

Además, haciendo una comparación visual de estos espectros con el del polietileno puro, mostrado en los resultados, se concluye que estas muestras efectivamente están compuestas de polietileno.

7.2.3. Poli(cloruro de vinilo), PVC.

En esta sección se analizan los espectros del 18 al 30.

Por la banda que se observa entre 2800-3000 cm^{-1} se infiere la presencia de ligaduras C-H. Por la banda que se observa en 1450 cm^{-1} aproximadamente se sugiere la presencia de enlaces C-C. Por las bandas entre 600-700 cm^{-1} se concluye que en la estructura del polímero se encuentran como sustituyentes átomos de halógeno. Particularmente se sugiere que se trata de cloro, ya que los picos de absorción se encuentran específicamente en 615-654 cm^{-1} y en 678-703 cm^{-1} .

También se observa una banda en 1750 cm^{-1} aproximadamente que indica la presencia de una doble ligadura C=C, que puede explicarse si se considera que el PVC no es puro y tiene cierta concentración del monómero, cloruro de vinilo, que presenta una doble ligadura en su estructura. Esta banda también se observa en el espectro de PVC estándar secundario (figura 7.1.) que reporta Aldrich,⁽⁵³⁾ al contrario del espectro también reportado por Aldrich⁽⁵⁴⁾ del PVC de bajo peso molecular (figura 7.2.).

Por otra parte, haciendo una comparación visual de estos espectros con el del PVC puro, mostrado en los resultados, se concluyó que estas muestras efectivamente están compuestas de PVC.

7.2.4. Poliestireno.

En esta sección se analizan los espectros del 31 al 34.

Por la banda que se observa entre 2800-3000 cm^{-1} se infiere que se trata de ligaduras C-H. Por la banda que se observa en 1450 cm^{-1} aproximadamente se sugiere la presencia de enlaces C-C, que unido a la banda en 720 cm^{-1} se deduce la existencia del grupo CH_2 .

Por las bandas entre 3000-3100 cm^{-1} y en 1600 cm^{-1} se infiere la presencia de un anillo aromático (benceno). Los sobretonos entre 1600 y 2000 cm^{-1} indican que dicho anillo está monosustituido. Ésto es congruente con la estructura del poliestireno.



Por la banda en 2230 cm^{-1} se infiere la presencia de un grupo nitrilo C=N, el cual es parte de la estructura del acrilonitrilo, que está presente en el copolímero según el espectro de infrarrojo.



También se observa una banda en 1750 cm^{-1} aproximadamente que indica la presencia de una doble ligadura $\text{C}=\text{C}$, que forma parte de la estructura del butadieno, que igualmente está presente en el copolímero como lo muestra el espectro infrarrojo.

La comparación visual de estos espectros con el del copolímero poli(estireno:acrilonitrilo butadieno) es muy evidente.

7.2.5. Látex.

No se logró obtener buenos espectros de las muestras que se pensaba estaban compuestas de látex de acuerdo a las tres pruebas realizadas, ya que las muestras para el análisis de infrarrojo se obtuvieron por medio de un pequeña lija y al ser el látex un material sin rigidez fue imposible obtener la muestra como en los otros casos.

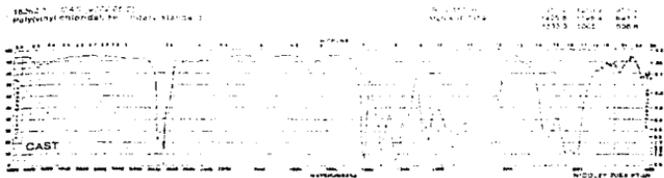


Figura 7.1.

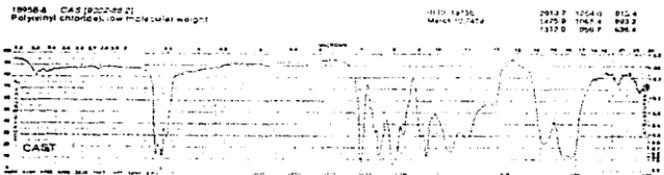


Figura 7.2.

7.2. Conclusiones.

↪ La metodología propuesta para la identificación de los materiales plásticos que componen los residuos médicos es sencilla, barata y confiable, aún cuando los materiales sean copolímeros, ya que esta metodología logra identificar cuando menos uno de los componentes del copolímero, y una vez identificado proponer una separación.

↪ Algunos equipos médicos constan de varias partes y en algunos casos dichas partes están fabricadas con diferentes tipos de plásticos, tal es el caso de:

- Equipo de venoclisis
- Sonda para flemas
- Gotero
- Equipo de transfusión
- Tubo para enema
- Eyecter dental

Por eso se recomienda una separación de las partes cuando las mismas estén fabricadas con PVC, que como se ha visto a lo largo de este trabajo, es uno de los precursores, en presencia de compuestos aromáticos, de emisiones tóxicas de dioxinas y furanos.

↪ Una vez que el material plástico que compone a cada muestra se ha identificado, se puede clasificar en plásticos clorados (PVC en este caso) y plásticos no clorados (PP, PE, poli(estireno acrilonitrilo butadieno) y latex en este caso).

↪ Ya clasificado el material médico de acuerdo al material que lo compone, éste se puede separar para promover el reuso del mismo en usos distintos a los médicos y a los alimenticios, especialmente el PP y el PE en este caso.

↪ La incineración o tratamiento térmico es un método aceptable para disponer de los plásticos no clorados, sino se logra antes el reuso de los mismos.

- ↳ **Para los materiales fabricados con plásticos clorados como el PVC, se propone una esterilización, preferentemente con vapor, con objeto de eliminar el peligro de diseminación de agentes contagiosos, para que posteriormente estos residuos puedan ser tratados como residuos sólidos no peligrosos.**

Lo anterior solamente será posible si se efectúa una separación en el lugar de origen de generación del residuo, lo cual implica una capacitación del personal involucrado con el manejo, aunado a una campaña de concientización que enfatice la importancia de la separación en el punto de origen.

Un aspecto de mucha importancia que se detectó es la necesidad de un programa educativo al personal de todos los niveles (dirección, médico, servicios y administrativos) que labora en establecimientos de atención médica, con el objeto de dar a conocer la normatividad así como el manejo adecuado de los residuos plásticos biológico-infecciosos.

Para llevar a cabo esta labor formativa, es necesario establecer procedimientos estándares para el manejo adecuado de los residuos biológico-infecciosos, considerando a los plásticos como un caso especial. Dichos procedimientos deben incluir la difusión de la información, la evaluación constante de los mismos y sus resultados, y la optimización de los mismos si es posible.

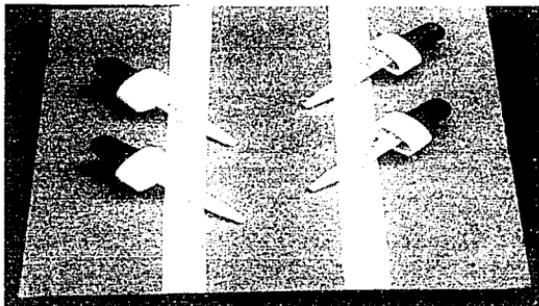
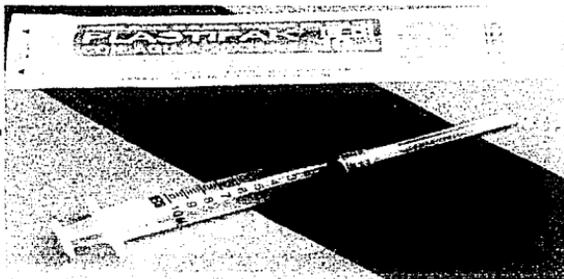
Finalmente, si el reuso de los plásticos es económica y tecnológicamente factible, algunos usos que se les pueden dar a estos residuos son: bascas para los parques, macetas, asientos, mangueras, botes de basura, partes de automóviles, etc.

ANEXO I

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL ESTUDIADO

JERINGA

- Jeringa esteril de plástico con aguja 20 x 30 ml.
- Marca Plastipak.
- Capacidad: 10 ml.

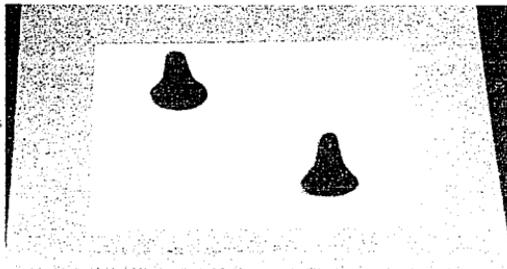


GOPHER

- Capacidad 0.5 ml.
- Se usa para administrar vacunas y medicinas principalmente

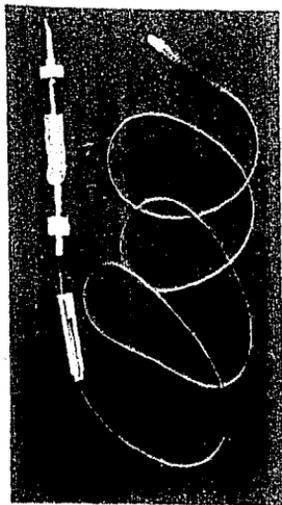
ESPECULO

- Instrumento para dilatar la entrada de ciertas cavidades del cuerpo, como el oído, para facilitar su exploración por reflexión luminosa



CANULA

- Canula de permanencia temporal dentro de la vena.
- Material: polietileno.
- Esteril
- Marca LOK.



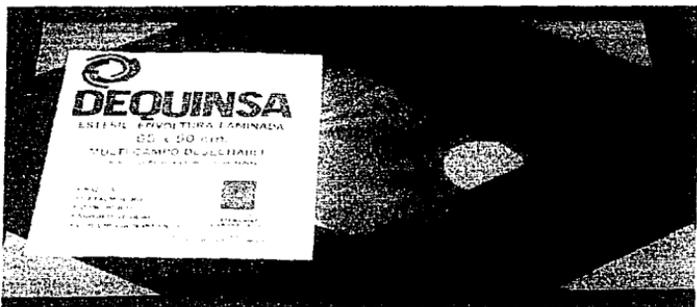
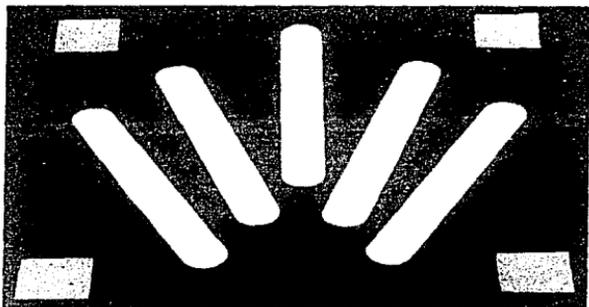
EQUIPO DE TRANSFUSION

- Equipo de transfusión con filtro, sin aguja.
- Para aplicación de sangre, plasma o concentrado globular.
- Esterilizado, desechable.
- Atóxico, sin pirógenos.
- Marca: BLOTEN.
- Industrias Plásticas Médicas, S.A.



ROPA MEDICA

ABATELENGUAS



MULTICAMPO

- Multicampo desechable, estéril.
- Envoltura laminada.
- Marca DEQUINSA.
- Controla el paso de líquidos y bacterias.
- Usos: raiqua, oftalmología, quirúrgico, sondeo vesical, circuncisión infantil.

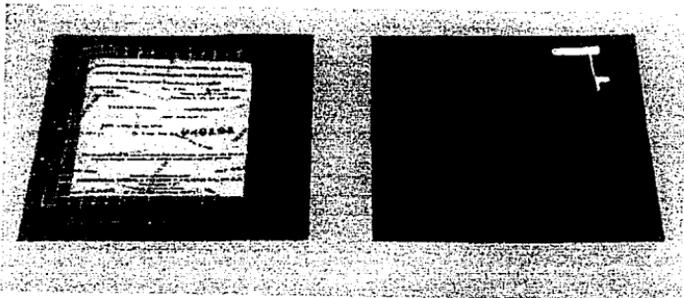
**GUANTE PARA
EXPLORACION**

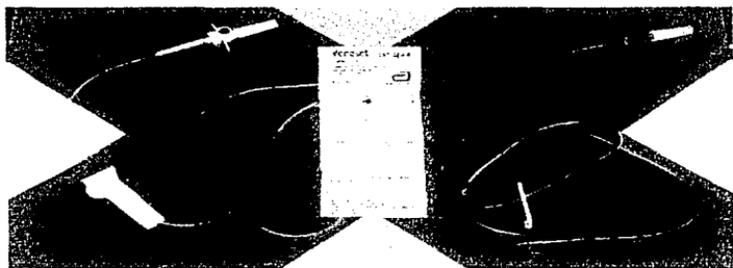
- Guanta estéril.
- Desechable.
- Marca: Gine-Tact.



SONDA INFANTIL

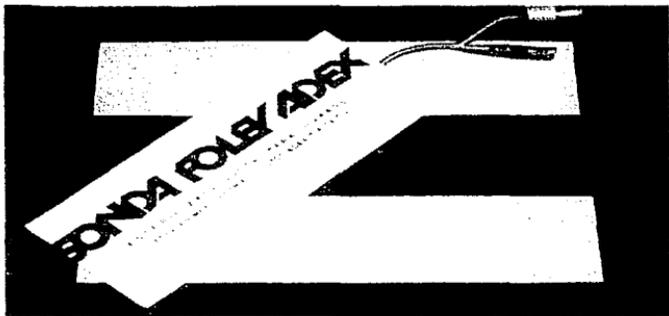
- Sonda para alimentación infantil.
- Administra líquidos por gravedad.
- Longitud: 38.5 cm.
- Diámetro exterior: 2.5 mm.
- Estéril, desechable.
- Industria Médica Plástica Silíceo, S.A de C.V.





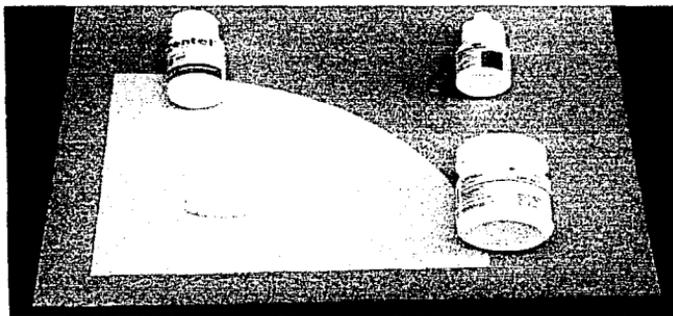
EQUIPO PARA VENOSETS

- Marca Venoset
- Equipo esterilizado para administrar soluciones intravenosas de sistema cerrado.
- Desechable



SONDA PARA DRENAJE URINARIO

- Esterilizada para administrar soluciones intravenosas de sistema cerrado.
- Desechable.

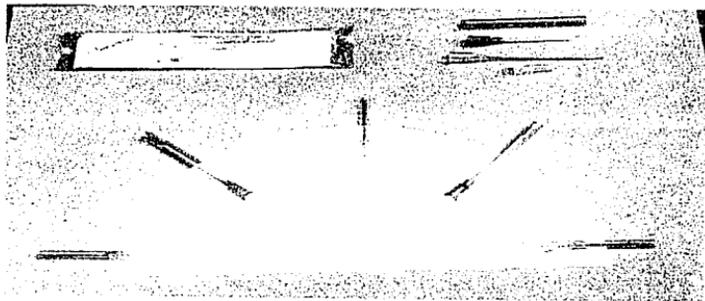


**FRASCO DE MEDICINA
VASO DE MEDICINA**



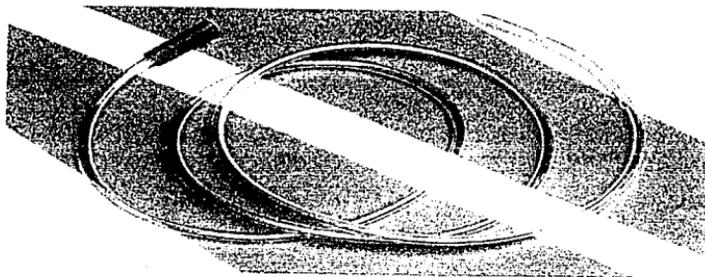
CATETER PARA OXIGENO

- Catéter para suministro de oxígeno con tubo de conexión y cánula nasal de plástico.
- No esterilizado.
- Marca: Oxidar.



CAETER

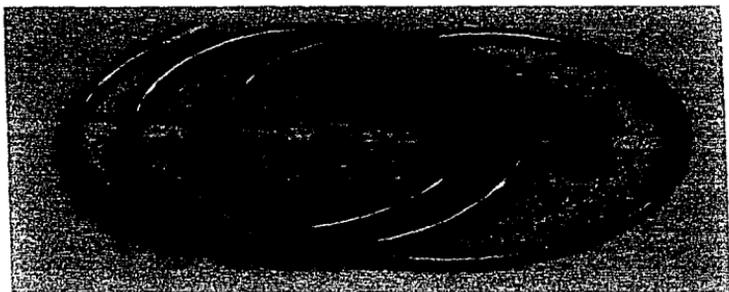
- Cateter desmontable para venoclisis.
- Esterilizable.
- Cámara visual de frasco.
- Marca: Fontzeat.
- Figuras: Médicos, Valencia.



SONDA GASTROENTEROSENAI

- Sonda desmontable para estomago.
- Esterilizable.
- Diámetro: 4-6,2 mm.

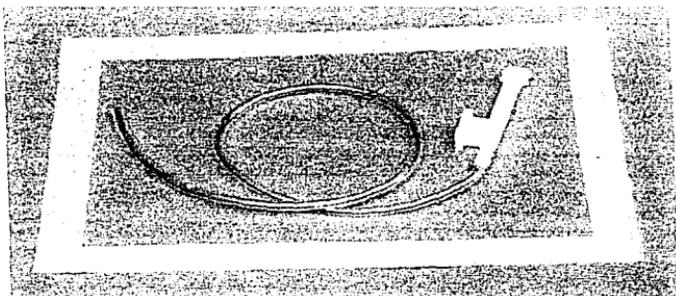
- Modelo: Levin.
- Largo: 125 cm.
- Industrias Plásticas Médicas



TUBO PARA ENEMA

-Tubo para enema o irrigación de Harris.
-Diámetro externo: 8mm.

-Desechable.
-ADC, S.A. de C.V. Medical Division.



SONDA PARA FLEMAS

-Sonda para succión y aspiración de
flemas con adaptador de control.
-Longitud: 55 cm.

-Estéril, desechable.
-Marca: DESVAR.
-Diámetro: 4.6 mm.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Le y General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2ª ed. Ediciones Delma, México, 1995
2. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales Y Pesca (SEMARNAP), NOM-052-ECOL-1993. Diario Oficial de la Federación, Viernes 22 de octubre de 1993.
3. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) NOM-087-ECOL-1995. Diario Oficial de la Federación. Martes 7 de noviembre de 1995.
4. Fundación MAPFRE, Implicación Ambiental de la Incineración de Residuos Urbanos, Hospitalarios e Industriales, Ed MAPFRE España 1994.
5. Reinhardt, Peter A. and Gordon, Judith G. Infectious and Medical Waste Management, Lewis Publishers.
6. Burnicore, Anthony J. "Medical Waste Incineration." Waste Incineration Sources, pag 283-295.
7. Marrack, David "Hospital Red Bag Waste: An Assessment and Management Recommendations". Journal of Air Pollution Control Association 38-10:1309-1311, Octubre 1988
8. Coppinger, Philip F. "The Hospital's Dilemma: The Incineration of Infectious Waste a Threat to Public Health." New Solutions, 1996, pag 51-60.
9. Monreal, Julio, Consideraciones sobre el Manejo de Residuos Peligrosos en América Latina, Programa de Salud Ambiental, OPS/OMS, 1991
10. Medical Waste Tracking Act of 1988. Public Law 100-582-Nov. 1, 1988
11. IMSS "Programa de Separación de Desperdicios. Guía de Implantación. Unidades Médicas de Primer Nivel." México Mayo 1992
12. "Regulations Management, Technology, Emissions and Operations Medical and Institutional Waste Incineration" U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. EPA/625/4-91/030, December 1991
13. "A Guide to the Federal Program for Generators, Managing and Tracking Medical Wastes" U.S. Environmental Protection Agency, EPA/530-SW-89-021, September 1989
14. Aul, E.F., May, P.A. and Wilkins, G.E. "Hospital Waste" U.S. Environmental Protection Agency USA 1985
15. Congress, Office of Technology Assessment: "Issues in Medical Waste Management- Background Paper." OTA-BP-O-49 Washington, DC. U.S. Gov. Printing Of., Oct. 1988.

16. "EPA Guide for Infectious Waste Management" U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response, National Technical Information Service, PB 86-199130 (May 1986), p. xiv and 5-1 - 5-5.
17. Biosafety in the Laboratory: Prudent Practices for the Handling and Disposal of Infectious Materials. (Washington, DC: National Academy Press, National Research Council, 1989), p. 39.
18. Misra, G.S. Introductory Polymer Chemistry. Ed. John Wiley and Sons. New York. 1993 pp 125-127.
19. Thayer, Ann M. "Solid Waste Concerns Spur Plastic Recycling Efforts" Chemical and Engineering News. Enero 1989.
20. IMSS "Estudio de Reciclado de Residuos Plásticos Generados en el Instituto Mexicano del Seguro Social. Monografía del Plástico". Febrero 1995.
21. Goldbaum, Ellen "A New Wave of Plastics Recycling" Chemical Week. Mayo 1989. pp 9-13
22. Rotman, David "More Federal Attention to Less Waste" Chemical Week. Noviembre 1988 pp 99-102
23. "Wascensin Administrative Code" Department of Natural Resources Environmental Protection Hazardous Waste Management Chapter NR 600- 1991 p. 1.
24. "Source Reduction Emerges as Solid-Waste Strategy" Modern Plastics. Febrero 1989. pp 8-9
25. The New York Times. "The 7 Levels of Plastic in Recycling-by-the-Numbers" Holusha, John Sunday, October 11, 1992. pp 2E
26. Leaversuch, Robert D. "Incineration. Is it a real option? or is it just an illusion?". Modern Plastics. Mayo 1989 pp 34-39
27. Secretaría de Salud NOM-051-SSA1-1993, que establece las especificaciones sanitarias de las jeringas esteriles desechables de plástico. Diario Oficial de la Federación. Lunes 16 de enero de 1995
28. Secretaría de Salud NOM-015-SSA1-1993, que establece las especificaciones sanitarias de los equipos para transfusión con filtro sin aguja. Diario Oficial de la Federación. Lunes 7 de noviembre de 1994
29. Secretaría de Salud. Proyecto de NOM-015-SSA1-1993, que establece las especificaciones sanitarias de los estetoscopios. Diario Oficial de la Federación. Viernes 12 de agosto de 1994.

30. Secretaría de Salud. Proyecto de NOM-085-SSA1-94, que establece las especificaciones sanitarias de los guantes para cirugía y exploración en presentación estéril y no estéril. Diario Oficial de la Federación. Viernes 12 de agosto de 1994.
31. Secretaría de Salud. Proyecto de NOM-081-SSA1-94, que establece las especificaciones sanitarias de los catéteres para embolectomía modelo Fogarty. Diario Oficial de la Federación. Viernes 12 de agosto de 1994.
32. Secretaría de Salud. Proyecto de NOM-096-SSA1-1994, que establece las especificaciones sanitarias de los guantes de cloruro de polivinilo para exploración (examen) en presentación estéril y no estéril. Diario Oficial de la Federación. Jueves 20 de octubre de 1994.
33. Secretaría de Salud. NOM-052-SSA1-93, que establece las especificaciones sanitarias de las sondas para drenaje unario de hule látex natural estéril modelo Foley. Diario Oficial de la Federación. Lunes 16 de enero de 1995.
34. Secretaría de Salud. Proyecto de NOM-080-SSA1-94, que establece las especificaciones sanitarias de los estuches de diagnóstico para otorrinolaringología. Diario Oficial de la Federación. Viernes 12 de agosto de 1994.
35. Secretaría de Salud. Proyecto de NOM-085-SSA1-94, que establece las especificaciones sanitarias de las sondas para drenaje biliar en forma de "T" modelo Kehr, estériles y no estériles. Diario Oficial de la Federación. Viernes 12 de agosto de 1994.
36. Secretaría de Salud. NOM-062-SSA1-1993, que establece las especificaciones sanitarias de los marcapaso. Diario Oficial de la Federación. Miércoles 28 de junio de 1995.
37. Environmental Protection Agency. Hospital Waste Combustion Study. Data Gathering Phase". final draft. Prepared by Radian Corp. (October 1987)
38. Thornton, Joseph, et al. "Dioxin, Hospitals and Medical Responsibility". Greenpeace. New York. 1995
39. Danish Environmental Protection Agency. "PVC and Alternative Materials." Denmark. 1993.
40. Ecocycle Commission of the Government of Sweden. "PVC: A Plan to Prevent Environmental Impact." Stockholm 1994.
41. Coordinación de Construcción y Conservación, et al. "Estudio de Reciclado de Residuos Plásticos Generados en el Instituto Mexicano del Seguro Social." 1995.

42. Lupin, R. and M. Sprafka. "A Waste Reduction Project Within the University of Minnesota Hospitals" University of Minnesota Physical Plant (June 10, 1980).
43. Naphine, Rober. "Challenging Consumption. Geelong Hospital starts to quantify the costs". Australian Nurses' Journal. Volume 19, Nº 10 May 1990. p 13-14.
44. Secretaría de Desarrollo Social. Proyecto de NOM-087-ECOL-1994. Diario Oficial de la Federación Viernes 19 de agosto de 1994.
45. Green, Alex E.S. Medical Waste Incineration and Pollution Prevention. New York. Van Nostrand Reinhold 1992
46. "Cuadro Básico de Material de Curación y Prótesis del Sector Salud" Consejo de Salubridad General. Sistema Nacional de Salud
47. Blumberg Avrom A. "Identifying Polymers through Combustion and Density" Journal of Chemical Education Vol 70 No 5 pags 369-403 1993
48. Braun, Dietrich. Métodos Sencillos de Identificación de Plásticos 2ª ed. Ed. Hanser. 1990
49. Rubin, H et al. Handbook of Plastics Testing Technology Ed John Wiley and Sons. New York 1984. pags. 271-275
50. The Merk Index. 11th ed. Merk & Co., Inc New Jersey, U.S.A. 1989.
51. Seymour, Raymond B. Introduction to Polymer Chemistry. Ed. McGraw-Hill. USA. 1981
52. Rosato D.V. Plastics Processing Data Handbook. Van Nostrand Reinhold. New York. pag 30-31. 1990
53. Seachtling. International Plastics Handbook. 2nd ed. Hanser Publishers. pag. 394-396 Canadá. 1987.
54. Mark, H.F. et al. (Editor) Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. Vol 8. New York pag 25-27 1987
55. Fessenden, Ralph J. Química Orgánica. Grupo editorial Iberoamericana. México. 1983.
56. Pouchert, C. J. The Aldrich Library of Infrared Spectra ed III Aldrich Chemical Company USA. 1981
57. Doebbeling, Bradley N et al. "The direct costs of universal Precautions in a teaching hospital." Journal of the American Medical Association. Vol 264, Nº 16, Oct 24, 1990. p. 2083-2087
58. Little, Pam. "Cloth. Environmental Change at Mineral Springs Hospital." Journal of the Alberta Association of Registered Nurses Vol 47, Nº 4 April 1991 p 41.