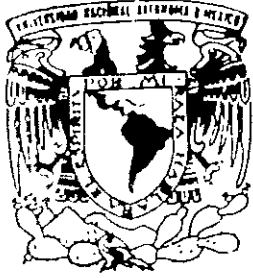


139



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

RECICLADO DE POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD MEDIANTE ENERGIA SOLAR

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERA QUIMICA PRESENTA :

REMEDIOS ISABEL SALAZAR CUADROS



277495



MEXICO, D. F.

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

2000



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: Prof. Manuel Jiménez Estrada

Vocal: Prof. Enrique Saldívar Guerra

Secretario: Prof. Víctor Manuel Luna Pabello

1 er. Suplente: Prof. Marco Antonio Uresti Maldonado

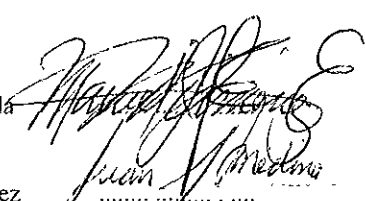
2do. Suplente: Prof. Jorge Adrián Olivares Sandoval

Sitio donde se desarrolló el tema:

Instituto de Química y Planta Solar del Instituto de Ingeniería (UNAM)

Asesor:

Dr. Manuel Jiménez Estrada



Supervisor Técnico: Q. Juan Alberto Medina Domínguez



Sustentante:

Remedios Isabel Salazar Cuadros



## DEDICATORIA

A mi madre:

Teresa, por tu enorme entrega de amor y trabajo que he recibido durante toda mi vida. Por ser la luz interminable de mi camino, el consuelo y la mano amiga, a ti mamá, gracias por lo que vino y vendrá con todo mi amor

A mi tía Bernardina, por el apoyo económico recibido cuando más lo necesité y porque en ti encontré la mano amiga que siempre está dispuesta a ayudar pase lo que pase y porque siempre confiaste en mí.

A mi tío Pedro, por el apoyo recibido, por cuidarme cuando fui pequeña y porque aunque a veces nos enojábamos seguimos juntos peleando y haciéndonos maldades pero en el fondo sabes que te quiero.

A mi tía. Rosa que aunque ya no está entre nosotros siempre me quiso mucho y siempre deseó que me titulara.

A mis primos Sandra, Valentina, Luis, Miguel, Blanca Azucena, Wenceslao Tonatiuh, por los paseos y las aventuras que vivimos juntos y que siempre recuerdo.

A Concepción:

Gracias amiga mía por ser más que eso una hermana, por tu comprensión, por ser mi brazo fuerte cuando me faltaba valor, por tu cariño y lealtad. espero sigamos juntas y unidas.

A mis amigos Jaqueline, Fernando, Minnie, Fannie Gálvez, Marcela Linares y Lucero.

A todos mis compañeros del laboratorio 2-8, que de alguna u otra forma me apoyaron en la realización de la presente investigación, en especial a Ricardo por ayudarme a construir el rodillo, a Dagoberto por su ayuda y consejos, y a Alberto Medina por toda la ayuda y comentarios.

A Zeferino. por su enorme espíritu de servicio y por haberme ayudado.

A TI:

Por tu amor, cariño y por que en ti encontré la fuerza que necesitaba para el termino de este trabajo, gracias por ser la dulce compañía y por tu fe inagotable en mi.

A todas las personas que por mi mala memoria en este momento no recuerdo, ante todo gracias.

Gracias vida por darme la oportunidad del fracaso, la dicha del triunfo, el dolor del llanto, el amor del amigo y el creer en mi misma.

ISABEL

# Índice

	<b>Página</b>
Índice de tablas	iii
Índice de figuras	iv
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	1
<b>2. OBJETIVO.</b>	3
<b>3. ANTECEDENTES.</b>	4
3.1 Naturaleza de la radiación solar.	4
3.1.2 Sombras y mapas de trayectorias.	8
3.2 Concentradores solares.	9
3.2.1 Ventajas del empleo de concentradores.	10
3.2.2 Desventajas del empleo de concentradores.	11
3.3 Clasificación de los reactores químicos solares.	14
3.3.1 Reactores químicos solares de incidencia directa.	14
3.4 Protección ambiental.	15
3.4.1 Residuos municipales.	19
3.4.1.1 Conversión de basura en insumo.	19
3.5 Clasificación de los plásticos.	20
3.5.1 Historia sobre el reciclado.	22
3.6 Reciclado de plástico.	25
3.6.1 Razones para reciclar.	30
3.6.2 Fuentes de desperdicios plásticos.	32
3.7 Tecnologías para reciclar plásticos.	34
3.7.1 Comparación entre molienda convencional y molienda criogenica.	36

3.7.2 Pelletización.	37
3.7.3 Líneas completas de recuperación.	38
3.7.3.1 Para plásticos de la misma especie.	38
3.8 Polietileno	40
3.8.1 Características del polietileno de baja densidad (PEBD).	44
3.8.2 Características del polietileno de alta densidad (PEAD).	47
3.8.3 Propiedades del polietileno (PE) reciclado.	49
<b>4. PARTE EXPERIMENTAL.</b>	<b>53</b>
4.1 Instrumentación.	53
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSION.</b>	<b>57</b>
<b>6. CONCLUSIONES.</b>	<b>68</b>
<b>7. REFERENCIAS.</b>	<b>70</b>
<b>8. Anexo (fotografías 1-4).</b>	
1. Fusión del plástico en el concentrador solar.	74
2. Aplanado del plástico mediante un rodillo.	74
3. Diferentes objetos obtenidos en el concentrador solar.	75
4. Muestras obtenidas de la fusión en el laboratorio con mechero.	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No.	Página
1. Clasificación de los plásticos según la ASTM.	22
2. Basuras municipales norteamericanas y recuperación de plásticos.	28
3. Cantidad de materiales en basureros.	34
4. Tratamientos para acondicionar los plásticos sujetos a recuperación o reciclaje.	35
5. Características de los plásticos y consumo de gas para molienda criogénica.	35
6. Efectos de la densidad en el polietileno.	41
7. Clasificación de los polietilenos según su peso molecular.	41
8. Efectos del aumento del peso molecular en el polietileno.	42
9. Características del polietileno de baja densidad.	44
10. Características del polietileno de alta densidad.	47
11. Comparación de propiedades de PEAD virgen contra reciclado.	50
12. Fusión de plásticos con mechero Bunsen en sistema abierto (laboratorio).	57
13. Fusión de plásticos con mechero Bunsen en sistema abierto (laboratorio).	58
14. Cantidad de plástico perdido en el calentamiento directo con canastilla	59
15. Fusión de los polietilenos en sistema abierto utilizando un concentrador solar.	60
16. Fusión de los polietilenos en sistema cerrado utilizando un concentrador solar.	61
17. Cantidad de plástico perdido en el calentamiento utilizando resistencia eléctrica y aceite de linaza (baño maria).	61
18. Gramos de plástico recuperados al fundir en el concentrador solar con un recipiente de aluminio.	62



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Página
1. Naturaleza de la radiación solar.	4
2. Distribución espectral.	5
3. Relación tierra-sol.	7
4. Mapa de trayectorias correspondiente a la latitud 19.33°N	9
5. Razón de concentración de la temperatura de operación del absorbedor.	12
6. Dimensionamiento del concentrador parabólico.	13
7. Ciclos de extrusión.	51
8. Índice de fluidez.	52

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de la energía solar para una gran variedad de fines prácticos no es una idea desarrollada recientemente. Desde el siglo pasado se inició su utilización para diversos fines, como en la destilación y la generación de vapor *principalmente*. Pero en años recientes ha sido motivo de una intensa investigación y cada vez se encuentran más aplicaciones prácticas y atractivas en la utilización directa como fuente de calentamiento y en procesos más complejos como la generación de electricidad o en la obtención de productos *químicos*. Aunque la radiación solar ha tenido un papel importante en todos los procesos químicos desarrollados desde la formación de la tierra hasta nuestros días, solo hasta el siglo pasado es cuando empieza a estudiarse la interacción de la radiación proveniente del sol con la materia (26).

El uso de productos plásticos en la industria alimentaria y de bebidas está muy extendido en nuestra cultura, por lo que el exceso de plásticos está presente en los tiraderos de basura. Entre los materiales más comunes podemos encontrar Polietilen-tereftalato (PET), Polietileno de alta densidad (PEAD), Polietileno de baja densidad (PEBD), Policloruro de vinilo (PVC), Polipropileno (PP) y Poliestireno (PS) (10).

Ante el exceso de materiales plásticos desechados, es necesario su reciclaje como alternativa para la conservación del ambiente. Al mismo tiempo, los procedimientos de reciclado requieren de energía, para tal fin también se propone la utilización de la energía solar para la fundición y el moldeado de estos materiales, lo anterior se considera ya que es una fuente de energía inagotable y limpia. Con ambas iniciativas, se busca favorecer al ambiente ya que se eliminan materiales de desecho no hay subproductos de desecho

originados por la fuente de energía, además en nuestro país esta disponible prácticamente los 365 días del año.

Es posible que el uso de estos materiales como sustituto de la madera, contribuirían a evitar la tala discriminada de los bosques. La obtención de una hoja de material reciclado como las que utiliza la industria de la construcción de medidas estándar(244m x 122m) puede contribuir a salvar un árbol (21).

En el presente trabajo se desarrolló una tecnología, fácil, limpia, y barata para utilizar la energía solar, y así poder utilizarla en el reciclado de plásticos, el trabajo se dividió en cuatro partes, de las cuales dos se realizaron a nivel laboratorio y dos en una planta solar del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

## **2. Objetivo**

Efectuar el calentamiento de distintos plásticos de desecho utilizando un concentrador solar, con el fin de fundirlos y posteriormente moldearlos para obtener objetos con diferentes usos y bajo costo.

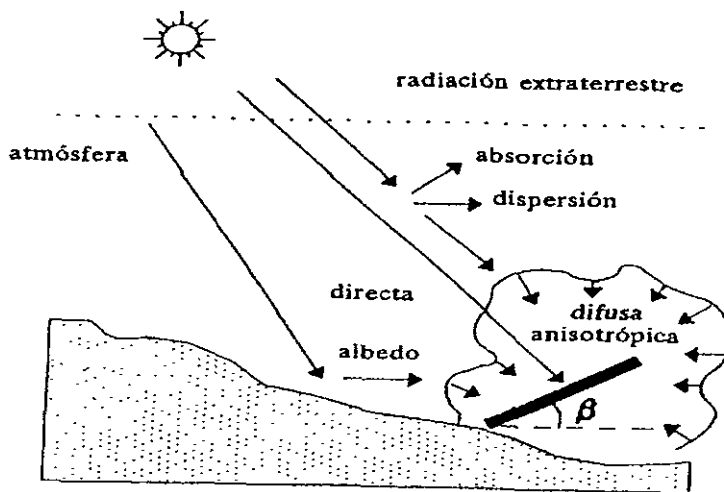
## **Hipótesis**

La energía solar es una energía abundante y barata en nuestro país, no genera contaminación, por lo que es posible usarla como fuente de energía para fundir y moldear termoplásticos.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Naturaleza de la radiación solar

En la figura 1 se muestran los diferentes componentes de la radiación solar que llegan a un receptor terrestre.



**Figura 1.** Diferentes componentes de la radiación solar (17).

La radiación incidente sobre un receptor situado fuera de la atmósfera, o radiación extraterrestre, proviene casi exclusivamente de la emitida en forma radial por el sol (radiación directa) y al estar en el espacio exterior desprovisto de materia dispersa, la esfera celeste aparece negra (sin radiación) con pequeños puntos brillantes correspondientes a las estrellas, de importancia despreciable a nuestros efectos, y una de singularidad importante correspondiente al sol.

La radiación solar contiene fotones de todas las longitudes de onda de acuerdo con la contribución espectral como la indicada en la figura 2 (14).

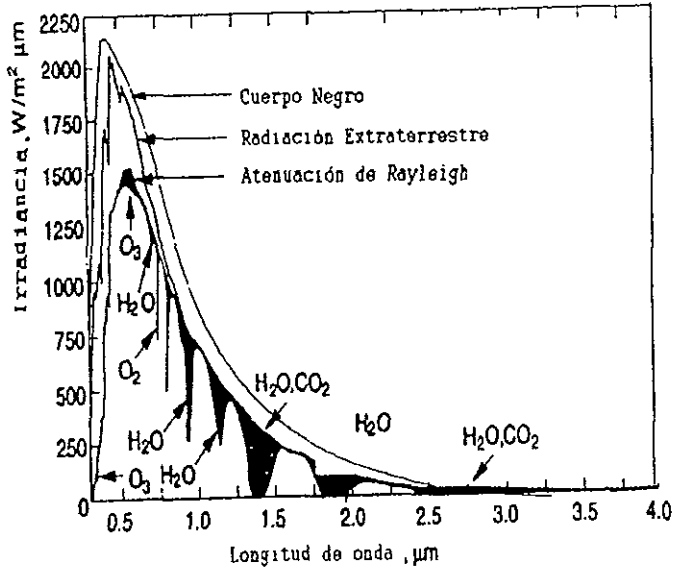


Figura 2. Distribución espectral (14).

La radiación solar se extiende de 0.3 a 2.5  $\mu\text{m}$  como rango efectivo, siendo la región visible o sensible al ojo de 0.4 a 0.77 y de 0.77 en adelante se denomina infrarrojo. También se denomina rango de corta longitud de onda, al correspondiente al rango solar de 0.2 a 3 o 4  $\mu\text{m}$  y de longitud de onda larga a partir de 4  $\mu\text{m}$ . que suele ser el límite efectivo donde comienza la radiación atmosférica o terrestre. La radiación térmica se extiende desde 0.2 a 100 $\mu\text{m}$ , aunque la zona efectiva que se considera va de 4 a 100  $\mu\text{m}$  (radiación atmosférica o radiación terrestre) (17).

Al atravesar la atmósfera, los componentes atmosféricos actúan sobre la radiación solar reflejándola (nubes), absorbiéndola (ozono, oxígeno, bióxido de carbono, vapor de agua, etc.) y dispersándola (moléculas, gotas de agua y polvo en suspensión, etc.). Por último la radiación que llega al suelo, una parte es absorbida por el propio suelo y otra parte es reflejada de nuevo hacia la atmósfera. El resultado de estos efectos es la descomposición de la radiación solar incidente sobre un receptor en tres componentes bien diferenciados. La radiación directa, constituida por los haces de rayos que se reciben en línea recta con el sol.

La radiación difusa, procede de todo el cielo excluyendo el disco solar y debido a los rayos no directos dispersados por la atmósfera en la dirección del receptor. Y la radiación del albedo procedente del suelo y debida a la reflexión de la radiación incidente en él. La radiación total (directa + difusa + albedo) incidente en una superficie se denomina radiación global (14).

La cuantía de la radiación del albedo es fuertemente dependiente de la naturaleza del suelo. En una práctica puede encontrarse un amplio abanico de situaciones (nieve, vegetación, agua, etc.). En algunos casos particulares, los alrededores de los receptores se preparan de forma deliberada (pintando de blanco, etc.) para incrementar el albedo de tal manera que contribuya significativamente a la radiación global.

En esta sección, el término radiación se emplea en sentido genérico. Para distinguir entre potencia y energía se utilizan definiciones más precisas. Se llama irradiancia a la densidad de potencia incidente en una superficie, o en otras palabras, a la energía incidente en una superficie por unidad de tiempo.

Se denomina irradiación a la energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de un cierto período de tiempo (irradiación horaria, irradiación diaria, etc.). La irradiancia se mide en  $\text{KWm}^{-2}$  (o similar), mientras que la irradiación se mide en  $\text{KW h m}^{-2}$  (16).

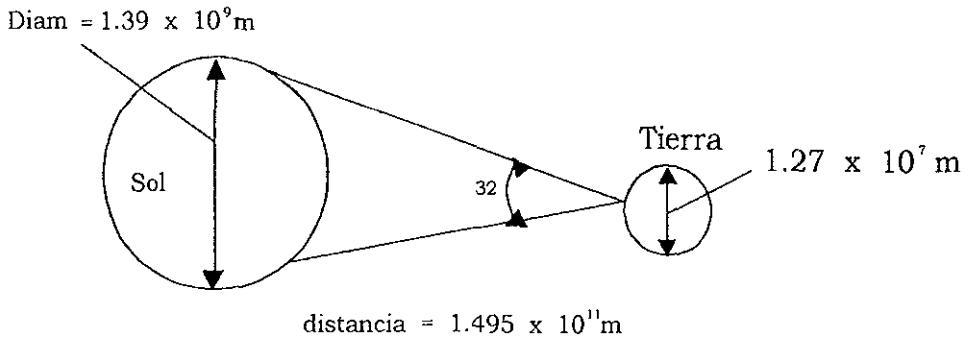
Fuera de la atmósfera, el espectro solar (radiación extraterrestre) se aproxima al de un cuerpo negro (17) a la temperatura de  $5\,500^\circ\text{C}$  y el valor de la irradiancia es de  $1\,367\text{ KW/ m}^2$ . Según la ecuación de Stefan- Boltzman por integración de las ecuaciones de Planck para todas las longitudes de onda, el total de energía emitida por un cuerpo negro es:

$$E_b = \int_0^\infty E_{b\lambda} d\lambda = \sigma T^4$$

Donde:

$\sigma$  = Constante de Stefan- Boltzman  $5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/ m}^2 \text{ K}^4$ .

$E_b$  = energía por unidad de área por unidad de tiempo por intervalo de la longitud de onda ( $\lambda$ ) La letra b subíndice representa el cuerpo negro.



**Figura 3.** Relación tierra-sol (26).



$$E_s = A_s \sigma T^4 = \pi(D_s)^2 \sigma T^4$$

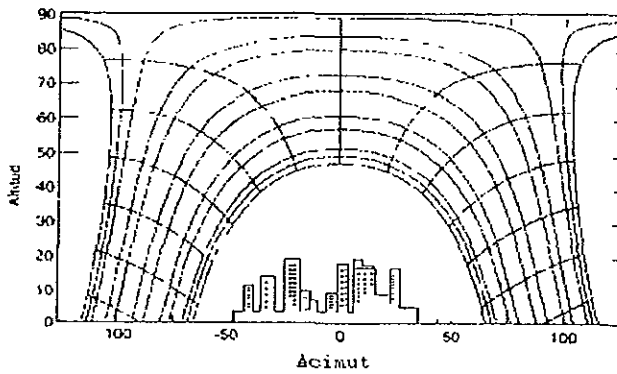
$$I_{cs} = \{ \pi(D_s)^2 \sigma T^4 \} / \{ 4\pi D^2 \}$$

$$I_{cs} = \{ \pi(1.39 \times 10^9 \text{ m})^2 (5.67 \times 10^{-8}) (5770)^4 \} / \{ 4\pi (1.49 \times 10^9 \text{ m})^2 \} = 1367.36 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

La constante solar ( $I_{cs}$ ) es el nombre dado a la cantidad de energía radiante procedente del sol que llega por unidad de tiempo (un segundo) y por unidad de área (un metro cuadrado), perpendicular a los rayos del sol en un punto más allá de la atmósfera a una distancia del sol igual al radio medio de la órbita de la tierra. Pero toda la energía de la constante solar no llega a la superficie terrestre, parte de esta energía se atenúa debido a fenómenos de absorción, reflexión y difusión de la radiación por los gases que constituyen la atmósfera

### 3.1.2 Sombras y mapas de trayectorias

En algunas ocasiones es preciso ubicar los receptores en lugares totalmente libres de sombras. La figura 4 describe la elevación del sol en función de su acimut para algunos días del año y para la latitud  $\phi = 19.33^\circ \text{ N}$



**Figura 4.** Mapa de trayectoria correspondiente a la latitud =  $19.33^{\circ}$  N (17).

Este tipo de figuras, denominadas mapas de trayectorias del sol constituye una herramienta muy útil para determinar la duración y efecto de las sombras proyectadas por cualquier obstáculo. En efecto, la lectura directa de un teodolito bien estacionado permite obtener los ángulos de elevación y acimut de los puntos mas relevantes (esquinas, cumbres, etc.) de cualquier posible obstáculo. Con ellos puede suponerse el horizonte local al mapa de trayectorias. La determinación del efecto de las sombras se hace, entonces, sin más que considerar que la radiación directa y la componente circunsolar de la radiación difusa asociadas a todas las posiciones del sol situadas por debajo del horizonte local son nulas. Salvo casos de sombras muy exageradas, los efectos del horizonte local sobre las otras componentes de la radiación difusa pueden considerarse despreciables (17).

### 3.2 Concentradores Solares

Son dispositivos en los que es posible obtener una alta densidad de energía (radiación concentrada) sobre un absorbedor, superficie para lograr

temperaturas mayores de 200° C, La concentración de la radiación solar se logra mediante dispositivos ópticos que reflejen o refracten la radiación solar de manera que concentran el flujo incidente sobre un absorbedor de área mucho menor que la apertura.

Los concentradores estacionarios se caracterizan por su concentración: mayor de 1 y menor de 10, no requiere un seguimiento preciso sino sólo un ajuste ocasional a lo largo del año. En cambio, los equipos con razón de concentración dentro del intervalo de 10 a 3000 necesitan que sus curvaturas geométricas sean muy precisas, al igual que su mecanismo seguidor.

Un concentrador solar capta la radiación solar sobre un superficie dada, inciéndola sobre una pequeña área de absorción para elevar la temperatura del fluido de trabajo. Los concentradores solares tienen por objetivo calentar un fluido a temperaturas mayores a 100°C. Este dispositivo está compuesto por una superficie de concentración y por una superficie de absorción y pueden ser del tipo lineal (bidimensional o del tipo puntual tridimensional) (6).

### **3.2.1 Ventajas del empleo de concentradores solares.**

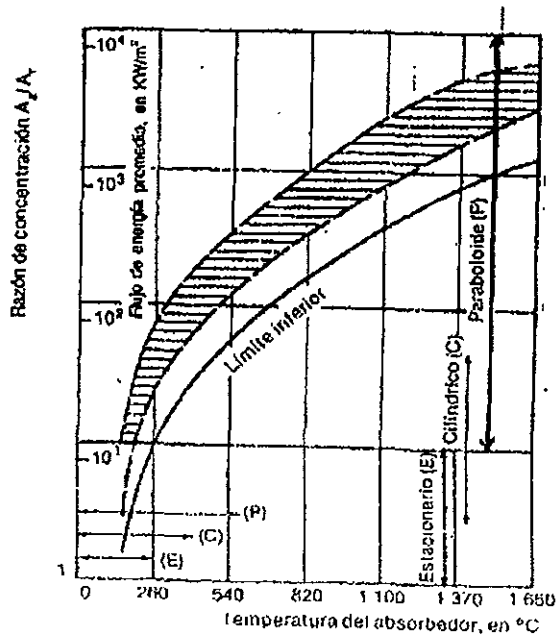
- 1) Las pérdidas de calor se reducen al utilizar un absorbedor de menor área por lo que mejora la eficiencia térmica.
- 2) La cantidad de energía colectada sobre la superficie de absorción por unidad de área se aumenta, con la cual se pueden alcanzar altas temperaturas aprovechables en algún ciclo termodinámico.

### 3.2.2 Desventajas del empleo de concentradores solares.

- 1) Debido a que es difícil trabajar con espejos de vidrio (por la curvatura que presentan), el material utilizado es una película de aluminio con adhesivo de segunda superficie, por la cuál su calidad óptica de la superficie reflectora requiere mantenimiento y protección intensiva contra su exposición a la intemperie. En estos concentradores al aumentar la razón de concentración,  $Aa/Ar$ , manteniendo  $Aa$  constante, las pérdidas térmicas se reducen, permitiendo alcanzar altas temperaturas. Sin embargo, las pérdidas por reflexión, factor de forma y la no-concentración de radiación difusa en los concentradores, reducen la energía absorbida comparada con la que capta un colector plano.
- 2) Trabajan sólo con la componente directa de la radiación solar el criterio de selección de estos sistemas debe incluir características geográficas del lugar. Cuanto más alta es la temperatura a la cual la energía va a ser entregada en un concentrador, mayor deberá ser la razón de concentración para lograr esto, la geometría del concentrador necesita ser la más precisa posible, así como el sistema que permite seguir al sol; en la figura 5 se muestran los valores de razón de concentración y tipos de concentradores con los que se puede entregar energía a diferentes temperaturas sobre un absorbedor.

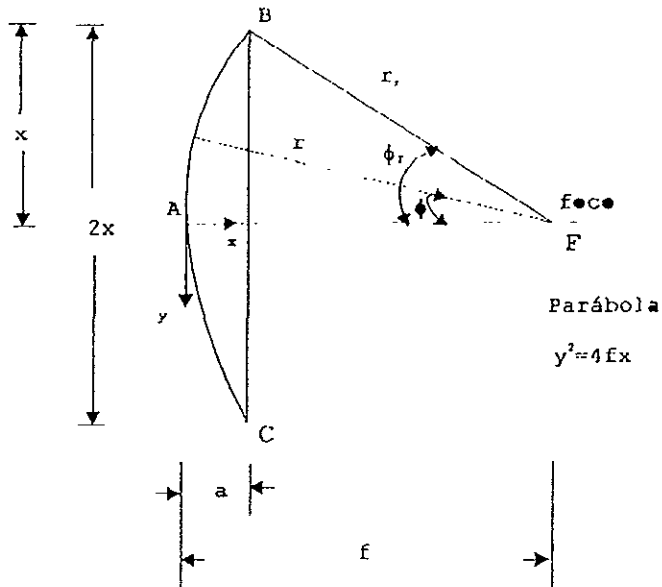
Un aspecto muy importante en el funcionamiento de un concentrador es el absorbedor. Como intento inicial para fijar el diámetro del absorbedor, es apropiado tratar de captar toda la energía reflejada por el espejo parabólico. El diámetro del receptor dependerá del tamaño angular del sol, magnitud del error cometido en el seguimiento, error de curvatura del espejo, irregularidad de la superficie reflejante y de la absorción angular característica de la superficie receptora ( 6).

Las pérdidas térmicas son directamente proporcionales al diámetro del receptor; para tener un receptor con el menor diámetro posible y así producir las perdidas térmicas, es necesario seleccionar un ángulo de borde para el espejo de tal forma que se logre minimizar la distancia máxima de la superficie reflejante al foco. Un ángulo de borde de  $90^\circ$  minimiza dicha distancia.



**Figura 5.** Razón de concentración de la temperatura de operación del absorbedor (6).

El diseño aquí utilizado consta de un concentrador puntual de tipo parabólico con las siguientes características:



**Figura 6.** Dimensionamiento del concentrador parabólico. Tomado del equipo utilizado en la planta solar del Instituto de Ingeniería de la UNAM, México D.F.

$x = 0.755$  m radio del concentrador

$a = 0.25$  m profundidad del concentrador

Área del concentrador

$$\text{Área} = \frac{2}{3} a (2x) \quad \text{Área} = 0.252 \text{m}$$

### **3.3 Clasificación de los reactores químicos solares**

Los reactores químicos solares se clasifican de forma diferente a los reactores químicos convencionales, la división de este tipo de reactores se hace en función de los siguientes parámetros.

- a) Forma de incidencia de la radiación solar
- b) Flujo de materia
- c) Movimiento de partículas

De acuerdo con la forma de incidencia de la radiación se clasifican en reactores directos o indirectos, en los directos la radiación incide directamente sobre los reactantes, por el contrario en los indirectos la recepción de energía se efectúa utilizando un material intermediario, en este caso la radiación incide sobre el material intermediario y el calor es transmitido a las sustancias reaccionantes.

De acuerdo al flujo de materia se pueden tener reactores por lotes o intermitentes.

Por el movimiento de partículas sólidas dentro del reactor también se pueden clasificar en reactores de lecho fijo o reactores de lecho fluidizado, en el caso de lecho fijo las partículas permanecen fijas y solo la parte fluida presenta movimiento. Los reactores de lecho fluidizado presentan movimiento en ambas fases, tanto en la fase sólida como en la fluida.

#### **3.3.1 Reactores químicos solares de incidencia directa**

Estos reactores permiten la incidencia directa de la radiación solar concentrada sobre los materiales que intervienen en la reacción, este tipo de

reactores son apropiados para efectuar incrementos y decrementos bruscos de temperatura y se pueden alcanzar niveles tan altos de temperatura como lo permita el concentrador. Estos reactores generalmente se encuentran alojados en cavidades que hacen la función de un cuerpo negro. Este tipo de reactores puede consistir en un simple crisol que contiene las sustancias químicas expuestas a la radiación solar concentrada, sin embargo la mayoría de las reacciones de interés requieren de condiciones diferentes a la atmosférica, la reacción se efectúa en recipientes cerrados que constan de una ventana transparente a la radiación solar. Los materiales de los recipientes deben de resistir las altas temperaturas y los choques térmicos además de la buena transparencia. Los materiales más utilizados son el pyrex y el vidrio de oxido de silicio(25).

### **3.4 Protección Ambiental.**

Este es un tema actualmente prioritario en el país, la explotación indiscriminada de los recursos naturales por parte del hombre así como el uso de fuentes contaminantes ha alterado el entorno en el que habitamos. Los avances tecnológicos han contribuido a que el hombre viva con más lujos y comodidades que antes no se tenían, como por ejemplo medios de transporte, muebles tanto de madera como de plástico, empaques de plástico para contener alimentos. Lo anterior a traído como consecuencia el deterioro ambiental, considerando que cada día son más los habitantes del planeta y los desperdicios que estos generan son cada vez mayores. Por otra parte es necesaria la búsqueda de más fuentes de energía eléctrica, son necesarios más medios de transporte lo cual genera mayor contaminación. Sin embargo, todavía no hay suficiente conciencia en el sentido de que cuidar el ambiente es cuidar el futuro. Aunque el gobierno han gastado recursos en promover la protección ambiental, la falta de coordinación con empresarios y la comunidad no ha permitido un avance sustancial en este rubro. Tal ves el principal problema que hay que afrontar es la educación hacia la



población, una de ella es la de acostumbrarla a separar la basura inorgánica de la orgánica consentisarla para el ahorro de energía y evitar dispendio.

La conciencia ambiental de la población se debió a los efectos que producía la industria contaminante. A pesar de ello y de la evidencia de contaminación atmosférica y generación de desechos, en México se empezaron a aplicar criterios ambientales hasta el año de 1970 (4).

Adicionalmente, las afecciones derivadas de la industria contaminantes eran consideradas como efectos locales y percibidos a una escala que se pensaba, no ameritaba una preocupación mayor. En cuanto al uso de recursos naturales predominaba la idea de su explotación como fuente inagotable y por lo tanto, no era necesario imponer restricciones.

La reestructuración de las empresas como consecuencia de la apertura comercial del país, ocasionó cambios dentro del panorama ambiental. En cuanto a las ramas más contaminantes. Se consideran en general industria la eléctrica, la química y la de los derivados del petróleo y además son las más dinámicas. A ellas se sumaron las empresas productoras de fibras sintéticas, resinas, fertilizantes, plásticos, pinturas, pigmentos y gases industriales. Algo similar sucedió con las industrias de papel, hule, metalmecánica, cemento y maquinaria.

Las transformaciones que vive actualmente la economía mundial puede caracterizarse por la acelerada presencia de innovaciones tecnológicas que llevan a la aparición de nuevas ramas industriales o de servicios, así como de sistemas más avanzados. Este encadenamiento de mejoras y de nuevos productos, procesos y sistemas esta transformando las condiciones de trabajo, los patrones de consumo y de demanda, y la estructura de producción de los distintos países que participan en el comercio mundial (7).

Las nuevas políticas de apertura comercial han obligado a México ha adoptar ciertos sistemas de trabajo que garanticen una “producción limpia” Al principio, las empresas privadas, impulsoras de este cambio se han esforzado por la protección del medio ambiente. mediante gestión de residuos a posteriori. Algunas han desarrollado complicados procedimientos y construido instalaciones destinadas a eliminar residuos sólidos, aguas residuales y gases de escape al final de la cadena de producción. Sin embargo, a partir de algunas estadísticas proporcionadas, los esfuerzos han sido insuficientes. Y los niveles de contaminación no son lo suficientemente bajos para así estar satisfechos sin preocupación alguna.

Algunos datos de acuerdo con el Instituto Nacional de Recicladores (INARE), organismo que ha intentado agrupar a los principales empresarios que se dedican a la tarea de reciclaje de desechos, en México se generan aproximadamente 26 millones de toneladas de basura (4). De este total sólo reprocessan 620,000 toneladas al mes. Además, cada persona produce 800 gramos de desperdicios por día y las zonas de alto poder adquisitivo producen más basura. Esta situación ha provocado que el problema se divida en dos áreas qué hacer con los desechos de cartón, papel, vidrio, plástico, aluminio. fierro y chatarra, entre otros materiales, y la posibilidad de un gran negocio para los empresarios interesados en limpiar el ambiente.

A pesar de las grandes oportunidades que significa participar en este prometedor sector, *la industria del reciclaje en México todavía está en una fase empírica.* “ Se necesita mucha inversión, y no somos fáciles de agrupar. Ha sido una labor difícil y poco productiva”, Esta industria enfrenta un serio problema requiere de grandes inversiones y es poco rentable. Como ejemplo basta citar que los recicladores necesitan una compactadora que vale en el mercado *mundial alrededor de un millón de dólares (7).*

En otros países, la industria del reciclaje es estimulada por las propias autoridades al ofrecer créditos blandos a quienes se dedican a esta actividad. También se ofrece la oportunidad de importar equipo libre de impuestos o hacer el pago a los que venden al material a reciclar con tan sólo una identificación. En México sucede todo lo contrario. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) obliga al dueño de los centros de acopio de material a retener al vendedor un 5% del valor total de la compra. “ Hay personas que venden sólo un kilo de aluminio”. Asimismo, los impuestos para este sector son comparables con los que genera, por ejemplo, el comercio. Además de esta situación, los recicladores se encuentran con la lentitud de las autoridades en la materia para aplicar los diversos programas.

Las autoridades reconocieron sus limitaciones. Durante la presentación del programa para la minimización y el manejo integral de los residuos industriales peligrosos en México (1996-2000). (19), hacen falta “mecanismos de convergencia entre la industria local, los inversionistas, el sector académico, las universidades y las tres instancias de gobierno”, como “información, inspección y vigilancia”.

La mayor parte de los desechos sólidos se maneja en forma inadecuada. La basura se encuentra dispersa básicamente en los tiraderos municipales, lotes baldíos, basureros clandestinos, calles de la ciudad y hasta en la propia oficina o casa. Tan solo en el caso del plástico, de 2.6 millones de toneladas de producción en México, 1.8 millones se van a la basura, lo cual representa un 69% del total.

### **3.4.1 Residuos municipales**

#### **3.4.1.1 Conversión de basura en insumo.**

El reciclaje constituye la columna vertebral del mercado de los residuos sólidos municipales. El análisis superficial sostiene que en la medida que sean reaprovechados los desechos generados, se dispondrá una fuente inagotable de *insumos industriales*, lo que indirectamente cancela la necesidad de recurrir a la explotación de más recursos naturales (18).

Sin embargo, no es tan simple, la calidad del material del reciclaje es obviamente menor a la materia prima original; como consecuencia los procesos *de reciclaje aumentan costos y por consiguiente los precios finales*. El mercado de los materiales recuperados es altamente volátil con importantes variaciones en la demanda (9).

La viabilidad del reciclaje deriva de una situación de emergencia: *creciente deterioro ambiental, agotamiento de la materia prima, necesidad de apertura de mercados y urgencia de fuentes de empleo*. Según cifras del INARE, en México se reciclan mensualmente 800 000 toneladas de desperdicio y 30 000 familias viven de manera directa de esta industria. El mercado del reciclado apenas ha sido explotado, *La recuperación y aprovechamiento de subproductos de residuos en el DF es mínima, desigual y sin control.*" (4).

La Dirección General de Servicios Urbanos del DDF calcula que diariamente y solo en las 16 delegaciones metropolitanas de la capital del país, se generan 11 140 toneladas de residuos sólidos municipales, de las cuales se recolecta 86 % y queda disperso 14%. Del total de residuos recolectados, sólo se

recupera 8.7% para reciclaje. Un aspecto pendiente tiene que ver con la realización de estudios para determinar cómo requiere la industria que le sea entregada los subproductos reciclados, así como la demanda específica de cada uno de ellos.

### **3.5 Clasificación de los plásticos.**

Los plásticos se dividen en dos grandes grupos:

a) Termoplásticos

b) Termofijos

a) Termoplásticos

En forma general, un termoplástico es un material sólido que posee gran elasticidad a temperatura ambiente y que se convierte en un líquido viscoso a temperaturas superiores; el cambio puede ser reversible. Debido a su alto peso molecular, los polímeros nunca se convierten en fluidos ligeros (de baja viscosidad)(2).

El cambio de sólido a líquido, comúnmente llamado fusión puede significar dos mecanismos enteramente diferentes en dos clases de polímeros termoplásticos. Una clase será referida como “termoplásticos amorfos” y la otra como “termoplásticos cristalinos”. Son materiales que por la acción del calor se funden y pueden moldearse repetidas veces, se debe tener en cuenta que en cada transformación se pierden parte de sus propiedades originales.

Algunos de estos materiales y sus aplicaciones más comunes son:

Polietilén-tereftalato: botellas, envases termoformados.

Polietileno de Baja densidad: bolsas

Polietileno de Alta Densidad: bolsas tipo papel, tuberías, cubetas, macetas, botellas.

Cloruro de Polivinilo: juguetes, tubería, cable eléctrico, manguera, tarjeta de crédito, blister pack.

Polipropileno: recipientes para comida, sillas para jardín, película, ganchos.

Poliestireno: estuches de cosméticos, envases termoformados, estuches de cassettes.

Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno: Carcazas de teléfonos, batidoras, licuadoras y máquinas de escribir (11) (19).

#### b) Termofijos

Son materiales que una vez moldeados, no se pueden fundir para reutilizarse, ya que se carbonizan generalmente están cargados con minerales y fibra de vidrio.

Se utilizan en aplicaciones como:

Resina poliéster: encapsulados, lámina acanalada.

Resinas Melamínica: vajillas.

Poliuretano: colchones, espumas y relleno de muebles.(13)

Los plásticos se clasifican según los tipos y, en algunos casos, dependiendo del color. Y es que los plásticos sólo se pueden destinar a otros usos si han sido previamente separados según tipos. Finalmente se tienen siete grupos principales de material, además de varios subgrupos(ver tabla 1) (5).

**Tabla 1.** Clasificación de los plásticos según la ASTM.

Nombre	Número de código	Abreviatura
Poliéster-tereftalato	1	PET
Poliétileno de alta densidad	2	PEAD
Policloruro de vinilo	3	PVC
Poliétileno de baja densidad	4	PEBD
Polipropileno	5	PP
Poliestireno	6	PS
Otros	7	_____

Fuente: Ref. (12)

### **3.5.1 Historia sobre el reciclado.**

El desarrollo de la industria del plástico ha contribuido en cambios y avances de diversos sectores importantes como: automotriz, industrial, comunicaciones, alimentos, farmacéutico y agrícola, debido al reemplazo de materiales tradicionales como: madera, papel, vidrio y metal.

Estos cambios, en consecuencia, han modificado los hábitos de consumo de la población, propiciando el uso de una gran cantidad de materiales plásticos, que posteriormente se convierten en desechos que ocasionan un problema de contaminación.

En los últimos años, a nivel mundial se ha generalizado el cuidado del medio ambiente y de recursos naturales. Un problema a enfrentar son los desechos de los plásticos, y tal vez ha sido uno de los retos más importantes desde su introducción en el mercado, principalmente por sus características como resistencia a la degradación y su bajo costo con respecto a otros materiales, están siendo cuestionadas por su impacto ambiental.

Tomando como definición de reciclar “ La circulación de materiales dentro de un sistema cerrado con el propósito de optimizar recursos, disminuir la generación de basura, propiciar la separación de desperdicios y volver a introducirlos al sistema productivo para generar artículos útiles al hombre”(10).Y Reciclado: describe cualquier proceso en el que los artículos fabricados se recuperan y tratan de tal manera que se produce con ellos un producto útil (1).

Para el reciclaje son necesarios cinco elementos básicos : el abasto, la tecnología, la liquidez, la productividad y el mercado”

Algunos países han creado medidas legislativas como la de retomar y reglamentar en el uso de materiales para reciclado, con el interés de obtener beneficios tales como el mejoramiento ambiental y la generación de nuevas industrias que puedan resolver los problemas de contaminación aunado a la obtención de utilidades económicas.



Aunque no existan documentos que testifiquen sobre cómo y cuándo comenzó el reciclado de plásticos, es probable que en los inicios del desarrollo de la industria los transformadores empezaron a reciclar las piezas defectuosas que sostenían durante el proceso de producción y posteriormente determinaron que mezclando éstos porcentajes de material virgen podrían obtener partes moldeadas de buena calidad aprovechando así toda la materia prima sin desperdiciarla.

En el año de 1970, se inició el desarrollo del reciclado de plásticos en México como una medida necesaria, ya que su precio tuvo un marcado incremento y posteriormente debido a la escasez de materiales como consecuencia del embargo petrolero y del incremento en el precio del petróleo (10). Esta combinación de circunstancias propició el desarrollo de tecnologías de recuperación que atenderían las necesidades de los consumidores para solucionar el problema de abasto.

Con el objetivo de encontrar soluciones para los desechos plásticos, se han desarrollado diversas investigaciones que incluyen métodos físicos y químicos. Los métodos físicos consisten en sistemas para lavado y separación, molienda, fusión y granulado. Mientras que los métodos químicos no han prosperado fuera del laboratorio, como el proceso de pirólisis para aprovechar el poder calorífico de los materiales plásticos o los procesos de hidrólisis que sirven para depolimerizar las moléculas de plásticos como el PET y el Acrílico y obtener sus materias primas originales (10).

Cuando se analizó el costo energético y productivo desde la extracción del crudo hasta su transformación final, se obtuvieron datos poco favorables para hacer de la incineración la solución que eliminara la basura plástica, creándose otras tecnologías que permitieran transformarla en una vida útil secundaria (10).

Considerando las ventajas de los métodos físicos, se dio impulso al reciclado de materiales plásticos, lo cual cobro gran importancia a partir del año de 1980, donde surgieron mercados y aplicaciones como una opción de negocio (10).

En el año de 1990, se desarrollaron Centros de Acopio, en donde se recolectaron sistemáticamente los diferentes materiales para facilitar su transformación posterior. Los desperdicios plásticos se integraron a un ciclo industrial o comercial, convirtiéndose en materias primas a través de procesos cada vez más especializados, todo esto con una sola finalidad, la de buscar el máximo aprovechamiento de materia prima y abaratar el precio del producto final. Lo cual es razonable ya que al estar mezclando material de desperdicio de bajo costo con materia prima virgen, el precio del producto se abarata. Como conclusión podemos decir que la escasez de materias primas para la industria del plástico, ocasionó el desarrollo tecnológico del reciclado.

### **3.6 Reciclado de plástico.**

Bayer de México es una empresa que esta reutilizando el plástico para evitar desperdicios de materia virgen con lo que se ahorra y por lo tanto el producto tiene menos costo de producción lo que redundo en precios más accesibles al mercado. “Como fabricante de termoplásticos técnicos, productos previos de poliuretano y elastómeros, Bayer es especialmente partidario de la reutilización del plástico. El objetivo es obtener productos reciclados de gran calidad que se pueden volver a usar”. Los plásticos sólo se deben incinerar para aprovechar la energía de combustión cuando su reutilización no sea económicamente rentable ni razonable desde el punto de vista ecológico (1).

Las piezas de plástico se desmenuzan en una trituradora para facilitar el transporte, los trozos son tan pequeños que se pueden pasar por un molinillo para reducirlos a un grano del tamaño que se desee. Un ejemplo es el color: el granulado viejo de distinto color debe teñirse y granularse hasta alcanzar el tono exacto deseado por el fabricante. Mezclando lo viejo con lo nuevo se produce un plástico reciclado de alto valor y calidad asegurada. Sus propiedades técnicas son comparables a las del material nuevo. Si se cumplen las condiciones establecidas, su transformación tampoco supone problema alguno (10).

De esta manera la industria Bayer ha desarrollado y patentado un procedimiento para reciclar los discos compactos y convertirlos en plástico puro de alto valor. El método es innovador, soluciona el problema que presenta la mezcla de plástico y metal, pintura. En este proceso los discos se trituran y se muelen, a continuación, la mezcla de policarbonato, capa de aluminio vaporizado y laca protectora se separa químicamente y se deja sin residuos. El metal, la laca y los pigmentos impresos sobre el disco se eliminan.

El plástico reciclado también ha modificado las formas de producción en la industria automovilística, un cliente de mayor importancia para los polímeros técnicos. Este proceso tiene lugar a dos niveles: con cada uno de los fabricantes de automóviles y en comisiones con otras firmas de la industria automovilística y química. En el mejor de los casos, el material reciclado se vuelve a emplear para su primera finalidad.

Mercedes Benz, ha desarrollado conjuntamente con Bayer un concepto de reciclado para asientos de autobuses de poliamida reforzada con fibra de vidrio. Una vez reciclado este material de alto valor se utiliza en la fabricación de marcos de ventilador para el mismo vehículo (10).

Como los plásticos son productos derivados del petróleo, lo cual significa que poseen un gran potencial energético, existe otra opción de aprovechamiento. En otras palabras, los artículos de plástico usados se queman en instalaciones especiales. Así se produce una energía que de otra forma tendría que obtenerse consumiendo combustibles fósiles (3).

En el área de ingeniería electromecánica del Instituto Tecnológico de Zacatepec Morelos, se ha desarrollado el proyecto de fabricación de placas de plástico a partir de basura no degradable, el objetivo es la fabricación de placas de plástico de varios espesores y dimensiones. aprovechando los desechos que contaminan el medio ambiente(15).

En la tabla 2 se muestra la posible recuperación de plásticos a futuro en Norteamérica

**Tabla 2. Basuras municipales norteamericanas y recuperación de plástico**

Concepto	1975	1980	1985	1990	2000
Total de las basuras municipales, en millones de Tm.*	140	160	180	200	240
Plásticos en basuras, %	5.7 4.1	8.4 5.3	11.0 6.2	13.2 6.6	16.8 7.0
Número de instalaciones para recuperación de plásticos de las basuras municipales	5	12	32	60	200
Total de desechos recuperados, millones Tm*	2.1	6.6	24.0	48.6	162.0
Plásticos recuperados de basuras, millones de Tm*	0.085	0.35	1.47	3.2	11.3
Energía recuperada de los plásticos, 10 <sup>6</sup> Btu a 30x10 <sup>6</sup> Btu/Tm*	2.250	10.50 0	44.100	93.300	321.0

\*El volumen está dado en toneladas métricas (Tm)

Fuente: INARE

Entre los productos fabricados por Bayer a partir del reaprovechamiento de plásticos, están las carcasas de computadoras, teléfonos, aparatos electrodomésticos y piezas para automóvil. Un problema básico es el mercado de los materiales, ya que los plásticos difieren entre sí, en muchos casos es

imposible identificar la composición de los diferentes plásticos, incluso entre los especialistas. Como consecuencia, Bayer ofrece alrededor de 20 tipos de plástico con cientos de variantes. Los aparatos antiguos que ya han sido desechados y están listos para el reciclaje, no tienen ninguna marca para identificar el tipo de la lista de plásticos con que están fabricados. Además, hay que eliminar de la lista de plásticos reciclables los que contienen éter difenílico polibromado como agente ignífugo, ya que se sospecha que produce dioxinas (10).

Bayer y Siemens Nixdorf Informations systeme AG (SIN) son dos firmas que aprovechan las piezas de plástico usadas que tienen las computadoras. El reciclado del material se lleva a través de varios pasos. Personal especializado se encarga de desmontar los aparatos recogidos, separando las piezas metálicas y los elementos electrónicos. Sin embargo, la creatividad mexicana y la tecnología alemana han desarrollado sistemas de aprovechamiento que superan tales limitaciones y otorgan valor agregado a los desperdicios plásticos, como insumo y producto.

El arquitecto mexicano Fernando Pacheco concibió un mecanismo para reciclar polietileno, regularmente usado en bolsas de plástico, polietileno tereftalato, empleado en los envases de agua y bebidas gaseosas.(21). En Alemania se ha desarrollado y está disponible en México- una recicladora de plástico, que sin necesidad de hacer separaciones previas produce bloques aprovechables.(7)

En nuestro país, sólo es reaprovechado entre 15 y 20 por ciento del plástico arrojado a los residuos municipales. Entre las limitaciones para aumentar el porcentaje de aprovechamiento sobresale la inexistencia de una cultura de reciclaje desde el hogar de las familias, el elevado costo de las

tecnologías recicladoras y la ausencia de estímulos oficiales para auspiciar el reciclaje.

Estudios del Instituto Nacional de Ecología indican que la mayor parte de los plásticos son reciclables, sin embargo, acotan los polímeros reciclados enfrentan una serie de problemas para ser introducidos en el mercado. En su mayoría son incompatibles y hay que separarlos para su rehuso; para lo cual es necesario su almacenamiento en cantidades suficientes para que sean redituables, por lo general se paga por ellos un precio inferior al de la resina virgen.

El principal mercado para el plástico reciclado, se encuentra entre las propias empresas fabricantes de productos de este material y la industria textil. La comisión Promotora de Inversiones Ambientales pronostica que para el año 2010 la recuperación de materiales como papel, cartón, vidrio, metales y plásticos alcanzará los 12.5 millones de toneladas anuales, que significarían un mercado de 1800 millones de dólares(18).

### **3.6.1 Razones para reciclar**

Los factores más importantes para reciclar plásticos son:

- a) Ecología
- b) Economía
- c) Escasez

### *a) Ecología*

Actualmente las normas ecológicas se han reestructurado siendo más estrictas para el control de los desechos plásticos.

El reciclado de plásticos contribuye a la preservación ambiental, ya que ayuda a resolver el problema de los desperdicios plásticos, ahorrando hasta el 88% de la energía que se requiere para producirlos a partir de petroquímicos y conserva los recursos naturales al reutilizar los productos del petróleo.

### *b) Economía:*

La generación de desperdicios es inevitable en la industria de transformación de plásticos, por lo que para no crear una pérdida económica las empresas reciclan las mermas combinándolas con material virgen. Estas mezclas ayudan a reducir el costo del producto, que de acuerdo a los porcentajes que se utilicen de regranulado, se disminuyen los costos, siempre y cuando no se afecten las características del artículo fabricado. El precio del material reciclado es menor que el virgen, con lo que el costo del producto se reduce y puede competir en el mercado.

### *c) Escasez:*

La industria de transformación de plásticos ha crecido Considerablemente y además, ha atravesado por varias crisis de materiales. Estos dos factores propician la escasez y desabasto de materias primas que origina buscar otras fuentes de abasto como los plásticos reciclados.



### 3.6.2 Fuentes de desperdicios plásticos.

Los plásticos generan desperdicios desde la obtención de materias primas, transformación hasta su consumo final. Las fuentes generadoras de dichos desperdicios son (10):

1. Hogar
2. Comercio
3. Industrias usuarias
4. Transformadores
5. Fabricantes de materia prima.

#### *1) Hogar*

Los desperdicios plásticos generados por una familia son películas de empaque, botellas y envases de bebidas, detergentes líquidos, aceites shampoos y otros artículos desechables que generan el 60% del total.

#### *2) Comercio.*

Contribuye con el 10% de los desperdicios, en este rubro se integran: tiendas, supermercados, cines, restaurantes y centros comerciales en general. Los supermercados desechan películas termoencogibles, utilizadas en el embalaje de cajas, así como empaques de poliestireno expandible, utilizando en frutas, verduras, y protección de aparatos domésticos, así como ganchos de ropa. Por otra parte en los cines se desechan cantidades considerables de botellas de bebidas, vasos, cucharas, bolsas y envolturas de botanas y dulces.

### *3) Industria usuaria.*

Las industrias de alimentos, cosméticos y productos de limpieza, generan una cantidad importante de desechos plásticos derivados del empaque de sus materias primas, así como de los desperdicios generados en las líneas de envasado, contribuyendo con un 10% del total de desperdicios. Estos desperdicios se contaminan por los productos que contienen y debido a la utilidad específica a la que están destinados, su reciclaje se complica.

### *4) Industria de la transformación.*

En la industria transformadora no es posible evitar los desperdicios. Su cantidad depende de los procesos utilizados, la eficiencia del equipo y el tipo de plástico que se maneje. El proceso de inyección genera las coladas y eventualmente piezas defectuosas, así como las purgas por cambio de material. Algunas empresas que poseen equipos de inyección con sistemas de colada caliente, minimizan la generación de desperdicio (10).

La extrusión genera desperdicios menores que los del proceso de inyección, trata de purgas y desperdicios durante el arranque, cuando son piezas defectuosas son más fácil su recuperación, ya que se pueden partir y moler posteriormente. En el proceso de soplado también existe material de desperdicio de arranque y purga, presenta una problemática parecida al proceso de extrusión y las piezas defectuosas pueden ser tratadas de igual forma. En termoformado, únicamente existe recorte de material, que es fácil de procesar y manejar para su recuperación. Estos desperdicios, excepto las purgas, son posibles de reciclar moliéndolos en equipos convencionales y mezclándolos con material virgen, en niveles desde 10 hasta 70 % cuando la pieza moldeada no requiere de propiedades especiales(10).

Es común observar que los desechos se utilicen en la misma empresa para productos de menor calidad, ya que la industria transformadora aporta un 15% del total de desperdicios. Existen grupos que no aceptan material reciclado, por lo que éste se vende a empresas que lo procesan y comercializan como remolidos (24).

*5) Fabricantes de materia prima.*

Generan un 5% con el material de purga y limpieza para los reactores, estos plásticos presentan grandes dimensiones, son difíciles de moler y procesar, sin embargo, también deben ser considerados como una fuente de desperdicios, ya que con ciertas tecnologías como la molienda criogénica, es posible recuperarlos (10).

**Tabla 3.** Cantidad de materiales en basureros.

Metales	Papel	Vidrio	Tierra	Plásticos	Orgánico	Textil	Otros
9%	39%	7%	18%	8%	7%	10%	2%

% Representa cifras de basura de cada material que se encuentra en los basureros.

Fuente: INARE

**3.7 Tecnologías para reciclar plásticos**

Existen diversas tecnologías para reciclado de plásticos, que se definen de acuerdo al tipo de material que se procesa. Si se trata de materiales limpios y de la misma especie, el procedimiento se facilita, pero con materiales sucios y

mezclados el proceso es complicado, requiriendo de un previo acondicionamiento de los mismos.

De acuerdo al tipo de producto que se va a reprocesar es el tratamiento que se proporciona. Se clasifica de la siguiente manera

**Tabla 4.** Tratamientos para acondicionar los plásticos sujetos a recuperación o reciclaje.

<b>Tratamiento A</b>	<b>Tratamiento B</b>	<b>Tratamiento especial</b>
1.- Compactador	1.- Pre-lavado	1.- Separación de alambre
2.- Molienda	2.- Molienda	2.- Molienda
3.- Cribado	3.- Cribado	3.- Cribado
4.- Pelletizado - Frío - Caliente	4.- Pelletizado - Frío - Caliente	4.- Pelletizado - Frío - Caliente
5.- Ensacado	5.- Envasado	5.- Envasado

Fuente: IMPI.

**Tabla 5** Características de los plásticos y consumo de gas para molienda criogénica.

<b>Material</b>	<b>Consumo de nitrógeno</b>	<b>Kg/Kg CO<sub>2</sub></b>	<b>Temperatura de fragilización.</b>	<b>Tamaño de partícula (mesh)</b>
PEBD	2.5- 3.5	0.75- 1.05	- 56	80
PEAD	1.0	0	-65	40

Fuente: IMPI.

Existen dos tipos de molienda:

Molienda en frío

Molienda en caliente

Molienda en frío.- En este proceso no se desarrollan temperaturas demasiado bajas, sólo se alcanza las necesarias para fracturar el material. Se gasta menos nitrógeno líquido(LIN)) y se aumenta la calidad del producto al conseguir tamaños de partículas más uniformes con menor costo, siempre y cuando se trabaje sólo el material.

Molienda criogénica.- En este caso, se baja la temperatura cerca de los – 110°C, porque cualquier material que se introduzca es pulverizable, pero se gasta una mayor cantidad de LIN. Como se trata de una atmósfera inerte, se evita todo riesgo de explosión, el tamaño de partícula es homogéneo y mínimo, aún cuando se introduzcan materiales mezclados.

### **3.7.1 Comparación entre molienda convencional y molienda criogenica**

Molienda convencional

- 1.- Es más económico porque no utiliza LIN
- 2.- Se obtiene una mayor densidad del producto molido, por lo que es más fácil de manejar.
- 3.- Se obtienen tamaños de partícula homogéneas siempre y cuando el material alimentado sea del mismo origen.
- 4.-Se pueden pulverizar termofijos como resina fenólica y poliéster. debido a que el calor generado no les afecta.
- 5.-Se pueden moler termoplásticos con cierta disminución en sus propiedades.

6.-Las fibras de termoplásticos, si previamente han sido compactadas, también se pueden pulverizar (10).

#### Molienda criogénica

1.- El tamaño de partículas obtenida es homogéneo y mínimo, aún cuando se alimenten materiales diferentes.

2.- Se recomienda para molido de termoplásticos debido a que no existe calor que los pueda degradar.

3.- Para hules, es el único proceso que existe para su micropulverización.

Pueden ser compuestos rígidos o flexibles. Durante la reducción de tamaño, se necesita una cantidad de energía considerable que origina una enorme producción de calor. Mediante una molienda convencional se obtienen tamaños de partícula del orden de 600 micras, mientras que la molienda criogénica, se aplica para tamaños menores. De acuerdo al tipo de material, se requiere de diferentes cantidades de nitrógeno líquido, esto proporciona diferentes tamaños de partículas del polvo obtenido.

#### **3.7.2 Pelletización.**

Consiste en un proceso de extrusion con un dado especial a base de un plato perforado con orificios de aproximadamente 2mm de diámetro. el plástico sale fundido y homogeneizado, para posteriormente ser cortado. Cuando el corte se realiza por medio de cuchillas a la cabeza del dado, se denomina "pelletizado en caliente" y cuando se forma tiras que se enfrían en tinas de agua y después se cortan, se denomina "pelletizado en frío". La tecnología de pelletizado difiere en el tipo de diseño de husillos de la extrusion.

### **3.7.3 Líneas completas de recuperación.**

#### **3.7.3.1 Para plásticos de la misma especie.**

Cuando se tienen los desperdicios limpios, el proceso de regranulado para termoplásticos o molienda en general, es aplicable con una gran rentabilidad. Para que el sistema tenga buenos resultados, se requiere seguir las siguientes reglas para el manejo de desperdicios dentro de la industria que los genere:

Los desperdicios deben tener un lugar especial dentro del ciclo de producción. Además los desperdicios deben estar en manos de personal con experiencia. Muchas compañías delegan este trabajo a empleados sin experiencia, resultando mezclas y materiales contaminados que ya no pueden reciclarse(10).

Mantener limpios los desperdicios, libres de contaminación de materiales diferentes como metal, papel, vidrio, otros plásticos o sustancias extrañas. Los desperdicios mezclados y sucios pierden inmediatamente su valor(20).

Clasificar los desperdicios por tipo de plásticos y tamaño, debido a que cada uno presenta características particulares como punto de fusión, fluidez, densidad y estructura química, que cuando se mezclan presentan incompatibilidad y dificultad del reciclado.

Utilizar aspiradoras para la limpieza de la planta. No utilizar aire para soplar sobre el lugar de trabajo para evitar la contaminación con polvo. Cuando se llevan a cabo correctamente las reglas, se obtienen desperdicios adecuados para regranularse y reincorporarse al ciclo de producción que los generó, o bien, para la fabricación de otros productos que no requieran de alta calidad.

Los desperdicios obtenidos de la separación requieren estar libres de contaminación por aceites, detergentes y otros (10). Generalmente, éstos requieren de un proceso de lavado posterior a la molienda para lograr un regranulado con buenas características. El regranulado puede ser pelletizado y extruido o compactado para generar productos útiles como postes, perfiles o placas, que posteriormente se cortan para usos múltiples.

Existen algunos puntos que se recomiendan para realizar y evaluar que la elección de la máquina sea correcta, de acuerdo al país donde se llevará a cabo la negociación:

Número de máquinas instaladas en el mundo

Experiencia en reciclamiento a nivel mundial

Tipos de respaldo tecnológico

Apoyos financieros

Capacidad técnica, administrativa y comercial del representante nacional

Lista de clientes principales

Algunas empresas han unido esfuerzos para desarrollar la tecnología en la que se pueda emplear el reciclado post-consumo (RPC), este proyecto fue motivado por la presión legal y económica sobre los embotelladores de bebidas carbonatadas, para obligarlos a cerrar el círculo de reciclado(9).

Se ha creado una preforma coinyectada de tres capas, donde la capa intermedia es de RPC. El éxito es la garantía de la encapsulación total de RPC por PET virgen que protege el contenido de la botella contra cualquier contaminante residual que podría encontrarse en el RPC después de su lavado.



El estado de California ha inducido una ley que exige un mínimo de 25% de reciclado post consumo (RPC) y en Florida se ha impuesto una sanción económica por cada botella que no contenga RPC. La FDA autorizó las preformas co-inyectadas en abril de 1993, con la condición de que el contenido de la botella esté separado del RPC, por medio de material virgen. Esta aprobación incluye bebidas carbonatadas, aguas minerales y todos los demás productos alimenticios acuosos envasados a temperatura ambiente. Dado que el material representa alrededor del 70%.(10)

### 3.8 Polietileno.

El polietileno es el plástico que ocupa el primer lugar en volumen de consumo nacional y mundial. Su temperatura de fusión  $T_f$ , se encuentra entre 110 y 135 °C. Su baja temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) está asociada con una buena retención de propiedades mecánicas incluyendo flexibilidad y resistencia al impacto a bajas temperaturas (20).

Los Polietilenos se clasifican según su densidad de acuerdo al código ASTM como:

Polietileno de baja densidad: 0.910-0.940 g/cm<sup>3</sup>

Polietileno de alta densidad: 0.941-0.965 g/cm<sup>3</sup>

Fuente: IMPI

*Esta propiedad es un buen indicador del nivel de cristalinidad, el cual a su vez afecta en forma directa muchas propiedades, tales como tenacidad, permeabilidad a gases y resistencia a grasas ( Ver tabla 6).*

**Tabla 6.** Efectos de la densidad en el polietileno.

<b>Propiedad</b>	<b>Efecto</b>
Rigidez	Aumenta
Dureza	Aumenta
Resistencia a la tensión	Aumenta
Resistencia a la abrasión	Aumenta
Resistencia Química	Aumenta
Barrera a gases	Aumenta
Brillo	Disminuye
Punto de reblandecimiento	Aumenta
Impacto a bajas temperaturas	Aumenta
Resistencia al rasgado (película)	Disminuye
Elongación	Disminuye

Fuente. Ref. (10).

El peso molecular (PM) esta relacionado con el índice de fluidez e influye en el método con el que se podrá transformar el plástico (Ver tabla 7).

**Tabla 7.** Clasificación de los polietilenos según su PM.

<b>Clasificación</b>	<b>P.M. g/g mol</b>
PEBD	100,000- 300,000
PEAD	200,000- 400,000

Fuente. Ref. (10)

**Tabla 8.** Efectos del aumento del P.M. en el polietileno.

<b>Propiedad</b>	<b>Efecto</b>
Viscosidad de la masa fundida	Aumenta
Resistencia a la tensión	Aumenta
Resistencia al impacto	Aumenta
Dureza	Aumenta
Resistencia a la abrasión	Aumenta
Elongación	Disminuye
Resistencia química	Aumenta
Barrera contra gases	Aumenta
Punto de reblandecimiento	Aumenta
Transparencia	Disminuye
Brillo	Disminuye
Índice de fluidez	Disminuye

Fuente. Ref. (10)

Los grados de Polietileno también se clasifican de acuerdo a su índice de fluidez, propiedad que refleja su peso molecular. Esta propiedad es particularmente importante para su procesamiento, ya que los diversos métodos exigen diferentes índices de fluidez(12).

Los últimos desarrollos realizados en la tecnología de los polietilenos, se han modificado con aditivos foto y biodegradables. Para su transformación y uso es importante considerar que se puede utilizar numerosos aditivos para cambiar considerablemente algunas de las propiedades de los polietilenos. Por ejemplo,

las elevadas temperaturas y la radiación UV, provocan la oxidación de la molécula del polietileno que se refleja en una apariencia amarillenta en el producto, el cual puede reducirse con la adición de absorbentes de radiaciones UV y antioxidantes. La flamabilidad puede controlarse a través de retardantes a la flama y sus propiedades superficiales pueden modificarse con el uso de agentes deslizantes, de entrecruzamiento o por tratamientos corona

El PE es el plástico más utilizado en envases se clasifica en polietileno de baja densidad(PEBD) y el Polietileno de alta densidad (PEAD). Su número de código es cuatro(4) y dos (2) respectivamente.

El polietileno de alta densidad se caracteriza por su rigidez, bajo costo, fácil procesamiento, resistencia a la ruptura y rasgado, el PEAD tiene una gran variedad de usos como: botellas para detergentes y blanqueadores líquidos, aceites para motores, leche, jugos: como bolsas han sido ampliamente utilizados en supermercados y tiendas. Este grado de Polietileno representa alrededor del 50% del mercado de botellas de plástico.

En Estados Unidos se desechan cada año 370,000 toneladas de botellas para leche y jugos, sólo el 20% se recupera.(10).

### 3.8.1 Características del polietileno de baja densidad.

Tabla 9. Características del polietileno de baja densidad (PEBD).

Características
Mecánicas: Flexible
Ópticas: Traslucido
Densidad $g/cm^3$ : 0.910-0.940
Combustibilidad: Fácil de incendiar
Duración a la flama: Continúan ardiendo
Alteración de la muestra: Funde y gotea
Color a la flama: Azul con punta amarilla
Color de los humos: Blanco
pH de los vapores: Neutro
Olor de la muestra: Parafina
Gas desprendido: Gas con olor a parafina
Poder calorífico (KJ/Kg): 48
Temperatura de fusión °C: 110-135

Fuente. (Ref.1, 2, 3).

### **Descripción:**

Tiene una estructura ramificada y es amorfo, se comporta como un material altamente flexible y su apariencia natural son translúcidos. Flota en agua y en la solución de alcohol al 50%, con densidad en el rango de 0.910 a 0.940 g/cm<sup>3</sup>. Dentro de los polímeros, el polietileno presenta la fórmula química más simple, constituida únicamente por carbono e hidrógeno. Se obtiene de la polimerización del gas etileno, producto del fraccionamiento del petróleo, mediante un proceso de alta presión. El polietileno es el plástico de mayor consumo en el ámbito mundial y se transforma fácilmente por extrusión, inyección, soplado y rotomoldeo principalmente.

### **Propiedades:**

El PEBD posee buenas propiedades mecánicas, excelente resistencia química, bajo costo y una gran facilidad de procesamiento. Su resistencia mecánica es buena, aunque es susceptible de fracturarse bajo esfuerzos ambientales. Por su baja dureza superficial, es fácilmente rayable presentando una consistencia cerosa en los artículos moldeados.

Se puede aplicar en piezas que se sometan a uso continuo hasta 80°C, por que a mayores temperaturas se reblandece y funde. En el momento de incendiarse, lo hace en forma fácil y rápida goteando y generando un olor a parafina quemada. Su resistencia química lo hace útil para envasar solventes y productos químicos, ya que resiste solventes comunes hasta 60°C solo lo atacan los hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados.

Es un material flexible, de bajo peso, con buena resistencia a los productos químicos, no se rompe con los impactos, puede estar en contacto con alimentos y no permite el paso de agua a través de él. Cuando a este tipo de

polietileno se le introducen peróxidos orgánicos se entrecruzan las moléculas y con ello se mejoran las propiedades de aislamiento eléctrico y de resistencia a la intemperie. También se obtienen propiedades de aislamiento térmico y de amortiguamiento con la adición de agentes espumantes.

### **Aplicaciones**

Películas de empaque, laminaciones con otros materiales y para bolsas en general. Otras aplicaciones son en botellas para líquidos, tapas de botellas, juguetes, tubería conduit y de riego, recubrimiento de alambre y cable(11).El PEBD se utiliza en aplicaciones donde se requiere transparencia, flexibilidad, es de fácil procesamiento y presenta barrera a la humedad.Sumayor aplicación son como película para bolsas de diversa índole, por ejemplo, para transporte de productos del supermercado, bolsas para basura, bolsas para pan (10).

### 3.8.2 Características del polietileno de alta densidad

Tabla 10. Características del PEAD

<b>Características</b>
Mecánicas: Semirigido
Ópticas: Traslucido
Densidad g/cm <sup>3</sup> : 0.941-0.965
Combustibilidad: Fácil de incendiar
Duración a la flama: Continúan ardiendo
Alteración de la muestra: Funde y gotea
Color a la flama: Azul con punta amarilla
Color de los humos: Blanco
pH de los vapores: Neutro
Olor de la muestra: Parafina
Gas desprendido: Gas con olor a parafina
Poder calorífico (KJ/Kg): 48
Temperatura de fusión °C: 110-135

Fuente. (Ref.1, 2, 3).



**Descripción:**

Tiene una estructura ramificada y es cristalino, presenta una menor flexibilidad que el de baja densidad debido a su mayor peso molecular, por lo que se clasifica como un plástico semi-rígido. Su rango de densidad es de 0.941 a  $0.965 \text{ g/cm}^3$  .

Este tipo de polietileno es obtenido a partir del gas de etileno pero a diferencia del de baja densidad es polimerizado a baja presión con catalizadores de Ziegler-Natta. La presentación comercial es en forma de gránulos blancos translúcidos y también en forma de polvo para cuando se emplea para moldeo rotacional. Es un plástico muy fácil de procesar y no requiere secado previo ni tampoco tratamiento especial al equipo.

**Propiedades:**

Se funde a niveles de 160-200°C de acuerdo al peso molecular que presente y para lo cual se requiere de mayor fuerza en la inyección y en el proceso de soplado. Debido a su resistencia a la temperatura se puede termoformar, ya que se reblandece sin llegar totalmente a fundirse para obtener piezas poco profundas. Su temperatura de reblandecimiento es de 121 a 133 °C.

Posee muy buenas propiedades aislantes y mejora su resistencia química al poseer una estructura más cerrado. Su resistencia mecánica es mejor que la de PEBD y su dureza es mayor, aunque también es fácilmente rayable.

Puede soportar temperaturas en uso continuo hasta de 115°C, comportando en igual forma que un polietileno de baja densidad cuando se incendia.(11). Por presentar una mayor densidad que el polietileno de baja densidad, este tipo presenta una mayor rigidez, dureza, mejor resistencia a todos

los productos químicos, mejor resistencia a la temperatura, barrera al vapor de agua y también puede estar en contacto con alimentos. El aumento de la densidad hace que disminuya su resistencia al impacto, sobre todo a bajas temperaturas, y en el caso de películas disminuyen la elongación y la transparencia. Las propiedades pueden variar al disminuir o aumentar el índice de fluidez

### **Aplicaciones**

Cubetas, tinas, platos y vasos; en envases como botellas para jugos. productos químicos, shampoos, productos farmacéuticos y depósitos de agua. También se fabrican cajas para refrescos, contenedores industriales. tarimas, juguetes, tapas y tubería.(11).

#### **3.8.3 Propiedades del polietileno reciclado.**

Las propiedades que más se modifican son la resistencia a la tensión y elongación, relacionadas con el contenido de humedad y el tipo de contaminante que presenten. El polietileno es el plástico de mayor consumo, por lo que se han desarrollado tablas para conocer la pérdida de propiedades al reciclarlo como lo muestra la tabla 11 (11).

**Tabla 11.** Comparación de propiedades de PEAD virgen contra reciclado.

Propiedad	PEAD virgen	PEAD Reprocesado Una vez
Indice de fluidez g/10 ml	0.77	0.79
Densidad g/cm <sup>3</sup>	0.963	0.961
Modulo de flexión Kg/cm <sup>2</sup>	15,396	15,396
Resistencia al impacto Izod Kg cm/cm	13	9
Resistencia a la tensión a la Ruptura Kg/cm <sup>2</sup>	155	175
Elongación %	555	613

Es necesario aclarar que de acuerdo al tipo de cambio que se genere la cadena es la variación de propiedades. Como se observa, el indice de fluidez incrementa porque en las cadenas moleculares redujeron su tamaño. De acuerdo a los datos de la tabla se observa que si el material se procesa a las condiciones de operación adecuadas se puede utilizar hasta 25% de regranolado combinado con material virgen sin exponer la funcionalidad y calidad del producto. Cuando el plástico es regranolado más de una vez, es necesario mezclarlo con aditivos especiales para conservar sus propiedades.

En la figura 7 se observa la variación del índice de fluidez de un polietileno de alta Densidad estabilizado de acuerdo al número de ciclos de extrusion

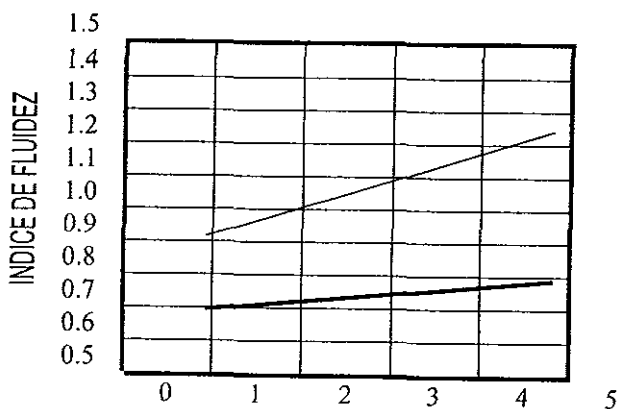


Figura 7. Ciclos de extrusión.

PEAD SIN ESTABILIZAR  
P-1

PEAD + 0.1% AO .1 + 0.1%

PEAD + 0.2% AO -2



PEAD + 0.4% AO -2

Fuente:(10).

En la figura 8 se muestra el comportamiento de un PEAD reciclado de un PEAD reciclado estabilizado con estos productos.

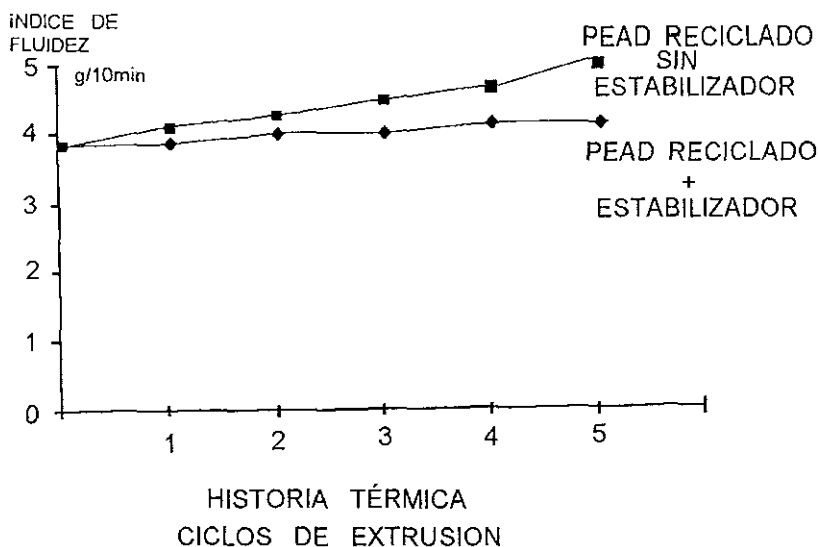


Figura 8. Índice de fluidez

Fuente: (10).

La reducción del índice de fluidez origina que se presenten problemas durante el proceso de transformación, creando ineficiencias en producción y mala calidad del producto.

Se han desarrollado estabilizadores para Polietileno recuperado, para mantener el índice de fluidez constante durante los primeros 5 historiales térmicos. La cantidad a adicionar es menor a 0.1% de cada componente. La figura 8 muestra el comportamiento de un PEAD reciclado estabilizado con estos productos (10).

## 4. PARTE EXPERIMENTAL

### 4.1 Instrumentación

#### Concentrador solar.

El concentrador solar, es un paraboloide de revolución de 1.5 m de diámetro hecho de fibra de vidrio y con dos grados de libertad en su movimiento, el material reflector es un folio de aluminio que tiene en su parte posterior un adhesivo de contacto (3M FEK-244). Este concentrador tiene seguimiento en dos ejes, lo que permite coleccionar la máxima cantidad de energía posible en el absorbedor. Se encuentra ubicado en los terrenos aledaños a la planta de energía solar del Instituto de Ingeniería UNAM. Cd. Universitaria al poniente de la Av Insurgentes vecino al Jardín Botánico Exterior, México D.F.

También hay que señalar que el seguimiento manual de los rayos solares impone la utilización de estructuras de soporte muy pesadas y caras. Se realizó en forma manual durante los experimentos por falta del equipo electromecánico (foto 1).

La temperatura máxima que se alcanzó en el concentrador solar fue de 950°C en escasos segundos.

El mantenimiento del concentrador se recomienda cada dos años.

El costo aproximado para la construcción de un concentrador solar es de \$10,000.

Equipo para trabajar en la planta solar:

1. Lentes de soldador.

## 2. Guantes de carnaza

### **Materia prima**

El material utilizado para la presente investigación, consistió de bolsas de polietileno de baja densidad fueron desechadas en un hospital eran envolturas de gasas y algodón, y envases de polietileno de alta densidad utilizados por la marca Danone. Las otras fueron una botella de coca cola y de recipientes de alimentos comerciales cortados con tijeras para su procesamiento.

### **Ensayos en laboratorio**

Laboratorio. Primera parte:

En el laboratorio 4 de Química General (Facultad de Química de la UNAM) y en la planta solar se calentaron en sistema abierto y en sistema cerrado al vacío se realizó la selección de los materiales mediante pruebas químicas y físicas, con PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, y PS de diferentes fuentes comerciales. Se analizaron por métodos espectroscópicos de I. R buscando primero los mejores disolventes para cada uno de estos materiales. Al final se selecciono dos de estos porque se tenía a la mano y por algunas de sus características como son (temperatura de fusión y desprendimiento moderado de gases) y fueron el polietileno de alta densidad y polietileno de baja densidad. Los tubos de ensayo cerrados al vacío se sellaron de la siguiente manera con una manguera conectada a la línea de vacío y se cierra con un soplete en el taller de vidrio del Instituto de Química.

Laboratorio. Segunda parte:

La fusión del polietileno se determinó usando un vaso de precipitado y para el calentamiento directo una canastilla eléctrica. También se fusionó el

plástico contenido en un recipiente de vidrio, el calor se transmitió por conducción con aceite de linaza (como baño maría), como fuente de energía se utilizó una resistencia eléctrica.

### **Ensayos en la planta solar**

Primer ensayo.- El material plástico se adherió a un rodillo de cobre, se intentó fundir por calentamiento en continuo y en grandes cantidades usando un concentrador solar de tipo puntual, sin embargo, por este método no fue posible obtener resultados.

Segundo ensayo,- Se realizó de la siguiente manera el material plástico se colocó en un reactor (recipiente de aluminio) y con agitación manual con una espátula. Por este procedimiento se logró fundir el material y se vació a recipientes de moldeo y se obtuvieron diferentes figuras. Ver foto.

#### *Moldes:*

a) Moldes de yeso de dimensiones: 6.5cm de largo, 6.5cm de ancho y 12 mm de espesor.

b) Molde de Acero.- Se fabricó con una placa de acero sobre la misma superficie de 20cm x 20 cm y 2cm de espesor y con la ayuda de un esmeril se redujo a una superficie de 10cm de largo x 10 cm de ancho y 12 cm de espesor.

Rodillo aplanador.- Se construyó un rodillo de acero inoxidable con suficiente peso con dos baleros para girar y con una base de madera para aislar del calor.

Descripción del experimento para ambos plásticos.

*De las dimensiones 10x10x1.2 cm.*

- 1) Se pesa 71g de material plástico
- 2) Se corta en trozos de 1cm x 1cm.



- 3) El material se introdujo en el reactor previamente enfocado para llevarlo a su punto de fluencia, para su uniformidad fue necesaria la agitación constante, lo cual evita la combustión del plástico(foto 1).
- 4) Posteriormente, el plástico fundido se vació inmediatamente en un recipiente metálico.
- 5) Luego se paso el rodillo para aplanarlo(foto2).
- 6) se eliminó el plástico restante de las orillas del molde, con la ayuda de un cortador para darle una mejor apariencia.
- 7) Y por último es desmontado del molde.

## 5. RESULTADOS

Para alcanzar los objetivos planteados el trabajo experimental se realizo en cuatro etapas para conocer las características físicas y el comportamiento del material en estudio.

### Laboratorio. Primera Parte:

Primeramente se hicieron pruebas de fusión utilizando un mechero Bunsen y en tubos de ensayo en sistema abierto y en sistema cerrado al vacío. No se observaron cambios en los dos sistemas solo en el sistema cerrado disminuye el tiempo de fusión, los resultados se encuentran en la tabla 12 sistema abierto y en la tabla 13 sistema cerrado.

Tabla 12. Fusión de plásticos con mechero Bunsen en sistema abierto (laboratorio).

	Tiempo de Fusión (seg.)	Color	Observaciones	Olor	Peso de la muestra (g)
PEAD	20	Hueso	Desprende vapores blancos abundantes	Parafina	1
PEBD	18	Blanco	Desprende vapores blancos en menor proporción.	Parafina	1
PET	36	Azúcar quemada	Desprende vapores blancos constantes y en el exterior la flama es anaranjada.	Parafina	1
PP	26	Transparente	Desprende vapores blancos	Parafina	1
PS	20	Blanco con café	Se condensa	Parafina	1

**Tabla 13.** Fusión de plásticos con mechero Bunsen en sistema cerrado (laboratorio)

	Tiempo de Fusión (seg.)	Observaciones	Peso de la muestra (g)
PEAD	19	Vapores blancos escasos, con una pequeña condensación de agua.	1
PEBD	17	Vapores blancos en menor proporción que en el sistema abierto y existe una condensación de agua.	1
PET	31	Desprende vapores blancos constantes	1
PP	20	Desprende vapores blancos	1
PS	14	Se condensa	1

***Laboratorio. Segunda parte:***

Después se puso mayor cantidad de plástico (47g) se calentaron en un vaso de precipitado utilizando una canastilla eléctrica hasta fundición y luego se moldeo. En este experimento se obtuvieron placas de largo 6.5 cm. ancho 6.5 cm, espesor 1.2 cm. Sin embargo el material que se recupera y que quedo pegado a las paredes del vaso, ya que si no se homogeneiza bien el material se carboniza hacen que se pierda demasiado en este proceso; los resultados obtenidos se observan en la tabla 5. Además se hicieron las siguientes consideraciones: la canastilla utilizada consume 500 wats. y el tiempo que tardo en fundirse fue de una hora.

Las dos primeras filas pertenecen al experimento con canastilla eléctrica y medio de calentamiento directo. Además la primera fila es el valor de los gramos de que se parte para obtener la placa y el segundo valor son los gramos que se recuperan.

Las dos segundas filas pertenecen al experimento calentado con aceite de linaza y una resistencia eléctrica. Además la primera fila es el valor de los gramos de que se parte para obtener la placa y el segundo valor son los gramos que se recuperan

**Tabla 14.** Cantidad de plástico (g) perdido en el calentamiento cuando se usa canastilla eléctrica y calentamiento directo

Nº de placa	Peso de la bolsa de PEAD para elaborar la placa Gramos	Peso de la placa PEAD Gramos	Peso de la bolsa de PEBD para elaborar la placa Gramos	Peso de la placa PEBD Gramos
1	46	40	46	39
2	48	41.5	47	40
3	50	43	48	42
4	56	48	51	43

El plástico de desecho se puso en un vaso de precipitado, este se puso inmerso en aceite de linaza y se calentó con una resistencia eléctrica. El calentamiento fue más homogéneo, el plástico no se pego tanto. Los resultados obtenidos se observan en la tabla 5. La resistencia eléctrica consume 500 watt. El tiempo que tardó en fundirse fue de una hora.

**Tabla 15.** Cantidad de Plástico (g) perdido en el calentamiento utilizando una resistencia eléctrica y aceite de linaza (baño maria).

Nº de placa	Peso de la bolsa de PEAD para elaborar la placa Gramos	Peso de la placa PEAD Gramos	Peso de la bolsa de PEBD para elaborar la placa Gramos	Peso de la placa PEBD Gramos
1	46	41.5	46	41.6
2	48	43.3	47	42.4
3	50	45.1	48	43.3
4	56	50.5	51	45.9

***Planta solar. Primera parte.***

Después se hicieron pruebas de fusión utilizando el concentrador solar en tubos de ensayo en sistema abierto y en sistema cerrado, los resultados son similares a los obtenidos con el mechero solo que en menor tiempo. Cuando el tubo de ensayo se dejó demasiado tiempo expuesto al foco del concentrador se produjo un orificio a pesar de ser de marca Pyrex, los resultados se observan en la tabla 14 para un sistema abierto y en la tabla 15 para el sistema cerrado. Se describen solo los resultados de los plásticos que se trabajaron.

**Tabla 16.** Pruebas de fusión de los polietilenos en sistema abierto utilizando un concentrador solar(planta solar).

	Tiempo de Fusión (seg.)	Color	Observaciones	Olor	Peso de la muestra (g)
PEAD	10	Hueso	Desprende vapores blancos abundantes	Parafina	1
PEBD	8	Blanco	Desprende vapores blancos en menor proporción.	Parafina	1

**Tabla 17.** Pruebas de fusión de los polietilenos en sistema cerrado utilizando un concentrador solar(planta solar).

	Tiempo de Fusión (seg.)	Observaciones	Peso de la muestra (g)
PEAD	8	Vapores blancos escasos, con una pequeña condensación de agua.	1
PEBD	6	Vapores blancos en menor proporción que en el sistema abierto y existe una condensación de agua.	1

Se obtuvieron los espectros de IR de todos los materiales obtenidos de los experimentos anteriores. fueron disueltos en p-Xileno.

**Planta solar. Segunda parte:**

Para realizar los experimentos al aire libre previamente hechos en el laboratorio se implemento primero un rodillo formado por un tubo de cobre de 20 cm de largo y 2 pulgadas de diámetro en su parte central está atravesado por una varilla de construcción el tubo se relleno con arena de mar para mantener la temperatura alta durante mas tiempo y los extremos se sellaron y fijaron con mezcla de cemento y arena. Se acondiciono una manivela

Segundo en el concentrador solar y con un recipiente de aluminio se fundió el plástico para obtener una placa de 6.5x6.5x1.2 cm. Los resultados se encuentran en la tabla 6.

**Tabla 18.** Gramos de plástico recuperados al fundir en el concentrador solar con un recipiente de aluminio.

Nº- de placa	Peso de PEAD para elaborar placa	Peso de la placa PEAD	Peso de PEBD para elaborar la placa	Peso de la placa PEBD
1	50	49.8	46	45.6
2	51	50.8	47	46.8
3	52	51.6	48	47.9
4	53	52.8	49	48.8

## DISCUSIÓN

### Laboratorio. Primera parte:

Las pruebas de fusión realizadas en el laboratorio nos permitieron seleccionar a PEAD y PEBD para continuar con el proyecto, por las siguientes razones son abundantes y sus propiedades físicas como punto de fusión, homogeneidad al fundirse, y no desprende vapores tóxicos. Además porque al hacer la fusión tanto en tubo cerrado al vacío como abierto no se produjeron cambios en la características químicas y físicas lo que se determinó por los espectros de infrarrojo los cuales fueron idénticos. También se realizaron pruebas de manejo de material como el polietileno-tereftalato polipropileno y poliestireno pero cada uno de ellos presenta problemas de manipulación por lo que se trabajó con los dos polietilenos.

Para realizar los estudios de infrarrojo fue necesario la disolución de la materia prima para lo cual se realizaron pruebas de solubilidad se utilizaron los diferentes disolventes orgánicos comunes en los laboratorios (Acetato de etilo, metanol, cloroformo y hexano), se encontró que los dos polietilenos se disuelven totalmente en p-Xileno (8).

### Laboratorio. Segunda parte:

Ante la necesidad de usar mayores cantidades de plástico se realizó la siguiente etapa se buscó encontrar en el laboratorio las condiciones para fundir más de 40 g de plástico (que en volumen equivalen a tres bolsas de envoltura del algodón). Para ello el material se cortó en pequeños trozos se usaron vasos de precipitado, se calentaron directamente con canastas eléctricas o con resistencia eléctrica se calentó aceite de linaza utilizado como baño maría. esto es porque el aceite



concentrador solar mostraron un comportamiento similar de los dos polietilenos. Lo que nos permitió continuar con este estudio.

### **Planta solar. Segunda parte:**

Cuando se llevan a cabo los experimentos con el concentrador solar, se tuvo que implementar dos formas para el manejo del plástico, la primera consistió en enrollar el plástico de desecho en un tubo de cobre relleno de arena de mar con una varilla al centro y una manivela para poder girarlo y se adaptó al centro del concentrador solar, sin embargo no hubo resultados positivos porque el calentamiento se logró solo en un punto y mientras se calentaba uno el otro se enfriaba, se propone emplear este método con los llamados concentradores solares lineales.

El segundo sistema que se empleó fue usar un recipiente metálico colocado en el centro del concentrador y calentar en el punto focal. Se alcanzaron temperaturas de más de 800° C en 5 segundos, el recipiente tipo jarra de aluminio fue el que mejor resultado dio cuenta con las siguientes características: de boca ancha, de grosor medio, de altura menor de 15 cm. De esta forma el fundido fue total.

La temperatura de fusión del plástico de desecho se alcanzó en 5 minutos agitando manual y homogéneamente con la ayuda de una espátula, una vez fundido el material se vertió en los moldes metálicos y se logró obtener placas con diferentes formas y colores (corazón, hoja, jabonera, cuadrados. Ver fotografía). En este caso el rendimiento fue del 99.6% y el tiempo que se requiere desde el fundido hasta el desmoldaje es de 12 minutos.

Por los resultados obtenidos proponemos este procedimiento para el reciclado de los plásticos porque se tienen las ventajas de que por el corto tiempo de operación se logra un apreciable abatimiento en el costo de obtención de estas placas que pueden ser usadas para diferentes propósitos, por ejemplo en la

industria del mueble para fabricar postes, estacas, señalamientos, tarimas; en la agricultura para hacer varas tomateras, otra aplicación que se puede lograr es en la industria de la construcción como material de cimbra ( 21 ) pero antes habría que hacerles pruebas de resistencia al flexión conforme a las normas establecidas A.S.T.M. Se requiere de continuar con este estudio para obtener materiales que sustituyan a la madera (23).

## 6. CONCLUSIONES

La respuesta térmica del absorbedor es más rápida al tener una superficie más pequeña.

Se propone el reciclado de plásticos de desperdicio utilizando la energía solar, con el empleo de concentradores de canal parabólico que se puedan fabricar en el país.

Se adaptó un concentrador solar experimental de la planta solar del Instituto de Ingeniería de la UNAM con seguimiento manual y se logro fundir a los plásticos al aire libre.

El costo de obtener una placa de plástico empleando energía eléctrica es más cara que emplear energía solar.

Los materiales plásticos utilizados son de desecho, se requiere que estén lo más limpios posible, libres de etiquetas y contaminantes (adhesivos y colorantes), deben ser de un solo tipo no se aceptan mezclas para obtener productos de buena calidad.

Es más fácil moldear el PEBD que el PEAD porque este último es más rígido y además mantiene el calor más tiempo, lo que puede causar quemaduras si no se tiene cuidado a la hora de manipularse.

La ventaja de este método es que los colores se conservan no así en el caso de las empresas recicladoras que utilizan su material pelletizado lo que influye en el color del material que obtienen el cual es de colores oscuros.

El uso de la energía solar proporciona las siguientes ventajas: bajo costo, no contaminación, no quema de hidrocarburos, inagotable. En el país existen regiones de alta irradiación por lo que este sistema podría dar empleo a mucha gente y se daría otro uso a los materiales plásticos de desperdicio contaminantes.

Algunas de las desventajas que se presentaron en la planta solar fueron:

- 1.- No hay sol.
- 2.- Lo incomodo que resulta trabajar con el concentrador solar por la altura a la que se encuentra, se necesito de un bote para poder alcanzar.
- 3.- Los reflejos en la piel queman, y en las ocasiones que no se sienten después de cada experimento se notaba en el color de la piel, las áreas que no estaban cubiertas por la ropa se quemaban.

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

## 7 REFERENCIAS

- 1) Muñoz Sánchez A. 1980. Residuos sólidos plásticos. Tratamiento y reciclado. Cuadernos del Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales (CIFCA), 1ª impresión, pág. -3, 30-34, y 46.
- 2) Barrios Martínez F.J. 1995. Reciclaje de materiales plásticos. 1995, Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, pág. 1-10 y 30-35.
- 3) Anh. Schut. 1992. *Plastics Technology*. N(9,11), pág. 50-63.
- 4) Theres García. 1997. Reciclaje de desechos. Necesidad y nicho. *Manufactura*. Vol-3, Número-24, pág. 54-64.
- 5) Alvarez Bilbatúa.E, 1992. Uso correcto del sistema SPI para codificación de envases plásticos. *Empaque Performance*, pág. 5-33.
- 6) R. Almanza R. Y Muñoz. F. 1996. Ingeniería de la energía solar. El colegio Nacional de México, pág.1-50.
- 7) Hernández González C. 1997. Simposium sobre Reducción y Reciclaje de Residuos Sólidos Municipales. Programa Universitario del Medio Ambiente. UNAM. México, pág. 10-20, 37-42, 65-80.
- 8) NOM ASTM D 5226 Annual Book of Standards, 08.01 Commite D-20 on Plastics . Published May 1992.
- 9) CEFRAPIT. 1997. Reciclado de los polímeros. Técnicas para amortizar. *Empaque Performance*. Vol. 65 pág. 26-30.

10) Instituto Mexicano del Plástico Industrial. 1996. Anuario Estadístico del plástico. México, pág.1-27.

11) [http://www. Plastics resource.com](http://www.Plastics resource.com) .Reciclado de plásticos.

12). Dietrich Braun H. 1990. Métodos sencillos de identificación de plásticos, Hanser, Segunda impresión México , pág. 1-19, 37, 38, 43, 49, 54.

13) <http://www.rt66.com/rbahm/seintro.htm>. Solar energy-An introducción.

14) Boletín de datos. 1997. Radiación Solar y meteorología Instituto de Geofísica. UNAM .

15) A.G. Ceron, E Juárez, y J. R. Herrera. 1996 . Diseño y construcción de un horno solar . Informes del Instituto Tecnológico de Zacatepec Morelos. Departamento de metalmecánica, pág.83-85.

16) R. H. Montgomeri. 1993. Notas del curso de actualización en energía solar. Laboratorio de energía solar. Temixco Mor. Editorial Limusa, pág. 10-20.

17) Duffie, John A. Beckman W. A, 1991,. Solar Engineering of Thermal Processes 2<sup>nd</sup> edition John Wile & Sons.

18) Teorema, 1998, Revista especializada en tecnología ambiental. Número 14, pag. 52-56.

19) R. Blanco (Presidente del IMPI), 1997, Comunicación personal. Symposium sobre Reducción y Reciclaje de Residuos Sólidos Municipales. Programa Universitario del Medio Ambiente. UNAM. México, mayo 12,13 y 14.

20) <http://www.onvirolink.org/orgs/greenation/gec/recicling.html>. Plásticos.

21) Fernando Pacheco Adame. Reciclador de PET. Comunicación personal.

22) Ramírez Serdeño Enrique.1998. (Ing. Electricista). Departamento de presupuesto de la CIA de luz. Comunicación personal(Asesoría Melchor Ocampo y Marina Nacional 1<sup>er</sup> piso).

23) Ing. Alfredo Maciel.(departamento de pruebas mecánicas, Instituto de materiales UNAM). Comunicación personal (Asesoría).

24) Industrias que expenden desperdicios plásticos 1997. Km. 1.5 carretera México-Xalatlaco. C.P. 52680 Estado de México.

25) Juan José Ambriz G. Hernando Romero Paredes. Y Alejandro Torres A. 1996. La energía solar y los reactores químicos. Área de Ingeniería de Recursos Energéticos UAM Iztapalapa. pág. 1-12

26) Solar Energy Technology Handbook. 1980. Part. A. and part .B. Engineering Fundamentals. Ed. by W. C. Dickinson and P.N Cheremisinoff. Marcel Dekker, Inc. Butterworths, pág. 1-12

27) Solar Power and Fuels. 1977. Ed. J. R. Bolton. Academic Press, pág. 10-20.

28) Farrigton Daniels. 1980. Direct use of Sun`s Energy. Yale University, pág. 1-10.

# ANEXO



Foto 1 Fusión del plástico en el concentrador solar, listo para el vaciado



Foto 2 Aplanado del plástico mediante un rodillo

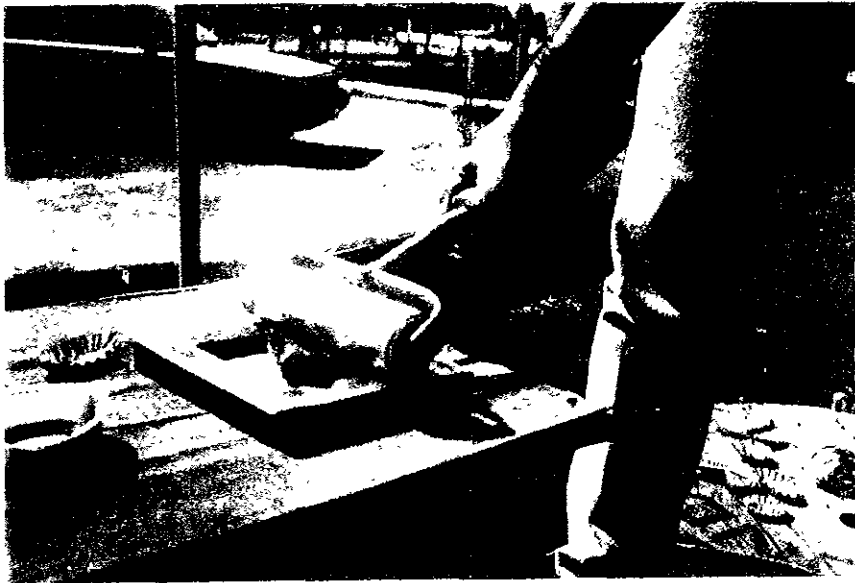


Foto 3. Diferentes objetos obtenidos en el concentrador solar.

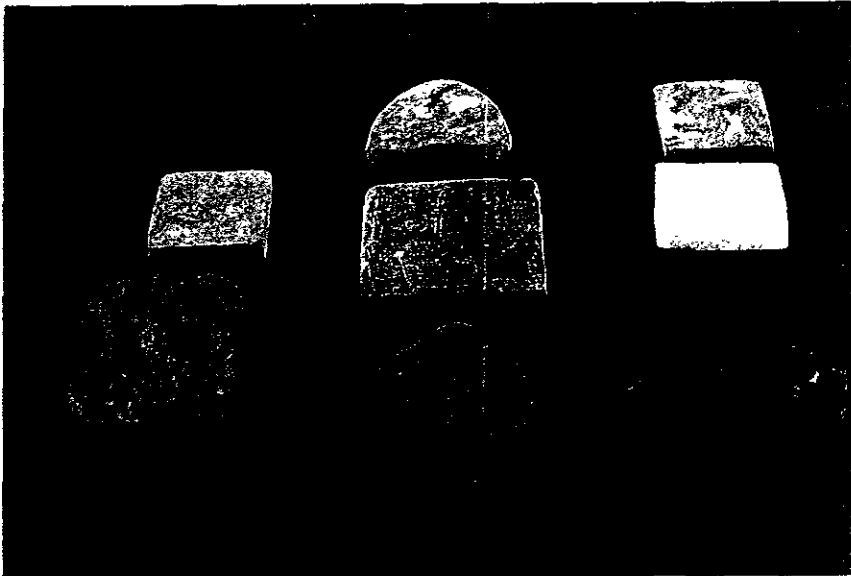


Foto 4 Muestras obtenidas de la fusión en el laboratorio con un mechero Bunsen.

