

## CAPITULO 3

### EL CASO DE ESTUDIO

En este proyecto, se propondrá el diseño de una planta de reciclaje primario para los envases plásticos de los plaguicidas, tratando el agua utilizada en el lavado por medio de fotocátalisis solar.

Es por esto que en la primera parte del capítulo se hará una breve reseña del trabajo de tesis “*Pilot Plant Design for use in Solar Photocatalytic Degradation Applications*” realizada por la Ing. Fernanda Rivas Chávez, en la Universidad de las Américas Puebla, en conjunto con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la cual habla de la eficiencia y costos en utilizar el proceso de Fotocátalisis Solar para degradar plaguicidas.

Seguido de esto, se hará una breve descripción, de una planta de reciclaje que actualmente ya está en operación, la cual se encuentra en El Ejido, España, y utiliza el proceso y funcionamiento que se proponen en este proyecto. Con esto se tienen como antecedentes estos dos proyectos los cuales sustentan la propuesta de esta tesis.

Con estos antecedentes, se mencionarán brevemente los pasos que se deben seguir en la planta de reciclaje primario de los plásticos.

Finalmente se explicará el origen de los datos económicos para poder realizar la evaluación económica en el siguiente capítulo.

### **3.1 Planta Piloto Diseñada para el Uso en Aplicaciones de Degradación por Medio de Fotocatálisis Solar**

#### **3.1.1 Breve Descripción**

Cuando el envase de un plaguicida es enjuagado, el agua que sale de ese enjuague todavía contiene una importante cantidad de químicos activos, los cuales pueden ser dañinos para el medio ambiente donde es liberado. Para garantizar la neutralidad hacia la población viva en los ecosistemas, debe haber una degradación de los plaguicidas presentes en el enjuague de los envases de agroquímicos. En ambientes urbanos, con el mantenimiento de jardines, parques, campos de golf y otras áreas verdes, el lavado de los envases generalmente es vaciado el sistema de aguas residuales, añadiendo a este todos los componentes que deben ser tratados. En las ciudades con facilidades de tratamiento de aguas residuales, estos componentes son tóxicos para las etapas de degradación microbiológicas, disminuyendo la eficiencia de las plantas. En ciudades o pueblos sin plantas de tratamiento de aguas residuales, la descarga de las aguas negras normalmente van a sistemas de agua superficial, como ríos, lagos, océanos, etc. (Rivas, 2005).

Como las técnicas tradicionales de degradación son inefectivas con ciertos plaguicidas, métodos alternativos incluyen a los denominados procesos avanzados de oxidación (PAOs).

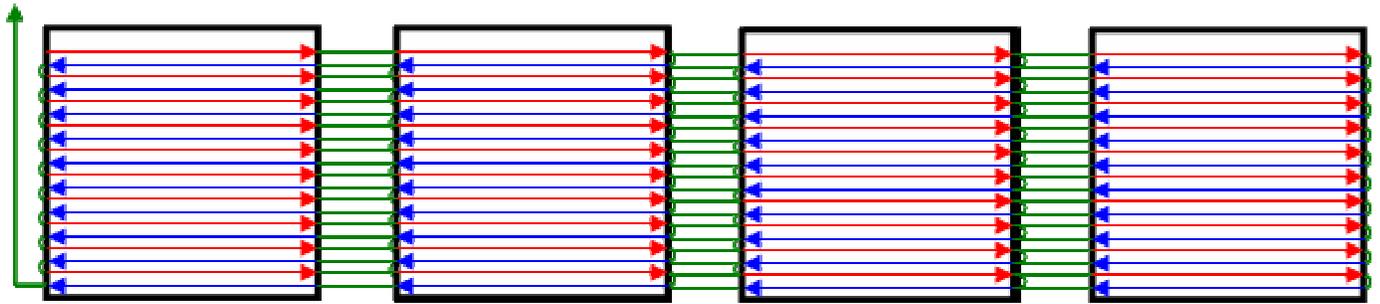
Estos incluyen a una serie de métodos que promueven a los radicales de  $\cdot\text{OH}$  para oxidar completamente a compuestos a simples ácidos inorgánicos,  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$ . Entre los PAOs, la fotocatalisis solar se presenta como una técnica sustentable y eficiente en energía. (Rivas, 2005).

La fotocatalisis solar usa una combinación de radiación solar mas un catalizador (por ejemplo reactivo de Fenton,  $\text{TiO}_2$ ) para promover la liberación de radicales de  $\cdot\text{OH}$ , atacando sin seleccionar los compuestos orgánicos o inorgánicos estables y oxidándolos a compuestos fácilmente degradables. La fotocatalisis solar prepara agua para un tratamiento convencional, o por lo menos, disminuir su toxicidad en ambientes rurales donde son disueltos directamente a los sistemas de aguas superficiales (Rivas, 2005).

### **3.1.2 Resultados**

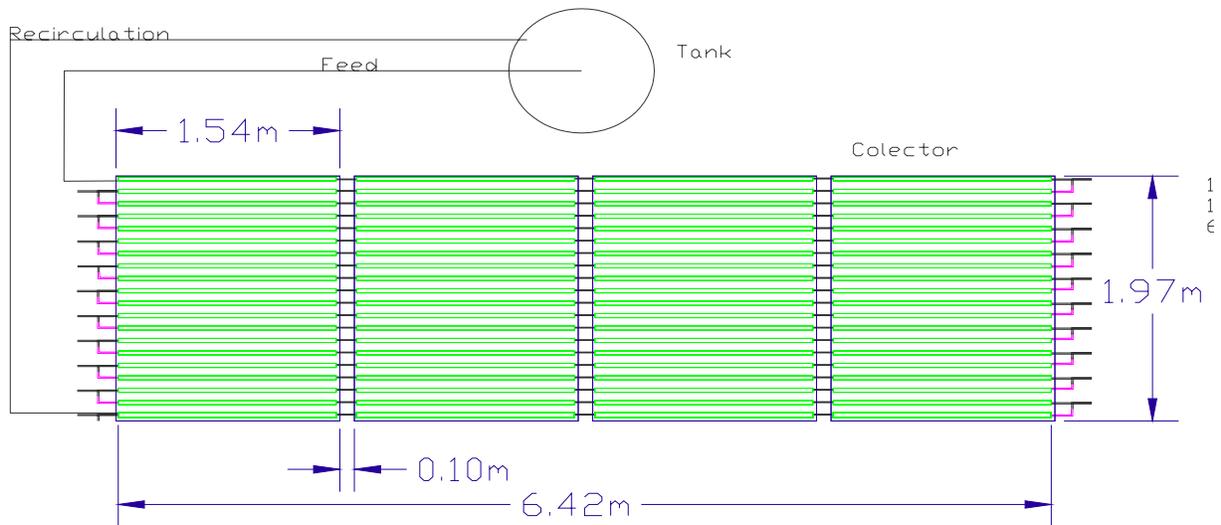
- **Área disponible y configuración seleccionada del sistema**

El área para la planta piloto es un rectángulo el cual mide 7.03 metros de largo y 3.5 metros de ancho. La Figura 3.1 muestra la configuración seleccionada. Fue seleccionada por su versatilidad para usar cualquier número de líneas requeridas, necesita poca energía y una minimización de las líneas de recirculación.



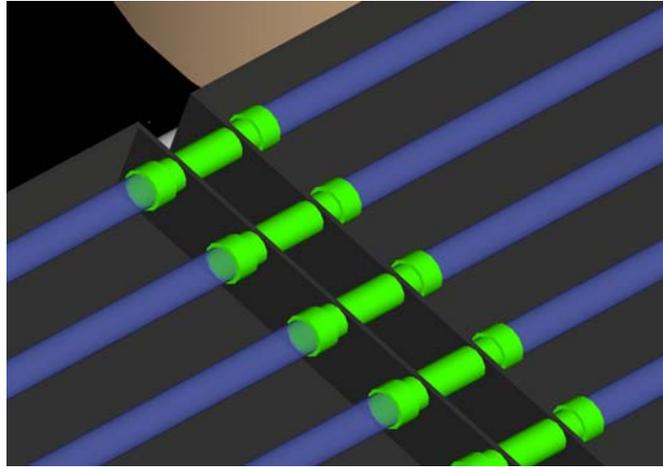
**FIGURA 3.1** Flujo a través de 4 colectores compuestos parabólicos (CPCs) en serie  
(Rivas, 2005)

Veinte líneas están disponibles, las cuales pueden captar un volumen de 67.5 litros. El volumen total de 350 litros tomará en cuenta el tanque de recirculación, el cual en cualquier momento después del comienzo almacenará 292.5 litros. El tiempo de operación de la planta se calculó en 16.2 horas. En la Figura 3.2 se muestra un esquema de la planta. En él, se muestran los 4 colectores compuestos parabólicos (CPCs,) el tanque y los accesorios principales.

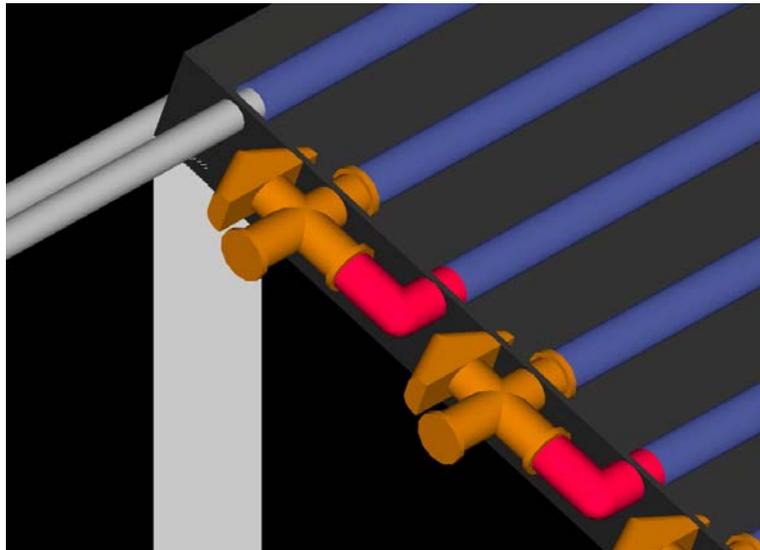


**FIGURA 3.2** Arreglo básico de la planta de fotocatalisis solar (Rivas, 2005)

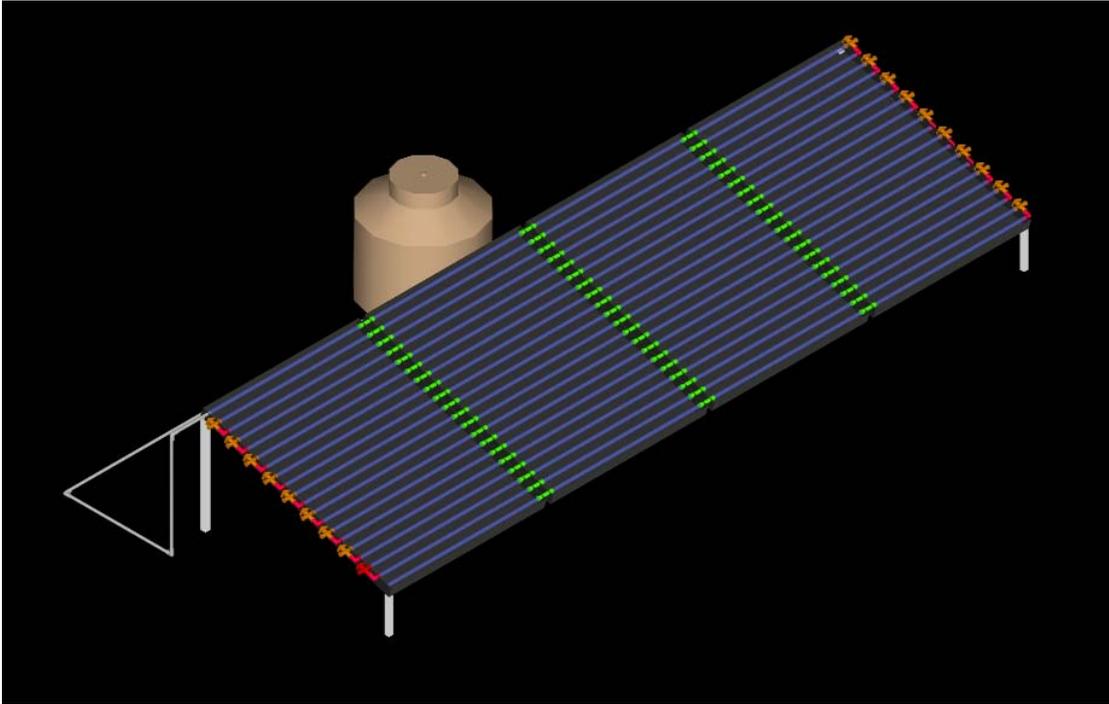
Más detalles de ilustraciones se muestran en las figuras 3.3, 3.4 y 3.5.



**FIGURA 3.3** Detalles de los acopladores (Rivas, 2005)



**FIGURA 3.4** Detalles de las conexiones finales (Rivas, 2005)



**FIGURA 3.5** Vista de la planta en tercera dimensión (Rivas, 2005)

- **Selección de los Tipos y Materiales de los Accesorios**

Los materiales de los accesorios fueron seleccionados por su suavidad, su capacidad para adaptarse a los tubos de vidrio y su resistencia química.

Para empezar, se seleccionó plástico en vez de metal debido a una menor pérdida de fricción y un menor peso (para que los tubos de vidrio pudieran soportarlos). Para la mayoría de los accesorios especiales se eligió utilizar cloruro de polivinilo tratado con cloro

(CPVC) debido a su alta durabilidad, aunque su costo sea mayor al cloruro de polivinilo (PVC).

- **Proveedores, Costos y Unidades Necesitadas**

A continuación se mencionan los accesorios necesarios para construir esta planta piloto. La mayoría de los accesorios se pueden conseguir en ferreterías locales. La Tabla 3.1 muestra a su vez, la lista de los proveedores de cada accesorio necesitado.

**TABLA 3.1** Materiales y lista de proveedores (Rivas, 2005)

Accesorios	Proveedor	Contacto	Teléfono
Válvula de 3 vías de CPVC	EMMSA	Ing. Leon F. Valdes	55 91717000-13, 5591717001
Unión de PVC	Ferreterías locales		
Codo de 90° PVC	Ferreterías locales		
Válvula de Muestreo de CPVC	Ferreterías locales		
Anillos-O de Vitón	Refaccionaria Industrial Casa Salinas		3206996, 3201746,
Tanque Rotoplas (450 l)	Ferreterías locales		
Válvula de globo para la salida del tanque de PVC	Ferreterías locales		
Manguera de HPDE	Ferreterías locales		
Tubería de PVC	Ferreterías locales		
Bomba Centrífuga (0.5 hp)	Ferreterías locales		

**Fuente:** (Rivas, 2005)

En la Tabla 3.2 se presenta el número necesario de accesorios necesitados para la configuración seleccionada de 4 colectores compuestos parabólicos.

**TABLA 3.2** Número de accesorios necesarios

No.	Accesorios
4	m <sup>2</sup> de colectores compuestos parabólicos
19	Válvula de 3 vías de CPVC
60	Unión de PVC
22	Codo de 90° PVC
19	Válvula de Muestreo de CPVC
240	Anillos-O de Vitón
1	Tanque Rotoplas (450 l)
1	Válvula de globo para la salida del tanque de PVC
1	Manguera de HPDE
2	Tubería de PVC
1	Bomba Centrífuga (0.5 hp)

**Fuente:** (Rivas, 2005)

En adición a esto, los costos de los reactivos se tienen que considerar, en la Tabla 3.3 se muestran los costos aproximados de estos reactivos, la fuente de información de estos costos fue el Sigma-Aldrich's 2002-2003 Reagent Catalogue, por lo que se recomienda actualizar los precios.

**TABLA 3.3** Costos aproximados de los reactivos

Código	Nombre	Formula Molecular	Cantidad (kg)	Precio (USD)
<b>Para Fenton</b>				
F2387	heptahidrato de sulfato ferroso Mínimo 99.0%, ACS	FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.25	25
	Peróxido de Hidrógeno (Industrial)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1	0.74
<b>Para Co-PMS</b>				
22,803-6	Ozono, Compuesto monosulfato (Monosulfato de peroxide de potasio)	KHSO <sub>5</sub>	0.1	25.7
40,302-4	Cobalto(II) tetrahidrato de acetato 98-102% ACS	(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Co.4H <sub>2</sub> O	0.025	20

**Fuente:** (Rivas, 2005)

En general, se observó que el atrazine es más lento en degradar que el 2, 4-D. Con respecto a los catalizadores, los datos usados para el Fenton probaron ser los más eficientes, sin embargo, se recomienda realizar investigaciones futuras para determinar realmente si el comportamiento obtenido se mantiene igual bajo condiciones de irradiación solar.

### 3.2 Planta de tratamiento El Ejido (Almería, España)

Como se ha venido mencionando, el reciclado de los envases de plástico para otros usos ofrece una posible solución al problema de su manejo adecuado. Tras la recogida selectiva, los plásticos deben ser lavados antes de procesarlos para su nuevo uso, dando lugar a agua contaminada con una mezcla de diferentes plaguicidas que debe ser tratada. La eficiencia

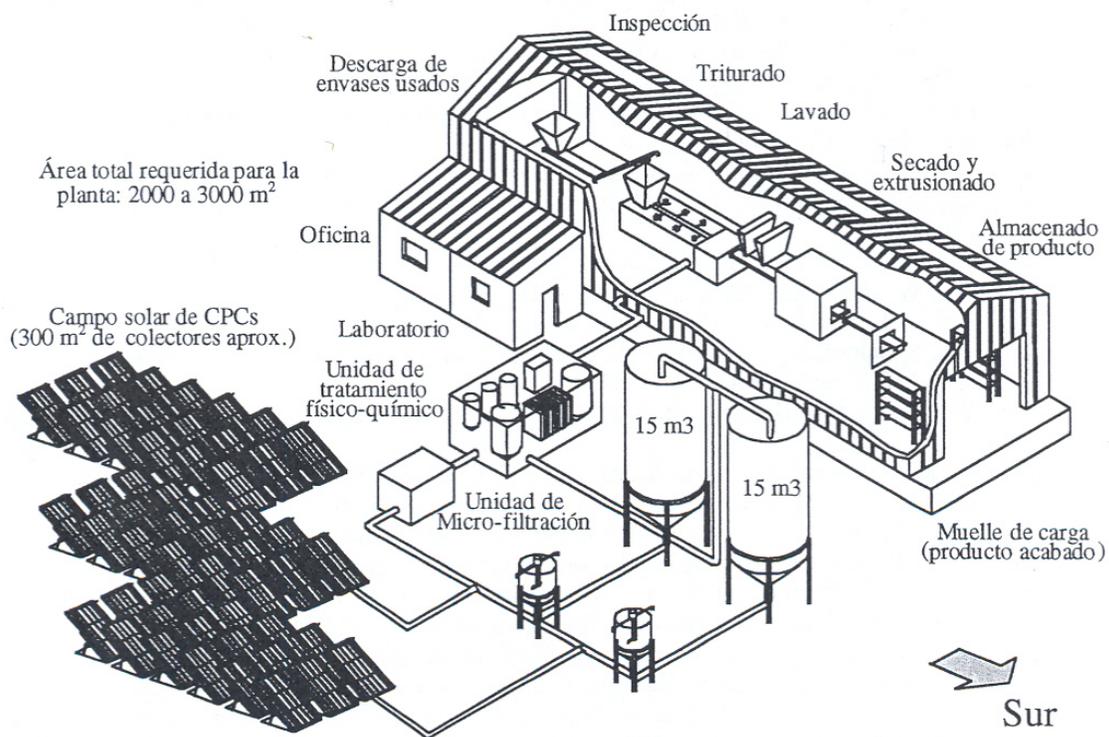
del proceso de fotocátalisis solar ya ha sido probada en la tesis de la Ing. Fernanda Rivas como se mencionó anteriormente.

A continuación se expondrá como ejemplo una planta de reciclado ubicada en El Ejido (Almería, España), cuya área consume aproximadamente 1.5 millones de botellas de plástico de plaguicidas por año.

Como el tratamiento fotocatalítico propuesto en este trabajo está enfocado al tratamiento de la cantidad de producto que queda en las paredes de los envases, se realizaron varias pruebas para valorar esta cantidad. Se consideraron dos situaciones diferentes: la primera los envases son eliminados sin lavar o después de un enjuagado. Esta última hipótesis es la más lógica porque los productos son muy caros y, por lo tanto, los agricultores normalmente los enjuagan y añaden el agua de enjuague a sus tanques de dosificación de plaguicidas. Las cantidades residuales de carbono orgánico total (COT) en cada envase son, en el primer caso de 0.673 g y de 0.083 g en el segundo. Para 1.5 millones de envases, esas cantidades por envase corresponden respectivamente a 1000 y 125 kg de plaguicidas calculados como COT (Ciemat, 2004).

Estas cantidades totales esperadas de plaguicidas producirían 9300 m<sup>3</sup> o 1200 m<sup>3</sup> de aguas residuales de concentración adecuada para su tratamiento por año, respectivamente, dependiendo de que los agricultores laven o no sus envases. Consecuentemente, la planta de tratamiento tendría una superficie de colectores entre 1300 y 170 m<sup>2</sup>, si se recogen todos los envases generados en la provincia de Almería. La Figura 3.6 muestra las características

de la planta diseñada para un tratamiento anual inicial de 750000 botellas (el 50% de las que se comercializan) y una media de 0.50 g de COT de residuo por botella, lo que obligaría a tratar en una planta 375 kg de compuestos fitosanitarios. Para ello sería necesario un campo solar de CPCs de 150m<sup>2</sup> (Ciemat, 2004).



**FIGURA 3.6** Vista de la planta de reciclado de 750, 000 envases plásticos anuales de plaguicidas. (Ciemat. 2004)

### **3.3 Proceso de Reciclado en la Planta de Tratamiento Propuesta**

Esta planta realizará un proceso de reciclado mecánico en la cual se realiza la conversión de los desechos plásticos post-industriales o post-consumo en gránulos que pueden ser reutilizados en la producción de otros productos tales como bolsas, suelas, cajones reciclados, envases no alimenticios y otros.



**FIGURA 3.7** Plástico Triturado

- **Etapas del Proceso de Reciclado Mecánico**

Las etapas que se llevan a cabo en este proceso de reciclaje:

### **a) Separación:**

En esta planta se recibirán solamente envases de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) ya que los envases de plaguicidas en su mayoría son de este material. En el caso que se reciban más tipos de envases se deberá realizar lo siguiente.

Preparación en una cinta transportadora de los diferentes tipos de plásticos de acuerdo con la identificación o con el aspecto visual. En esta etapa también se separan rótulos de materiales diferentes, tapas de botellas y productos compuestos por más de un tipo de plástico, envases metalizados, broches, etc.

Por ser una etapa manual, la eficiencia depende directamente de la práctica de las personas que ejercen esta tarea. Otro factor determinante de la calidad es la fuente de material a ser separado, dado que el que provee de la recolección selectiva es más limpio comparado con el material proveniente de los basurales a cielo abierto.

### **b) Molido o Triturado**

Después de haber sido separados, los diferentes tipos de plásticos son molidos y fragmentados en pequeñas partes.

### **c) Lavado**

Después de triturado, el plástico pasa por una etapa de lavado para eliminar la suciedad. Es aquí donde el agua resultante del lavado recibirá el tratamiento adecuado propuesto por medio de la fotocatalisis solar, mencionado anteriormente.

### **d) Secado**

En esta etapa se retira el exceso de agua por centrifugado.

### **e) Aglutinación**

Además de completar el secado, el material es compactado, reduciéndose así el volumen que será enviado a la extrusora. La fricción de los fragmentos contra la pared del equipo rotativo provoca el aumento de la temperatura, formándose así una masa plástica. El aglutinador también se utiliza para la incorporación de aditivos, tales como cargas, pigmentos y lubricantes.

### **f) Extrusión**

La extrusora funde y vuelve a la masa plástica homogénea. A la salida de la extrusora se encuentra el cabezal, del cual sale en forma de “espagueti” continuo que es enfriado con agua. Enseguida, este “espagueti” es picado en un granulador transformando en pedacitos llamados pellets (granos plásticos).

- **Reutilización de los Plásticos**

La reutilización es técnicamente posible. Según el grado de pureza del plástico, la suciedad o tamaño de los desechos plásticos a reutilizar se diferencian las siguientes formas de reutilización:

- a) **Reutilización de material**

La reutilización de material es factible cuando los desechos son de un sólo tipo, como sucede en producción y el procesamiento de plásticos (“scrap” o desperdicios en el proceso de fabricación) (SERIN, 2006).

En el caso de los termoplásticos el reciclado del material significa transformar los plásticos usados en gránulos y luego en piezas modelados nuevas. De esta forma solo es conveniente para plásticos usados limpios, puros y de gran tamaño o bien para restos de la producción. En el caso de los termorígidos se entiende por reutilización el reciclaje de partículas. Los termorígidos se trituran y agregan como carga al material virgen (SERIN, 2006).

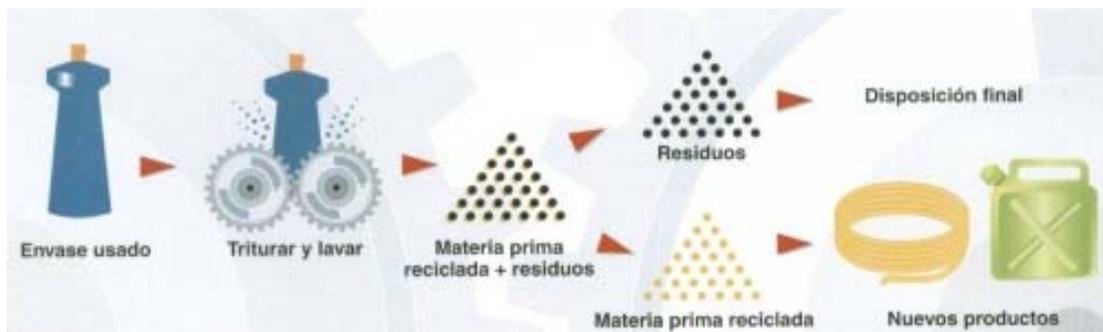
- b) **Reutilización de la materia prima**

En la reutilización de la materia prima se minimizan los costos para la selección y lavado de plásticos usados.

Actualmente se utilizan las siguientes tecnologías para reutilizar la materia prima:

- a) Hidratación
- b) Pirólisis / Termólisis
- c) Producción de gas de síntesis
- d) Solvólisis
- e) Proceso de altos hornos

En la figura 3.8 se muestran los procesos del reciclado de plásticos.



**FIGURA 3.8** Procesos del Reciclado de Plástico (SERIN, 2006)

### 3.4 Estudio Económico

A continuación se realizará un estudio en donde se definirán los costos que están involucrados en la realización de esta planta de reciclaje propuesta. El estudio considerará

dos partes del proceso de tratamiento: el reciclaje de los envases de plástico y el tratamiento del agua de lavado utilizada en el proceso de reciclaje.

### **3.4.1 Costos de Recolección y Transporte**

Los costos de recolección y transporte no se tomarán en cuenta ya que el proceso y la logística de recolecciones actuales son muy eficientes, por lo que no se está proponiendo ningún cambio aquí.

El actual programa de recolección recae en primera instancia en los usuarios de los envases de plaguicidas, ya que ellos son responsables de llevar sus envases vacíos al centro de acopio primario más cercano. Es ahí donde se recolectan los envases y son llevados al centro de acopio temporal de la zona.

En este caso, en vez de llevarlos al centro de acopio temporal, se llevarán directamente a la planta de reciclaje propuesta. Este es el único cambio, el cual no representa ningún costo adicional, es por eso que no se analizarán los costos involucrados en la recolección y transporte no se tomarán en cuenta en la evaluación económica.

Se recomienda una camioneta Pick up y se le puede adaptar una caja cerrada o redilas con lona que permitan transportar un mayor volumen de envases, a veces se puede adoptar un remolque tipo jaula, el máximo que podrá transportar estos vehículos serán 400 kilos (AMIFAC, 2004).

### **3.4.2 Costos de la Planta de Reciclaje**

#### **a) Inversión Inicial**

Para el reciclaje primario que se llevará a cabo en la planta, es necesario contar con una máquina especial la cual pueda realizar todos los procesos involucrados en el reciclaje, los cuales fueron mencionados anteriormente.

Es por esto que se localizó a la empresa Dycomet S.A. de C.V., la cual se especializa en la construcción de los molinos PAGANI, cuyas características los colocan como líderes en el sector. Esta empresa, cuenta con unos sistemas de lavado para materiales plásticos. Estos sistemas modulares cuentan con maquinas especiales para el molido, lavado, secado, aglutinado y extrusión del los envases de plástico. En la Figura 3.9 se muestra el sistema de lavado propuesto por la empresa Dycomet.

El precio de este sistema de lavado es de \$1, 980, 000 M.N. y su capacidad es de 300 kg/hora. Esta capacidad es la menor con la que cuentan. Ya que las que le siguen, cuentan con capacidades de 500, 750 y 1000 kg/hora.



**FIGURA 3.9** Sistema de lavado para materiales plásticos (Dycomet, 2007)

#### **b) Costos de Operación**

- **Mano de Obra**

Debido a que el sistema de lavado propuesto trabaja prácticamente por sí solo, únicamente se necesitarán dos operadores para manejarla. El primero de ellos será el encargado de recoger e introducir los envases recolectados al sistema de lavado. El segundo estará encargado de recoger y acomodar toda la materia prima resultante del proceso de reciclaje en el sistema de lavado.

El salario mínimo en el estado de Puebla actualmente es de \$ 47.60 M.N. A estos operadores se les pagará un salario de \$ 150 diarios. Lo cual equivale a 3.15 veces más el salario mínimo. Se considerará que estos operadores trabajen los 7 días de la semana, 8 horas diarias. Por lo que los costos de mano de obra al año será de \$ 109, 500.00 M.N., lo cual se puede observar en la Tabla 3.4.

**TABLA 3.4** Costo Total de Mano de Obra en el Sistema de Lavado Para Materiales Plásticos

SALARIO POR OPERADOR AL DIA	OPERADORES	DIAS AL AÑO LABORADOS	COSTO TOTAL AL AÑO
\$ 150.00	2	365	\$ 109, 500.00

**Fuente:** (elaboración propia)

- **Costos por Consumo de Energía Eléctrica y Agua Potable**

Estos costos, al ser mucho menor en comparación a la inversión inicial y a los demás costos, se despreciaran ya que no afectan de manera significativa a la evaluación económica.

**c) Costos por Mantenimiento Mayor y Menor**

El costo de mantenimiento mayor o menor es el originado por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones durante su vida económica.

El mantenimiento menor se considera todas las erogaciones necesarias para efectuar ajustes rutinarios, reparaciones y cambios de repuestos que se efectúan en la propia planta, equipo auxiliar que realiza la maquinaria, y otros materiales que sean necesarios.

Las cuchillas del triturador es la parte del sistema de lavado que necesita mayor mantenimiento. Estas cuchillas según los técnicos de PAGANI necesitan mantenimiento y afilarlas por lo menos una vez a la semana.

Es por esto que se considerará un mantenimiento menor al año con un costo aproximado al 2 % del valor de adquisición del sistema de lavado. En la Tabla 3.5 se muestra el costo anual por mantenimiento menor.

**TABLA 3.5** Costo Anual por Mantenimiento Menor

<b>VALOR DE ADQUISICIÓN DEL SISTEMA DE LAVADO</b>	<b>PORCENTAJE DEL MANTENIMIENTO MENOR</b>	<b>COSTO POR MANTENIMIENTO MENOR AL AÑO</b>
\$ 1, 980, 00.00	2 %	\$ 39, 600.00

**Fuente:** (elaboración propia)

En el caso del mantenimiento mayor se considera todas las erogaciones correspondientes a las reparaciones de la maquinaria con personal especializado, este cargo incluye la mano de obra, repuestos y renovaciones de partes de la maquinaria, así como otros materiales necesarios.

En este caso, se considerará un mantenimiento mayor cada quinto año con un costo aproximado del 5% del valor de adquisición del sistema de lavado. En la Tabla 3.6 se muestra el costo anual por mantenimiento mayor.

**TABLA 3.6** Costo Anual por Mantenimiento Mayor

VALOR DE ADQUISICIÓN DEL SISTEMA DE LAVADO	PORCENTAJE DEL MANTENIMIENTO MAYOR	COSTO POR MANTENIMIENTO MAYOR AL AÑO
\$ 1, 980, 00.00	5 %	\$ 99, 000.00

**Fuente:** (elaboración propia)

### 3.4.3 Costos del Proceso de Tratamiento del Agua por Medio de la Fotocatálisis Solar

Para determinar los costos involucrados en este proceso, se utilizarán los datos y costos que se obtuvieron tanto en la tesis *“Pilot Plant Design for use in Solar Photocatalytic Degradation Applications”* de la Ing. Fernanda Rivas, así como datos de la planta de tratamiento en El Ejido (Almería, España), ambos mencionados anteriormente.

- **Datos obtenidos de la Planta de Tratamiento en El Ejido**

Como se mencionó anteriormente, la planta fue diseñada para un tratamiento anual inicial de 750000 botellas (el 50% de las que se comercializan). Para ello sería necesario un campo

solar de CPCs de 150m<sup>2</sup>. Este tratamiento generaría un volumen de aguas contaminadas de 1, 875 m<sup>3</sup>/año, lo cual equivale a aproximadamente 2.5 litros por botella. En la Tabla 3.7 se muestra un resumen de los datos más relevantes y necesarios para calcular los costos de la planta propuesta.

**TABLA 3.7** Características de la Planta de Tratamiento El Ejido (Almería, España)

PLANTA DE TRATAMIENTO EL EJIDO	
Capacidad de la planta	750, 000 envases al año
Campo solar de CPC'S	150 m <sup>2</sup>
Promedio de carbono orgánico total por envase vacío	0.50 gramos
Agua generada al año	1, 875 m <sup>3</sup> /año
Agua generada por envase	2.5 litros

**Fuente:** (Ciemat, 2004)

- **Datos obtenidos de la tesis “*Pilot Plant Design for use in Solar Photocatalytic Degradation Applications*”**

**a) Inversión Inicial para la Planta Piloto**

Como se mencionó anteriormente, el número de los accesorios para la planta piloto fue presentado en la Tabla 15. Los costos de estos accesorios son presentados en la Tabla 3.8. Estos precios son de diciembre del 2005.

**TABLA 3.8** Costos de los accesorios necesarios para la planta piloto de tratamiento de agua

No.	Accesorios	Precio (Pesos MX)	Subtotal
4	m <sup>2</sup> de colectores compuestos parabólicos	\$12,682.42	\$50,729.68
19	Válvula de 3 vías de CPVC	\$1,383.13	\$26,279.38
60	Unión de PVC	\$3.60	\$216.00
22	Codo de 90° PVC	\$5.00	\$110.00
19	Válvula de Muestreo de CPVC		\$0.00
240	Anillos-O de Vitón	\$2.00	\$480.00
1	Tanque Rotoplas (450 l)	\$570.00	\$570.00
1	Válvula de globo para la salida del tanque de PVC	\$35.70	\$35.70
1	Manguera de HPDE	\$42.00	\$42.00
2	Tubería de PVC	\$30.00	\$60.00
1	Bomba Centrífuga (0.5 hp)	\$850.00	\$850.00
<b>TOTAL (Pesos MX)</b>			<b>\$79,372.76</b>

**Fuente:** (Rivas, 2005)

Como se puede observar, el costo de inversión inicial total es de \$79, 372.76 M.N. Este costo, fue calculado con precios del 2005, por lo que se tuvo que realizar un cálculo con la tasa de inflación de 4.0%, cuyo valor actual en el 2007 sería de \$85, 849.58 M.N.

## **b) Cálculo de la Capacidad de Envases a Tratar de la Planta Piloto**

Como se mencionó anteriormente, la capacidad de la planta piloto es de 350 litros, y el tiempo de operación es de 16.2 horas, lo cual representa aproximadamente dos días de operación, de 8 horas cada día. Por lo que la capacidad de 350 litros se dividirá en dos días, por lo que la capacidad real al día será de 175 litros.

Con los datos obtenidos de la planta de reciclaje El Ejido, con su producción de 750, 000 envases al año, generando 1, 875 m<sup>3</sup> de aguas contaminadas, y con la capacidad de 0.175 m<sup>3</sup>, se puede hacer una regla de 3 para obtener la cantidad de envases al año para la planta piloto propuesta. Con esto se obtiene una capacidad de 25, 535 envases vacíos al año, o 70 envases al día.

## **c) Costos de Operación**

- **Mano de Obra**

En la operación de la planta de tratamiento del agua contaminada, se propondrá tener a dos operadores las 8 horas de trabajo al día. Ya que al igual que en el proceso del reciclado de los plásticos, trabaja prácticamente por sí solo, sin embargo, por lo que únicamente se necesitara a un operador que este supervisando su correcto funcionamiento.

Como se mencionó anteriormente, el salario mínimo en el estado de Puebla actualmente es de \$ 47.60 M.N. A estos operadores también se les pagará un salario de \$ 150 diarios. Lo cual equivale a 3.15 veces más el salario mínimo. Se considerará que el operador trabajará los 7 días de la semana, 8 horas diarias. Por lo que el costo de mano de obra al año se pueden observar en la Tabla 3.9.

**TABLA 3.9** Costo Total de la Mano de Obra en la Planta de Tratamiento de Aguas Contaminadas

SALARIO POR OPERADOR AL DIA	OPERADORES	DIAS AL AÑO LABORADOS	COSTO TOTAL AL AÑO
\$ 150.00	1	365	\$ 54, 750.00

**Fuente:** (elaboración propia)

- **Costos por Consumo de Energía Eléctrica**

El consumo de energía en la planta de tratamiento por medio de fotocátalisis solar es muy bajo, ya que prácticamente requiere energía eléctrica para operar la bomba centrífuga de 0.75kW. Si la bomba va a estar operando 8 horas diarias los treinta días del mes, tendrá un consumo de 180kWh al mes. Si el precio en México por kWh es de \$ 0.633 M.N. (CFE), el costo al mes será de \$ 114 M.N. aproximadamente, y al año de \$ 1, 367 M.N. Este costo, es prácticamente despreciable y no alteraría la evaluación económica por lo que se despreciará.

- **Costos por Consumo de Agua**

El consumo de agua de la planta será de 0.175 m<sup>3</sup> al día, como ya comentó anteriormente. El precio actual en Puebla por m<sup>3</sup> es de \$ 13.91 M.N. (SOAPAP). Por lo que el costo por consumo de agua será de \$ 2.44 M.N. diarios, lo que representa aproximadamente \$ 877 M.N. al año. Este costo, al igual que el de la energía eléctrica, al ser tan bajo, será despreciado en la evaluación económica.

- d) Costos por Mantenimiento Mayor y Menor**

El mantenimiento menor tendrá un costo anual, ya que se necesitarán hacer reparaciones en sitio, lavados, desazolves, algún cambio de piezas, de los tubos de vidrio, limpieza, etc. El principal problema que se debe de considerar en el mantenimiento menor es que los tubos de vidrio de los colectores solares son muy frágiles, por lo que con alguna granizada o con algún otro impacto se rompen muy fácilmente y se necesita estarlos cambiando constantemente.

Otro problema que se tiene que considerar en la zona, es la dureza del agua. Esto provoca que constantemente se tengan que estar cambiando algunas de las conexiones, codos, etc.

Es por esto que éste costo se considerará con un gasto anual de aproximadamente del 15% del valor de la inversión inicial para construir la planta, el cual es de \$85, 849.58M.N., por lo que en la Tabla 3.10 se muestra el costo del mantenimiento menor.

**TABLA 3.10** Costo Anual por Mantenimiento Menor

<b>VALOR DE INVERSION INICIAL DE LA PLANTA</b>	<b>PORCENTAJE DEL MANTENIMIENTO MENOR</b>	<b>COSTO POR MANTENIMIENTO MENOR AL AÑO</b>
\$ 85, 849.58	15 %	\$ 12, 877.44

**Fuente:** (elaboración propia)

Por lo que respecta al mantenimiento mayor, se realizará cada 5 años, este mantenimiento consistirá en la asistencia de personal especializado, que incluirá la inspección, el reemplazo y cambio de varias de las piezas, e incluso el cambio de alguna parte del campo solar de los CPC's. Este mantenimiento mayor se considerará con un costo aproximado del 40% del valor de la inversión inicial. En la Tabla 3.11 se muestra el costo del mantenimiento mayor al año.

**TABLA 3.11** Costo Anual por Mantenimiento Mayor

<b>VALOR DE INVERSION INICIAL DE LA PLANTA</b>	<b>PORCENTAJE DEL MANTENIMIENTO MAYOR</b>	<b>COSTO POR MANTENIMIENTO MAYOR AL AÑO</b>
\$ 85, 849.58	40%	\$ 34, 339.83

**Fuente:** (elaboración propia)