



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

**“POTENCIAL DE RECICLAJE DE ENVASES
MULTICAPAS DE LAS ESTACIONES DE
TRANSFERENCIA COYOACÁN Y XOCHIMILCO DEL
DISTRITO FEDERAL”**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA

INGENIERÍA AMBIENTAL – RESIDUOS SÓLIDOS

P R E S E N T A :

I.Q. ARIADNA ZENIL RODRÍGUEZ

TUTOR:

DRA. MARÍA TERESA ORTA LEDESMA



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:	M.C. Gutiérrez Palacios Constantino
Secretario:	M. Adm. Ind. Ramírez Burgos Landy Irene
Vocal:	Dra. Orta Ledesma María Teresa
1 ^{er} . Suplente:	Dr. Aguillón Martínez Javier Eduardo
2 ^{do} . Suplente:	Dr. Meza Puesto Jesús Hugo

LUGAR DONDE SE REALIZÓ LA TESIS:

Instituto de Ingeniería, UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dra. María Teresa Orta Ledesma

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	V
INDICE DE TABLAS	V
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Justificación	4
1.2 Objetivo General	4
1.3 Objetivos Particulares	5
1.4 Alcances.....	5
1.5 Desarrollo de la Investigación	6
CAPÍTULO II. GENERALIDADES	7
2.1 Marco Legal de México	9
2.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	9
2.1.2 Ley Ambiental del Distrito Federal.....	10
2.1.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	11
2.1.4 Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal.....	12
2.1.5 Normas	13
2.2 Antecedentes del Manejo de Residuos Sólidos en el D.F.	13
2.2.1 Manejo de los Residuos Sólidos en la Ciudad de México.....	14
CAPÍTULO III. ESTADO DEL ARTE EN TECNOLOGÍA E INVESTIGACIÓN DEL RECICLAJE DE ENVASES MULTICAPAS	19
3.1 Envases Multicapas	19
3.2 TetraPak México.....	20
3.3 Ciclo de Vida de Envases Multicapas	21
3.3.1 Etapas del Ciclo de Vida Envases Multicapas	21
3.4 Reciclaje de Envases Multicapas	24
3.5 Reciclaje en México	25
3.5.1 REPAK	26
3.5.2 PIPSAMEX	28
3.6 Reciclaje en América Latina.....	29

3.6.1	Tecnología en Brasil.....	29
3.6.2	Planta de Reciclaje de TetraPak en Brasil.....	29
3.6.3	Reciclaje de TetraPak en Perú	30
3.6.4	Reciclaje en Europa	32
3.1	Tecnología de Hidropulpado	34
3.1.3	Tecnología Prensa en Caliente	35
CAPÍTULO IV. ANTEPROYECTO DE LA PLANTA RECICLADORA DE		
ENVASES MULTICAPAS.....		
4.1	Casos de Estudio.....	37
4.1.1	Delegación Coyoacán	37
4.1.2	Estación de transferencia Coyoacán	38
4.1.3	Delegación Xochimilco	38
4.1.4	Estación de Transferencia Xochimilco.....	39
4.2	Composición de RSU de las E.T. Coyoacán y Xochimilco.....	40
4.2.1	Envases Multicapas de las E.T.	42
4.3	Propuesta de anteproyecto de la PREM	43
4.3.1	Diseño de anteproyecto PREM.....	45
4.3.1.1	Capacidad de Diseño (Tamaño del Proyecto)	45
4.3.1.2	Etapa I (Recuperación de Celulosa).....	46
4.3.1.2.1	Recepción y Almacenamiento	46
4.3.1.2.2	Bandas Transportadoras	48
4.3.1.2.3	Reducción de Tamaño (Trituradora cortante)	50
4.3.1.2.4	Hidropulpado.....	51
4.3.1.2.5	Laminado o filtrado de celulosa	52
4.3.1.2.6	Producto final de Etapa I, celulosa.....	53
4.3.1.3	Etapa II (Recuperación de aluminio y polietileno)	54
4.3.1.3.1	Formación de planchas	54
4.3.1.3.2	Prensado en Caliente	54
4.3.1.3.3	Producto final de Etapa II, Aglomerado	54
4.4	Análisis Económico.....	55
4.4.1	Estimación de la Inversión.....	55
4.4.1.1	Inversiones Fijas	56

4.4.1.2	Inversiones Diferidas	57
4.4.1.3	Capital de Trabajo	58
4.4.1.4	Resumen de Inversiones	60
4.4.1.5	Calendario de Inversiones	61
4.4.1.6	Depreciaciones y amortizaciones.....	65
4.4.1.7	Presupuesto de Ingresos - Egresos.....	66
4.4.1.8	Gastos Financieros	67
4.4.1.9	Flujo de efectivo	67
4.4.1.10	Valor Actual Neto	68
4.4.1.11	Factor de Actualización	69
4.4.1.12	Tasa Interna de Retorno.....	70
4.4.1.13	Periodo de recuperación	70
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES		72
BIBLIOGRAFÍA		73
ANEXOS		76
ANEXO A.		76
A.1 Cálculo de la Generación Per Cápita de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en el Distrito Federal.....		76
A.2 Datos de Población de las Delegaciones Coyoacán y Xochimilco de Proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO).		79
A.3 Generación de Envases Multicapas de las Estaciones de Transferencia Coyoacán y Xochimilco.		80
A.4 Recuperación de Envases Multicapas de las Estaciones de Transferencia Coyoacán y Xochimilco.		82
ANEXO B.		83
B.1 Producción Anual de Pulpa de Celulosa, Polietileno-Aluminio		83
ANEXO C.		84
C.1 Cotizaciones de maquinaria y equipo		84
ANEXO D.		85
D.1 Plano de planta.....		85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Recolección de Residuos.....	15
Figura 4.1 Gráfica de composición de RSU de las Estaciones de Transferencia.....	43
Figura 4.2 Diagrama propuesta de PREM.....	44
Figura 4.3 Báscula de piso con caseta de control.....	46
Figura 4.4 Almacén para RSU.....	47
Figura 4.5 Banda transportadora.....	49
Figura 4.6 Trituradora de Cuchillas.....	51
Figura 4.7 Hidropulper.....	52
Figura 4.8 Filtro de banda.....	53
Figura 4.9 Producto Final, Celulosa.....	53
Figura 4.10 Prensa térmica para vulcanizado.....	55
Figura A.1 Comportamiento Generación Per Cápita de RSU del D.F.....	77
Figura D.2 Plano de Planta de Reciclaje de Envases Multicapas.....	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Principales Productos que se Reciclan de los Residuos Sólidos Urbanos.....	7
Tabla 2.2 Fuentes de Origen.....	14
Tabla 2.3 Ubicación de Estaciones de Transferencia.....	16
Tabla 2.4 Capacidad Plantas de Selección.....	17
Tabla 4.5 Composición en porcentaje de RSU de la E.T Coyoacán y Xochimilco.....	41
Tabla 4.6 Proyección generación de envases multicapas del año 2009 al 2030.....	42
Tabla 4.7 Capacidad instalada para distintos años el proyecto.....	45
Tabla 4.8 Inversiones Fijas correspondientes al ante proyecto de la PREM.....	56
Tabla 4.9 Resumen de inversiones diferidas de la PREM.....	57
Tabla 4.10 Resumen de Capital de Trabajo, Mano de Obra.....	58
Tabla 4.11 Resumen de Capital de Trabajo: Insumos, Materias primas y Otros.....	59
Tabla 4.12 Resumen de inversiones totales.....	60
Tabla 4.13 Calendario de inversiones en miles de pesos.....	62
Tabla 4.14 Depreciaciones.....	65
Tabla 4.15 Amortizaciones.....	66
Tabla 4.16 Presupuesto de Ingresos – Egresos.....	66
Tabla 4.17 Gastos financieros.....	67
Tabla 4.18 Flujo Neto de Efectivo.....	68
Tabla A.19 Generación Per Cápita de RSU por Zona Geográfica.....	76
Tabla A.20 Generación Per Cápita de RSU del D.F.....	77
Tabla A.21 Proyección generación per cápita de RSU en D.F.....	78
Tabla A.22 Proyecciones población CONAPO para D.F, 2005-2030.....	79
Tabla A.23 Cálculo de generación de envases multicapas de E.T.....	80
Tabla A.24 Recuperación de envases multicapas de E.T.....	82
Tabla B.25 Producción Anual: Celulosa, Polietileno-Aluminio, 100% y 80% eficiencia.....	83
Tabla C.26 Cotizaciones de Maquinaria y Equipo.....	84

RESUMEN

Debido a la problemática que existe en Distrito Federal sobre la generación de residuos sólidos y la clausura de su Relleno Sanitario para la disposición final de los mismos, son necesarias nuevas alternativas para la disminución de los residuos para su disposición final, considerando principalmente el reciclaje, dando como resultado la recuperación de materiales que puedan ser utilizados como materia prima en los procesos de producción de otros productos.

En el presente trabajo se presenta una alternativa para el reciclaje de los residuos denominados envases multicapas, considerando los resultados de un estudio previo para la composición de los residuos sólidos en algunas de las Estaciones de Transferencia del Distrito Federal, realizado por el Instituto de Ingeniería con el nombre de “Estudio para Actualizar la Composición y Generación de los Residuos Sólidos Urbanos en el Distrito Federal”, proponiendo un arreglo general el cual describe básicamente el proceso a seguir para el tratamiento de estos residuos y su posterior análisis económico para observar su rentabilidad y posible implementación en el Distrito Federal.

ABSTRACT

Because of the problems which exist in Distrito Federal, México about the generation of solid waste and the closure of its landfill for the final disposal, are necessary alternatives for reducing waste for disposal, considering mainly the recycling, resulting the recovery of materials that can be used as raw material in the production of other products.

This paper presents an alternative for the recycling of waste solid called “multilayer packaging”, considering the results of a study for the composition of solid waste in some of the transfer stations of Mexico City, conducted by the Institute of Engineering with the name of "Study for Composition and Generation Update of Municipal Solid Waste in the Distrito Federal", proposing a general arrangement, which basically describes the process for the treatment of this waste and its subsequent economic analysis to see their profitability and possible implementation in the Distrito Federal.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El acelerado proceso de urbanización, el crecimiento industrial y la modificación de los patrones de consumo orientados a productos desechables, ha generado un incremento en el consumo y demanda de los alimentos envasados y así una tendencia al aumento en la generación de este tipo de residuos sólidos. Desafortunadamente México carece de la suficiente capacidad financiera y administrativa para atender adecuadamente este problema.

De acuerdo a un estudio realizado en las estaciones de transferencia Coyoacán y Xochimilco por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se muestra que en la composición de los residuos sólidos, los envases de cartón multicapas son del 2.55 y 4.1% respectivamente (Orta, et al 2009). Este porcentaje da la estimación de 50 ton/día de éstos residuos los cuales son llevados al Relleno Sanitario como sitio de disposición final lo que causa a lo largo de los años una disminución de área para la disposición de los residuos sólidos generados diariamente en el Distrito Federal. Además estos tardan en degradarse aproximadamente 30 años, esto debido a que su composición consta de plástico, aluminio, y cartón. (CEMPRE, 2010)

Un punto importante a considerar de estos residuos, es que debido al incremento en el consumo y demanda de alimentos envasados, a lo largo del tiempo se van produciendo en mayor cantidad, por lo tanto existe la tendencia a incrementarse la generación de este tipo de residuos sólidos.

Así como también estos residuos son encontrados tirados en las calles o en tiraderos clandestinos produciendo un foco de infección para las personas que habitan cerca de estos tiraderos de residuos sólidos.

Los envases de cartón multicapas son 100% reciclables, desde el año 1992 existen dos sistemas para reciclarlo, uno de ellos fue ideado por Alemania que utiliza el conjunto de los componentes para fabricar un aglomerado llamado TECTAN que es asimilable al de la madera, sin embargo, este material no es de alta rentabilidad; el otro sistema creado en España permite separar los componentes del envase multicapas e incorporarlos a un ciclo productivo en el caso del papel y el aluminio, o para generar energía para el caso del polietileno.

En México existe una planta encargada de reciclar los envases multicapas y similares, llamada REPAK, la cual inició sus operaciones a partir del año 1997 en la ciudad de Toluca, Estado de México. Esta planta obtiene como producto final papel reciclado, pero dentro de sus limitantes es que solo recicla en mayor proporción material de pre-consumo, considerado como aquel que no pasa pruebas de calidad en empresas envasadoras; y en una menor parte material de post-consumo que son envases considerados como residuos, ya que no cuentan con los suficientes insumos de este último.

1.1 Justificación

Hoy en día la tecnología para reciclar los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) ha evolucionado de manera significativa; la generación de RSU por persona ha aumentado debido al desarrollo tecnológico que se está presentando a lo largo de todo el planeta, así como también al nivel socio-económico de vida.

El presente trabajo surge debido a la necesidad de recuperar y reciclar los residuos sólidos generados, en especial los envases multicapas, ya que en México existe un mínimo de empresas que se encargan de la recolección de estos envases y de su reciclaje, por lo cual se va a llevar a cabo la propuesta para el reciclaje de envases multicapas y su análisis de factibilidad económica en las estaciones de transferencia de Coyoacán y Xochimilco, de modo que permita aprovechar dichos residuos sólidos, obteniendo con esto beneficios a las Delegaciones Coyoacán y Xochimilco.

1.2 Objetivo General

- Realizar una propuesta para el reciclaje de envases multicapas y su análisis de factibilidad económica, considerando la composición de los residuos de las Estaciones de Transferencia de Coyoacán y Xochimilco del Distrito Federal.

1.3 Objetivos Particulares

- Analizar las tecnologías de obtención de celulosa y Prensa en caliente aplicadas a nivel internacional para el reciclaje de envases multicapas.
- Definir la Tecnología de Reciclaje para los envases multicapas de acuerdo a la investigación bibliográfica.
- Recopilar y analizar los resultados de estudios de campo de la composición actual de envases multicapas en las Estaciones de Transferencia Coyoacán y Xochimilco.
- Realizar el arreglo conceptual de los procesos de recuperación de celulosa, aluminio y polietileno de una Planta de Reciclaje para envases multicapas, considerando los datos actuales de composición y una proyección de residuos a 20 años.
- Llevar a cabo el análisis de factibilidad económica de las tecnologías de reciclaje para su aplicación.

1.4 Alcances

- Este estudio se llevará a cabo considerando la cantidad de envases multicapas que pasan por las Estaciones de Transferencia de Coyoacán y Xochimilco del Distrito Federal.
- Se realizará la propuesta de reciclaje considerando la cantidad de envases multicapas mezclada en los RSU y que es necesario separarlo.
- Se realizará un arreglo conceptual de la planta de reciclaje para los envases multicapas.

1.5 Desarrollo de la Investigación

Se realizará considerando las siguientes actividades:

- Recopilar y analizar la información necesaria para establecer la base teórica que sustentará la investigación. Se consultaran Tesis, Revistas especializadas, Artículos, Libros y otras fuentes.
- Revisar el marco regulatorio nacional que aplica al reciclaje de residuos sólidos para sustentar el trabajo de investigación.
- Investigar las condiciones de operación de las estaciones de transferencia de residuos sólidos en la Ciudad de México por medio de visitas a las estaciones de transferencia de Coyoacán, Xochimilco y a funcionarios de Dirección General de Servicios Urbanos, con el objeto de obtener información precisa.
- Revisar las tecnologías que se emplean internacionalmente para el reciclaje de envases multicapas.
- Recopilar información de la composición y cantidad de los residuos sólidos que ingresan a las Estaciones de Transferencia de Coyoacán y Xochimilco, obteniendo así, la cantidad de envases multicapas que llegan a éstas.
- Visitar la Planta Recicladora de Tetrapak “REPAK”, ubicada en Toluca, Edo. México, con el objeto de obtener información del proceso que llevan a cabo.
- Realizar un análisis para determinar la factibilidad económica de la aplicación de una tecnología de reciclaje para los envases multicapas.
- Establecer los criterios que se tomaron en cuenta para realizar una propuesta de reciclaje de acuerdo al análisis realizado anteriormente para las Estaciones de Transferencia.

CAPÍTULO II. GENERALIDADES

De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003) en su artículo 5, fracción XXVI se define Reciclado como la “transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos”.

Por lo tanto, se puede definir reciclaje como un proceso en el cual los residuos son transformados nuevamente en materia prima para ser incorporados en el ciclo de vida del producto original o ser utilizado para formar un producto diferente.

En los RSU existen numerosos subproductos que pueden ser nuevamente utilizados como materia prima. El retiro de materiales reutilizables o reciclables del flujo de la basura disminuye el volumen y la cantidad de los desperdicios que son enviados a disposición final, lo cual resulta de beneficio para el medio ambiente. En la tabla 2.1 se muestran los principales productos metálicos que se reciclan en el país (Jiménez, 2001).

Tabla 2.1 Principales Productos que se Reciclan de los Residuos Sólidos Urbanos.

MATERIAL	COMENTARIO
Aluminio	Latas de refresco, papel para envolver alimentos (papel aluminio), algunas partes mecánicas para autos, marcos de puertas y ventanas, adornos y tubos para pastas de dientes y cremas. El aluminio es muy apreciado por los compradores y es fácil de reciclar.
Papel y Cartón	Papel periódico, cajas de cartón, papel de oficina, papel de libros, papel impreso, papel mezclado. La generación de papel y cartón actualmente representa del 30% al 40% de la composición de los residuos lo cual con el reciclaje de éste se reutilizan fibras para la elaboración de papel nuevo, reduce el impacto sobre los bosques y se reduce el consumo de energía.
Plástico	Derivados de los hidrocarburos y del gas natural. Principalmente se recicla el PET (Polietileno tereftalato) el cual se usa en botellas para bebidas y recipientes para comida. Alrededor del 95% son reciclables, siempre y cuando no estén mezclados con metal, ceras o pegamento.

MATERIAL	COMENTARIO
Vidrio	Botellas de vidrio de color blanco, verde o ámbar, cerámica, vajillas y azulejos. El vidrio reciclado se utiliza para producir nuevos recipientes y botellas de vidrio, se reduce el consumo de energía y el espacio en los sitios de disposición final.
Acero y Fierro	Acero: Utensilios de cocina (trastes, cubiertos y otros) así como instrumental quirúrgico. La manera de diferenciar este metal del aluminio es utilizando un imán para atraerlo. Fabricar acero cuesta cuatro veces más que reciclarlo. Fierro: Corcholatas y algunas latas, tuberías, material eléctrico y adornos (conocidos como hierro forjado).
Cobre	De color rojizo, se emplea para fabricar muchas tuberías (gas) y cables (luz, teléfono, T.V). Se utiliza para adornos y utensilios de cocina. Su valor económico es tan importante que se llegan a robar los cables ya colocados para comercializarlos.
Plomo	Tubos de plomería, baterías de auto y conductos para instalaciones eléctricas entre otras cosas.
Bronce y latón	Piezas de plomería, llaves y piezas decorativas.

Fuente: Jiménez, 2001 y Tchobanoglous, 1994

Para que exista un reciclaje eficiente de materiales, se deben tener en cuenta los mercados de los materiales recuperados, la infraestructura de recolección y el costo global. Los mercados de los materiales recuperados se rigen no solo por la ley de la oferta y la demanda, es decir, existe un mercado cuando los fabricantes o procesadores requieren estos materiales o pueden usarlos como sustitutos rentables de materias primas de forma competitiva; por lo tanto, el mercado depende, principalmente, de los siguientes aspectos:

- Calidad de los materiales.
- Capacidad global de la industria de reciclaje.
- Costo de las materias primas en competencia.
- Cantidad disponible para reciclar.

En la mayoría de los casos, los materiales recuperados son inferiores en calidad a los materiales vírgenes, por lo que el precio en el mercado tiene que ser atractivo para los compradores. El

desarrollo del mercado también se ve influenciado por una legislación que desarrolle una demanda a largo plazo, así como el desarrollo de avances tecnológicos (Jiménez, 2001).

2.1 Marco Legal de México

En México no existe una legislación específica que trate sobre el reciclaje de residuos sólidos urbanos y las medidas de prevención, control y restauración que se deben implementar en caso de que propicien impactos adversos sobre el ambiente, no obstante la legislación actual si contempla leyes, reglamentos y normas ambientales que son aplicables para la prevención y control de la contaminación en los recursos naturales, suelo o ecosistemas y pueden ser aplicables al caso.

2.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente define a un residuo como: "cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó".

Así mismo un residuo peligroso lo define como:

“todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente”.

La Ley en su capítulo IV sobre Prevención y Control de la Contaminación del Suelo, en su artículo 134 señala lo siguiente:

Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo;

Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos;

Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reúso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes.

El artículo 137 señala que queda sujeto a autorización de los Municipios o del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten

aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales.

La secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.

El artículo 138 señala que la Secretaría promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para:

La implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales; y

La identificación de alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos municipales, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadoras.

En su artículo 141 indica; La Secretaría, en coordinación con las Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y Secretaría de Salud (SS) expedirán normas oficiales mexicanas para la fabricación y utilización de empaques y envases para todo tipo de productos, cuyos materiales permitan reducir la generación de residuos sólidos.

Asimismo, dichas Dependencias promoverán ante los organismos nacionales de normalización respectivos, la emisión de normas mexicanas en las materias a las que se refiere este precepto.

2.1.2 Ley Ambiental del Distrito Federal

La Ley Ambiental del Distrito Federal en su Capítulo V referente a Normas Ambientales para el Distrito Federal, su artículo 36 establece que la Secretaría, en el ámbito de su competencia emitirá normas ambientales las cuales tendrán por objeto establecer:

II. Los requisitos, condiciones o límites permisibles en la operación, recolección, transporte, almacenamiento, reciclaje, tratamiento, industrialización o disposición final de residuos sólidos e industriales no peligrosos.

El título quinto de esta ley, de la prevención, control y acciones contra la contaminación ambiental en su capítulo V referente a Prevención y control de la contaminación del suelo.

El artículo 163 indica que para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios:

III. Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos e industriales no peligrosos, incorporando técnicas, ecotecias y procedimientos para su reúso y reciclaje.

El artículo 164 indica, los criterios para la prevención y control de la contaminación del suelo deberán considerarse en:

- I. La expedición de normas para el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos e industriales no peligrosos, a fin de evitar riesgos y daños a la salud y al ambiente;
- IV. La autorización y operación de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos e industriales no peligrosos;

El artículo 166 indica que, con el propósito de promover el desarrollo sustentable y prevenir y controlar la contaminación del suelo y de los mantos acuíferos, la Secretaría, con la participación de la sociedad, fomentará y desarrollará programas y actividades para la minimización, separación, reúso y reciclaje de residuos sólidos, industriales no peligrosos y peligrosos.

El artículo 171 en materia de residuos no peligrosos, indica que corresponde a la Secretaría en su fracción II. Autorizar, en los términos del reglamento respectivo, la instalación y operación, por parte del generador, de sistemas para el tratamiento, recuperación, separación, reciclaje, incineración y disposición final fuera de la instalación donde se generen dichos residuos.

El artículo 174 indica que los residuos no peligrosos que sean usados, tratados o reciclados, en un proceso distinto al que los generó, dentro del mismo predio, serán sujetos a un control interno por parte del generador, de acuerdo con lo que establezca el reglamento de la presente Ley.

2.1.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

La ley general para la prevención y gestión integral de los residuos en su título tercero sobre Clasificación de los Residuos en su Capítulo único sobre Fines, criterios y bases Generales señala en su artículo 15 que:

La Secretaría agrupará y sub clasificará los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial en categorías, con el propósito de elaborar los inventarios correspondientes, y orientar la toma de decisiones basada en criterios de riesgo y en el manejo de los mismos. En su fracción III la sub clasificación de los residuos deberá atender a la necesidad de: Identificar las fuentes generadoras, los diferentes tipos de residuos, los distintos materiales que constituyen los residuos y

los aspectos relacionados con los mercados de los materiales reciclables o reciclados, entre otros, para orientar a los responsables del manejo integral de residuos.

En su título cuarto sobre Instrumentos de la política de prevención y Gestión integral de los Residuos en su Capítulo II sobre Planes de Manejo.

El artículo 29 señala: Los planes de manejo aplicables a productos de consumo que al desecharse se convierten en residuos peligrosos, deberán considerar, entre otros, los siguientes aspectos:

- I. Los procedimientos para su acopio, almacenamiento, transporte y envío a reciclaje, tratamiento o disposición final, que se prevén utilizar.

El título sexto sobre la Prevención y manejo integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en su capítulo único el artículo 96 señala que:

Las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, con el propósito de promover la reducción de la generación, valorización y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, a fin de proteger la salud y prevenir y controlar la contaminación ambiental producida por su manejo, deberán llevar a cabo las siguientes acciones:

- VIII. Establecer programas para mejorar el desempeño ambiental de las cadenas productivas que intervienen en la segregación, acopio y preparación de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial para su reciclaje;
- IX. Desarrollar guías y lineamientos para la segregación, recolección, acopio, almacenamiento, reciclaje, tratamiento y transporte de residuos;
- X. Organizar y promover actividades de comunicación, educación, capacitación, investigación y desarrollo tecnológico para prevenir la generación, valorizar y lograr el manejo integral de los residuos.

2.1.4 Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal

EL Reglamento de la Ley ambiental del Distrito Federal en su título tercero sobre la protección y restauración de los recursos naturales es su capítulo II del suelo y de las áreas verdes.

Artículo 34. Para los efectos del artículo 56 de la Ley y en los términos de las normas oficiales y demás disposiciones jurídicas aplicables, las personas que realicen obras o actividades de exploración o manejo de depósitos del subsuelo similares a los componentes de los terrenos y que no estén reservados a la Federación, están obligadas a:

I.- Prevenir y minimizar la generación de residuos, reusar o reciclar los que se generen y, en su caso, minimizar su peligrosidad y volumen, previamente a su debida disposición final.

2.1.5 Normas

En lo que se refiere a normatividad existen algunas normas en donde se especifican las técnicas recomendadas a seguir para la determinación de las características de los residuos sólidos municipales, algunas de ellas son las siguientes:

NMX-AA-015 “Protección al Ambiente – Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales- Muestreo- Método del Cuarteo”, cuyo objetivo es establecer el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio.

NMX-AA-022 “Protección al Ambiente – Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales – Selección y Cuantificación de Subproductos”, cuyo objetivo es establecer la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los Residuos Sólidos Municipales.

NMX-AA-062 “Protección al Ambiente – Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales – Determinación de la Generación”, cuyo objetivo es especificar un método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo estadístico aleatorio. Para efectos de aplicación de esta Norma los residuos sólidos municipales se subdividen en domésticos (que son los generados en casas habitación) y en no domésticos (generados fuera de las casas habitación).

2.2 Antecedentes del Manejo de Residuos Sólidos en el D.F.

Uno de los servicios que contribuyen de manera relevante a la calidad de vida en la Ciudad de México, es el eficiente manejo de los residuos sólidos, los que incluyen una diaria recolección, la transportación a las estaciones de transferencia, posteriormente a las plantas de selección y por último al sitio de disposición final. Con el propósito de mejorar la eficiencia en la prestación del servicio, el Gobierno del Distrito Federal además de la operación de la infraestructura y del

equipamiento utilizado en el manejo y control de estos residuos, desarrolla programas intensivos para su mantenimiento y ampliación (DGSU,2004)

2.2.1 Manejo de los Residuos Sólidos en la Ciudad de México

En la Ciudad de México se generan diariamente alrededor de 12,000 toneladas de residuos sólidos (ver tabla 2.2), las cuales son recolectadas por medio de un parque vehicular integrado por 2 mil 97 unidades recolectoras (ver figura 2.1), con distintas capacidades que van de los 0.5 hasta los 18 m3 dependiendo del tipo de contenedor que transporten o del tipo de vehículo y una plantilla de personal de más de 17 mil trabajadores de las 16 Delegaciones del Distrito Federal (DGSU, 2004).

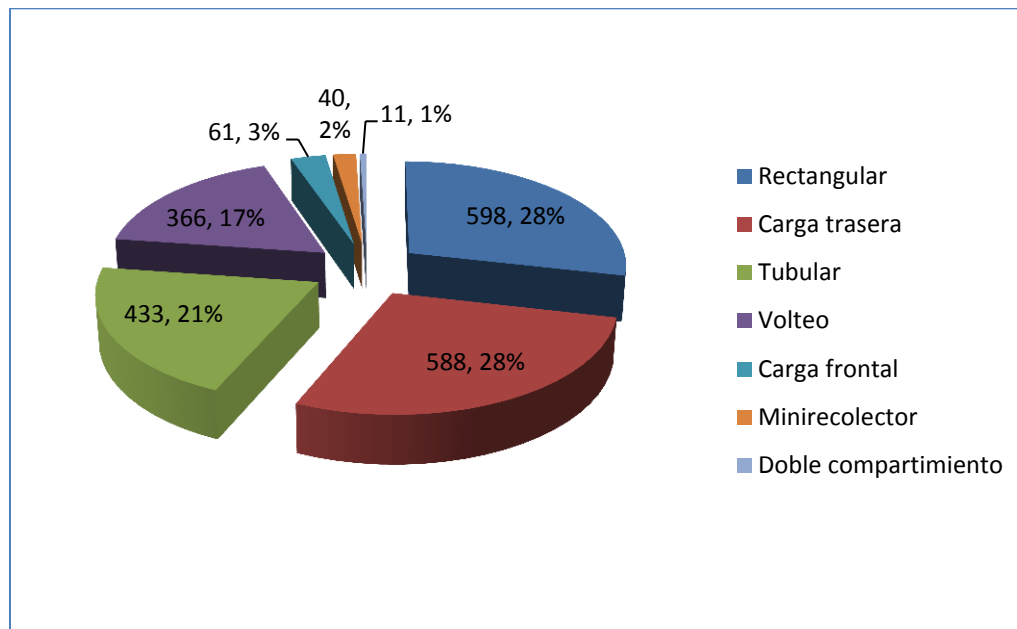
Tabla 2.2 Fuentes de Origen

CONCEPTO	TON/DÍA	%
Domicilios	5,672	47
Comercios	1,869	16
Mercados	1,249	10
Servicios	1,829	15
Controlados	374	3
Diversos	557	5
Central de Abasto	450	4
TOTAL	12,000	100

Fuente: DGSU, 2004

Las Delegaciones tienen a su cargo la recolección de los residuos y su transporte fundamentalmente a las estaciones de transferencia y en menor medida a las plantas de selección o directamente a los sitios de disposición final.

Figura 2.1 Recolección de Residuos



Fuente: DGSU, 2004

Los métodos de recolección son variados, pero destacan el de esquina, el de acera y el de contenedores; para la recolección domiciliar se utiliza el método de parada fija en esquinas y aceras. Los contenedores usualmente aplicados para la recolección de centros de gran generación, como son hoteles, mercados, centros comerciales, hospitales y escuelas; se ubican en una zona determinada como almacenamiento central y de fácil acceso para el vehículo recolector, en donde los usuarios han depositado sus residuos (DGSU, 2004).

Existen en la ciudad de México trece estaciones de transferencia, que son instalaciones intermedias entre las diversas fuentes generadoras de residuos sólidos y las plantas de selección o el sitio de disposición final; su objetivo principal es incrementar la eficiencia del servicio de recolección, en la medida que los vehículos recolectores reducen los tiempos para la descarga de sus residuos, ya que en vez de trasladarse hasta las plantas de selección o los sitios de disposición final, recurren a la estación de transferencia ubicada en su demarcación o bien, a la más cercana a su ruta de trabajo (ver tabla 2.3), para descargar sus residuos en los tracto camiones que transportan un volumen equivalente a 4 ó 5 camiones recolectores, ya sea a las plantas de selección o al sitio de disposición final.

Tabla 2. 3 Ubicación de Estaciones de Transferencia

Estación Transferencia	Ubicación
Álvaro Obregón	Avenida Diagonal de San Antonio No. 424, Col. Carola
Azacapatzalco	Calle 4 s/n y Prolongación Naranja, Col. Ampliación del Gas.
Benito Juárez	Callejón Santísima y Prolongación Yacatas s/n, Col. Emperadores.
Coyoacán	Calzada de Tlalpan No 3330 esq. Viaducto Tlalpan, Col. Santa Úrsula Coapa.
Cuauhtémoc	Eje 3 Sur esquina Eje 1 Oriente S/N, Col. Ampliación Asturias.
Gustavo A. Madero	Avenida 608 y Avenida 412 s/n, Col. San Juan de Aragón.
Iztapalapa	Prolongación Eje 6 Sur No. 7 a un costado de la zona de Chinampería “Santa Rosa”, Central de Abasto.
Central de Abasto	Prolongación Eje 6 Sur No. 7 a un costado de la zona de Chinampería “Santa Rosa”, Central de Abasto.
Miguel Hidalgo	Calle 11, entre Avenida Tecamachalco Y Sierra Santa Rosa s/n, Col. Reforma Social.
Milpa Alta	Guanajuato Oriente casi esquina con Quintana Roo s/n, Col. Barrio de la Concepción.
Tlalpan	Carretera Picacho-Ajusco km 5.5. Col. Belvedere.
Venustiano Carranza	Calle Agustín Lara esquina Joaquín Pardavé, Col. Magdalena Mixihuca.
Xochimilco	Francisco I. Madero No. 9977 Carretera Xochimilco-Tulyehualco, Pueblo San Luis Tlaxialtemalco

Fuente: SOS, 2001

Esta operación permite que los vehículos de recolección se incorporen nuevamente a sus rutas durante la jornada de trabajo.

El Distrito Federal cuenta actualmente con tres plantas de selección de residuos urbanos mezclados, con capacidad conjunta de 4,284 toneladas por día (ver tabla 2.4). Estas tres plantas se ubican en Bordo Poniente, San Juan de Aragón y Santa Catarina.

Tabla 2.4 Capacidad Plantas de Selección

Planta de Selección	Capacidad ton/día
Bordo Poniente	1,553
San Juan de Aragón	1,411
Santa Catarina	1,320
	4,284

Fuente: DGSU, 2004

La organización y operación de las plantas se realiza de manera coordinada entre el Gobierno del Distrito Federal (la Dirección General de Servicios Urbanos, de la Secretaría de Obras y Servicios) y los gremios de selectores (antes pepenadores); en estas instalaciones se recuperan más de 20 materiales reciclables que son comercializados en la Ciudad de México y sus alrededores por los gremios de selectores; el material no recuperado o rechazado, se transporta al Sitio de Disposición Final Bordo Poniente.

Los principales materiales recuperados son: Aluminio, traste macizo, chatarra, perfil, bote aluminio, bote ferroso, fierro, lámina metálica, cobre, alambre, botellas de refresco y cerveza, vidrio ámbar, transparente y verde, cartón, todo tipo de papel, periódico, PVC, PET, plástico rígido o nylon y vinil, entre otros (DGSU).

La planta de composta está ubicada en el sitio Bordo Poniente IV Etapa; recibe actualmente residuos orgánicos de poda de los programas operados por la Dirección General de Servicios Urbanos, de la Secretaría de Obras y Servicios, Comisión Federal de Electricidad y Luz y Fuerza del Centro y una fracción de residuos provenientes del área de flores y hortalizas de la Central de Abasto. Tiene una capacidad instalada de 200 ton/día y el producto obtenido es utilizado como mejorador de suelos de camellones y áreas verdes de la red vial primaria (DGSU, 2004).

La Dirección General de Servicios Urbanos es la responsable de la disposición final de los residuos sólidos generados en el Distrito Federal, teniendo actualmente como único sitio para tal fin el Relleno Sanitario Bordo Poniente IV etapa, el cual se ubica en el área del antiguo lago de Texcoco, en terrenos pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua. Se cuenta en este sitio con una planta de tratamiento para lixiviados.

Este relleno sanitario se dividió para su operación en cuatro etapas, de las cuales las tres primeras, operadas a partir de 1985 y hasta 1993, sumaron una superficie efectiva acumulada de 249 hectáreas que han culminado su vida útil. La etapa actual en operación (IV), se inició a principios de 1994 y cuenta con una superficie de 472 hectáreas; se ubica al suroeste del antiguo lago de Texcoco y al sur de las etapas anteriores, separada de aquellas por la autopista México-Texcoco; tiene una recepción diaria de aproximadamente 12,000 toneladas al día, de residuos sólidos.

En el Relleno Sanitario Bordo Poniente se disponen de manera segura y controlada los residuos sólidos generados en la Ciudad, desechos de la industria de la construcción y residuos sólidos provenientes de municipios aledaños del Estado de México, incluyendo el rechazo de las plantas de selección, mediante acciones de empuje, extendido, nivelación, compactación y cobertura de los mismos con tepetate; extracción y acarreo de lixiviados; riego de caminos y de los frentes de trabajo con agua tratada; tendido de material inerte en las coronas y su re-nivelación y la construcción de caminos utilizando material de balasto y fresado de carpeta asfáltica, para facilitar la circulación de vehículos en el interior del sitio (DGSU,2004).

CAPÍTULO III. ESTADO DEL ARTE EN TECNOLOGÍA E INVESTIGACIÓN DEL RECICLAJE DE ENVASES MULTICAPAS

3.1 Envases Multicapas

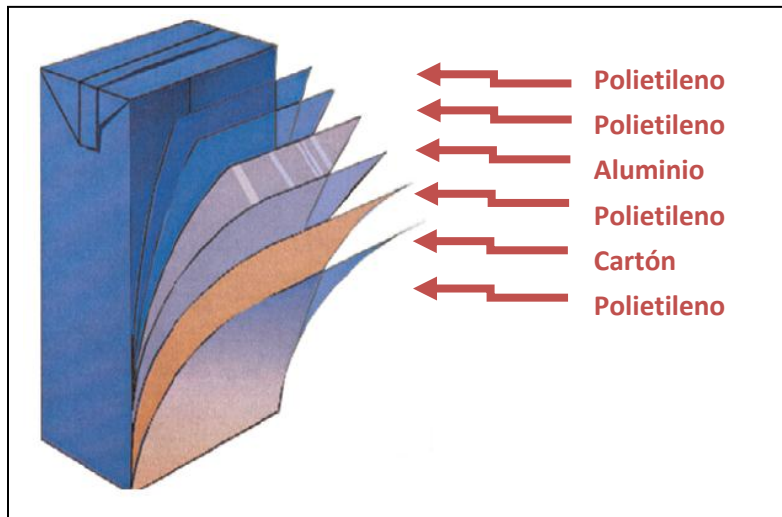
Los envases multicapas son fabricados por la empresa Tetrapak los cuales permiten que los alimentos líquidos puedan ser envasados y guardados bajo condiciones de temperatura ambiente sin necesidad de conservadores, además la utilización de estos envases reducen los costos de transporte, ya que únicamente ocupan entre el 5 y el 15% de la carga de un camión.

Estos envases están compuestos de una capa de cartón, cuatro capas de polietileno y una capa de aluminio, cada una con una función concreta y en orden determinado, ver Figura 3.1.

La capa de cartón, que representa el 74% del peso del envase, le proporciona rigidez y resistencia. Las capas de polietileno que representan el 22% del peso del envase, impermeabiliza el papel y asegura el hermetismo del envase; aunque el polietileno es suficiente para proteger del oxígeno a los productos de vida corta; también contiene una capa de aluminio de 6,35 micras de espesor, que actúa como barrera contra el oxígeno, los olores y la luz, constituye el 4% del peso total del envase.

Son reciclables y permiten elaborar diferentes materiales dependiendo del proceso al que sean sometidos; aun así se considera no utilizarlos de forma permanente y optar por otro tipo de envases ya que para la elaboración de estos envases se utiliza aluminio, cuya extracción de bauxita es muy costosa en términos de energía, además de que su reciclaje se dificulta debido a su composición.

Figura 3.1 Composición de Envases Multicapas



Fuente: Tetrapak.cl, 2009

3.2 TetraPak México

TetraPak es una empresa de origen sueco fundada por el Doctor Ruben Rausing, inició en los años 50 con el desarrollo de un innovador sistema de envasado para líquidos en forma de tetraedro. Asoció dos procesos, el sistema de tratamiento térmico UHT (Ultra High Temperature), y el sistema de envasado aséptico. (Tetrapak México, 2010)

Desde entonces es una de las principales proveedoras del mundo de sistemas de envasado de leche, jugos de frutas, alimentos, entre otros productos.

En Querétaro fue inaugurada una planta industrial en 1993, contando con la más avanzada tecnología para la fabricación de material de envase y popotes, en 1994 recibió la certificación ISO 9002 y en 1998 la certificación ISO 14001. En el año 2008 TetraPak México incrementó la capacidad de producción de material de envasado que permite abastecer totalmente el mercado mexicano. (Tetrapak México, 2010)

3.3 Ciclo de Vida de Envases Multicapas

El Análisis de ciclo de vida es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad. Esto se lleva a término identificando la energía, materia utilizada y los residuos de todo tipo de vertido al medio; determinando el impacto de este uso de energía y materiales y de las descargas al medio; evaluando e implementando prácticas de mejora ambiental. (Aranda, 2006)

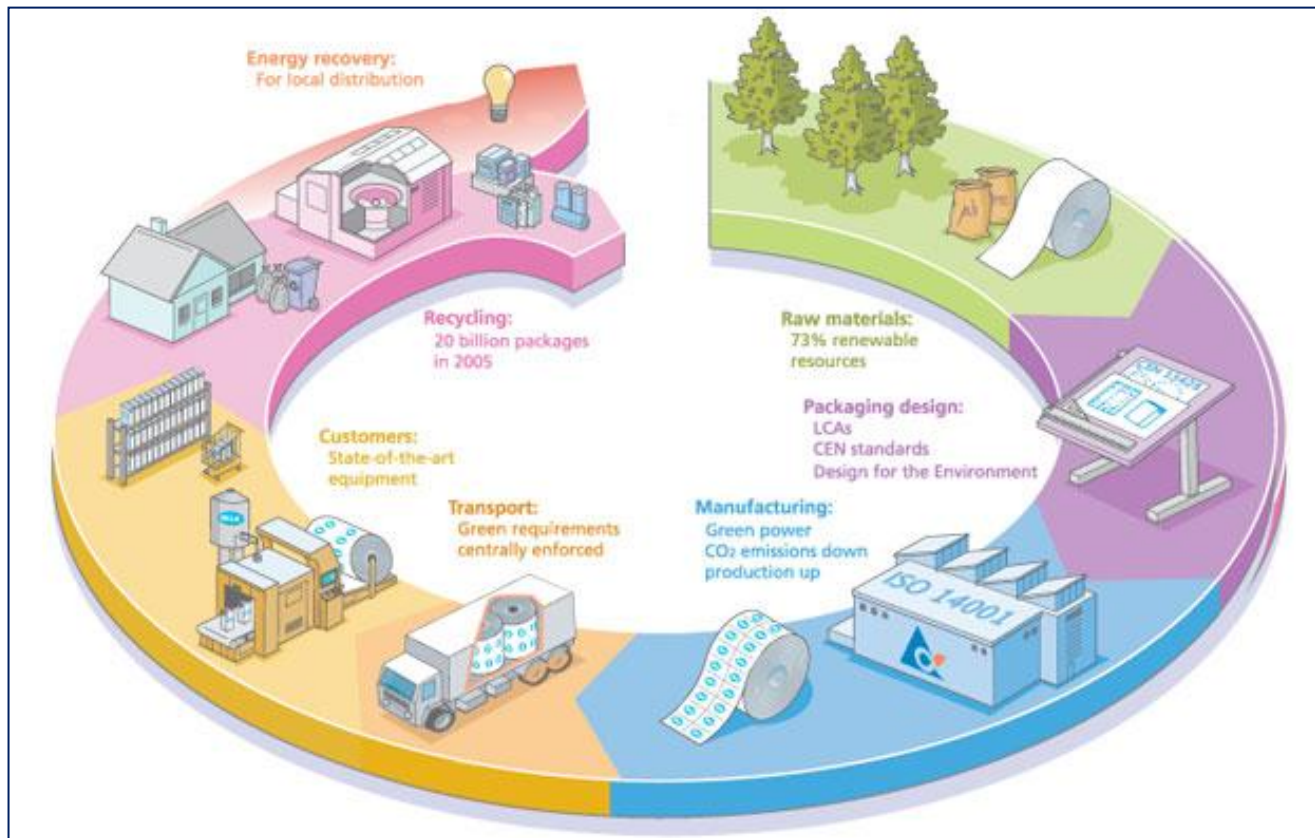
Para la empresa TetraPak la eficiencia ambiental siempre ha sido evaluada desde un enfoque de Ciclo de Vida, es decir, tomando en cuenta todas las consecuencias ambientales desde el diseño y la obtención de materias primas para la fabricación del envase, hasta que éste termina su función como herramienta para la distribución de alimentos, y se convierte en un sub-producto 100% reciclable, ver Figura 3.2. (Tetrapak México, 2010).

3.3.1 Etapas del Ciclo de Vida Envases Multicapas

Diseño del Envase

En esta etapa, mediante la implementación de tecnologías de mejoramiento de la calidad de la pulpa y del material plástico usado, se logró reducir el peso del envase de 32 gramos a 28 gramos, logrando un ahorro significativo en el consumo de materias primas.

Figura 3.2 Ciclo de Vida del Envase Multicapas



Fuente: Tetrapak México (www.tetrapak.com/mx), 2010

Materias Primas

Se utilizan tres materias primas: papel, plástico y aluminio.

- **Papel:** Recurso natural renovable, 74% del contenido del envase.

Polietileno: Recurso natural no renovable, 22% del contenido del envase.

Es usado en el envase para efectos de protección y adhesión, el PEBD, que proviene de los usos petroquímicos del petróleo, se estudian alternativas de consumo de polietilenos provenientes de fuentes naturales.

- **Aluminio:** Representa el 4% del contenido del envase.

La hoja de aluminio, usado en el material de envase para evitar la entrada de luz y oxígeno, tiene un espesor de 6,5 micras.

En Brasil, TetraPak ha desarrollado la tecnología denominada ‚de plasma’, que permite separar el aluminio del polietileno. El aluminio así recuperado se utiliza para fabricar nuevo papel de aluminio. (TetraPak, 2010)

Transporte de Materias Primas

Se han implementado metodologías para optimizar el transporte de materias primas, reduciendo los impactos ambientales asociados. El principal transporte usado para las materias primas y los envases vacíos es el marítimo, con lo que se logra la menor generación posible de gases de invernadero. El transporte del envase vacío hacia las plantas de los clientes es altamente eficiente en relación con el número de envases movilizado frente al espacio demandado. (TetraPak, 2010)

Proceso Productivo

Para minimizar los impactos ambientales del proceso productivo se han implementado procedimientos, instructivos y tecnologías de punta en todas las etapas.

Todas las plantas de producción de TetraPak se encuentran certificadas bajo la Norma Ambiental ISO 14001 (TetraPak, 2010).

Llenado de Alimentos

La etapa de llenado es uno de los impactos ambientales más importantes dentro del análisis de ciclo de vida del producto. Por ello, todos los equipos de llenado y proceso suministrados por TetraPak han sido sometidos a los procedimientos de eco diseño. Así, se logra una reducción significativa en el consumo de recursos naturales (energía y agua/tonelada de producto) y la generación de desperdicios/efluentes (por ejemplo, porcentaje de desperdicio durante el proceso de llenado). (TetraPak, 2010)

Distribución del producto lleno

En esta etapa, se minimizan de manera significativa los impactos ambientales asociados, el consumo de energía se limita al mínimo necesario para el transporte y gracias a la facilidad de

embalaje del envase, se optimiza el espacio demandado: en una sola estiba de 1x1.5x1m de altura se transportan 750 litros, evitando las pérdidas por espacios vacíos (TetraPak, 2010)

Almacenamiento y Consumo

Se minimizan los impactos ambientales, ya que el consumidor final puede almacenar el producto en su hogar hasta por seis meses, sin refrigeración.

Aprovechamiento y Reciclaje del Envase

Para cerrar el ciclo de vida del producto, TetraPak contribuye a desarrollar programas de reciclaje de envases usados, trabajando con sus clientes, las autoridades municipales, las universidades, la comunidad y la industria papelera.

Se apoya a las ciudades interesadas en desarrollar Programas de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos, que incluyan separación en la fuente de generación, recolección selectiva, y valorización de sub-productos. Dichos programas introducen criterios de eficiencia ambiental, económica y social en los sistemas de limpia pública de los municipios, reduciendo el volumen de residuos que va a relleno sanitario y permitiendo captar mayores volúmenes de sub-productos para su reciclaje. (TetraPak, 2010)

Actualmente están en proceso de implementación programas municipales de manejo integral de residuos en las ciudades de Aguascalientes, Torreón, Coahuila., Cancún, Q. Roo., y Corregidora, Querétaro. (TetraPak México, 2010)

3.4 Reciclaje de Envases Multicapas

Los envases multicapas son reciclables, cuando se reciclan estos envases de cartón, las materias primas que lo forman, incluyendo el polietileno y el aluminio, son recuperados y utilizados de nuevo. Las fibras de papel de un envase de cartón pueden ser reutilizadas hasta seis veces y se pueden convertir en diferentes productos de papel fuera de la industria de los alimentos.

Actualmente, con el papel procedente del reciclado de los envases multicapas se producen bolsas, sacos, estuches y cajas de cartón. El aluminio se puede separar del polietileno mediante pirólisis. El

aluminio se recupera con gran calidad mediante este sistema, e incluso se podría volver a introducir en la fabricación de envases alimenticios. El polietileno se puede transformar en energía. (Tetrapak, 2009)

Otro método es utilizar el conjunto de los componentes para fabricar un aglomerado asimilable al de la madera, el cual desde el año 1992 fue ideado por Alemania. Sin embargo, es una vía limitada, ya que no es un material de alta rentabilidad.

Una sencilla agitación de tetrabriks con agua permite extraer la fibra de papel situada entre el aluminio y el polietileno. (CCA, 2009)

Por cada tonelada de envase multicapas reciclado ahorramos:

- 3,000 kW de energía eléctrica
- 100,000 litros de agua
- 221 kg de aceite-combustible
- 1,500 kg de madera en tratamiento y eliminación de residuos municipales

Reciclar supone un ahorro importante de materias primas y energía:

- Por cada 1,000 kg de envases reciclados se obtienen 750 kg de papel kraft.
- Con el reciclaje de 2 toneladas de envases multicapas se ahorra el equivalente a una tonelada de petróleo.
- Reciclar un solo envase permite un ahorro energético equivalente al consumo de una bombilla.
- Además, se consigue reducir el volumen en los vertederos y minimizar su impacto ambiental.

3.5 Reciclaje en México

En México existe una planta de reciclado de envases multicapas y material de pre-consumo de la empresa TetraPak, cuyo nombre es REPAK, la cual inició sus operaciones en Noviembre de 1997. Esta planta de reciclado se encuentra en Toluca, en el estado de México, y es aquí donde se recupera el cartón, para fabricar cualquier tipo de papel, desde bond hasta higiénico.

3.5.1 REPAK

La planta de reciclado de tetrapak “REPAK” (Figura. 3.3), surge debido a la necesidad de TetraPak Querétaro de reciclar su material de desecho, con inversiones de la empresa global de TetraPak, iniciando su operación en el año de 1997.

Figura 3.3 Planta REPAK



Fuente: REPAK

La capacidad de diseño de esta planta es de 500 ton/mes, teniendo un 30% de pérdidas durante el proceso, sus principales abastecedores de materia prima son; material de pre-consumo, que representa el 80%: TetraPak Querétaro, Envasadoras como Unilever, Jumex, Pascual y material de post-consumo que representa el 20%: Contenedores ubicados en centros comerciales como Wal-Mart y residuos de municipios o pepenadores de toda la República Mexicana.

El proceso comienza en el área de almacén de materia prima de donde por medio de una banda se transporta el material hacia una guillotina en donde se reduce el tamaño, así como también se separa todo material ajeno al tetrapak, este material se conduce sobre una banda de alimentación a una trituradora en donde se reduce aún más su tamaño, esto se hace con el fin de que el proceso de separado de celulosa sea más efectivo; posteriormente el material triturado por medio de una banda es transportado a un túnel, se pesan aproximadamente 50 kg de material cada 10 o 15 minutos.

El túnel está constituido por 32 módulos y se dividen en dos secciones, la primera sección es solo para el lavado del material y la segunda sección es en donde se lleva a cabo la separación de la celulosa, para esta operación se necesitan 32 m³ de agua, sosa y una temperatura arriba de 80°C y se lleva a cabo mediante agitación.

En la parte baja del túnel se encuentra un drenaje por el cual se recircula el agua que va dentro del túnel, esta recirculación es cada 24 horas y se manda a una planta de tratamiento de agua en donde solo se le retira el plástico, el aluminio y la celulosa que pudiera afectar en la operación de material nuevo; ésta agua ya tratada es inyectada nuevamente al túnel, debido a las pérdidas en cada recirculación se le agrega un 50% de agua limpia.

Ya que el material pasó por la segunda sección del túnel en donde después de la agitación se separa la celulosa por densidad, la fibra pasa a una tina en donde por medio de coladores de menor dimensión se recupera celulosa que pudo haberse quedado; el plástico y el aluminio se mandan por una banda transportadora hasta un compactador para que posteriormente sea transportado a un relleno sanitario.

La celulosa que se recuperó pasa por una laminadora constituida por rodillos y bandas, cuya función es comprimir la celulosa y eliminar el exceso de agua. Se construyen bloques sobre una tarima de aproximadamente 1350 y 1500 kg peso húmedo; cabe destacar que no cuentan con proceso de secado. Son almacenados y finalmente vendidos a las empresas que se encargan de reciclar el material produciendo papel higiénico, cartón, etc.

La duración de todo el proceso varía entre 45 y 60 minutos.

Al producto terminado se le realizan pruebas en laboratorio, para determinar la blancura, humedad, consistencia, peso húmedo y peso seco; esto es de acuerdo a los requerimientos de las empresas que compran el material reciclado.

También se realizan pruebas del material de rechazo (plástico y aluminio) para determinar la eficacia de separación de la celulosa; en caso de que se encuentren en los rechazos arriba del 20% de celulosa se toman medidas durante el proceso de separación, como aumento en la temperatura o aumento en la cantidad de sosa que se suministra. (Repak, 26-Nov-2009).

3.5.2 PIPSAMEX

El grupo PIPSAMEX, Corporación Durango, localizado en la Col. Ciudad Alemán, Tres Valles en el estado de Veracruz, es el mayor fabricante de papel y productos de papel en México.

Se preocupa a fondo por el medio ambiente, reciclan alrededor de 1.5 millones de toneladas anuales de papel de desperdicio, oficina y archivo, mismo que utilizan para la fabricación de papel.

Su avanzada tecnología permite usar principalmente materias primas recicladas y manufacturar productos reciclables y biodegradables de alta calidad que favorecen el ambiente. (Corpdgo, 2008)

Su proceso de recuperación de celulosa de los envases multicapas es similar al de la planta REPAK ubicada en Toluca, Edo. de México.

El proceso consiste en transportar los envases multicapas a un equipo llamado hydrapulper de tambor de baja densidad Ahlstrom Fibreflow de flujo continuo que integra los procesos de laminación y separación de las fibras de poli-aluminio en el mismo equipo (ver Figura 3.4), de donde se recupera la celulosa que utilizan para fabricar papel reciclado y también obtiene el rechazo que es utilizado para fabricar otros materiales.

Figura 3.4 Planta PIPSAMEX



Fuente: Escalera, 2009

3.6 Reciclaje en América Latina

3.6.1 Tecnología en Brasil

Una de las alternativas que utilizan en Brasil para el reciclaje de envases multicapas TetraPak consiste en separar el papel del plástico/aluminio.

Para separar el papel se efectúa por medio de agitación en un hydrapulper, un separador que contiene entre 5000 y 40000 litros de agua donde se mezclan los envases, se necesita una permanencia de entre 10 y 30 minutos para que la fibra de papel presente en los envases pueda ser separada y permanezca en suspensión, permitiendo su remoción por una acción de bombeo, este proceso de separación no requiere el empleo de ningún aditivo químico o agua caliente.

La separación de la fibra y del residuo que contiene aluminio y polietileno se hace en la descarga del hydrapulper. Durante el bombeo, la fibra pasa por una placa perforada que impide el paso del polietileno y del aluminio. Las fibras recuperadas pasan por un proceso de lavado y purificación, posteriormente pueden ser usadas para la producción de papel reciclado.

El material compuesto de plástico/aluminio es destinado a fábricas de procesamiento de plásticos, donde por medio de procesos de secado, trituración, extrusión e inyección, es usado para producir piezas plásticas como cepillos, escobas, basureros y tejas.

3.6.2 Planta de Reciclaje de TetraPak en Brasil

La primera planta mundial de reciclaje de envases multicapa con tecnología plasma, inaugurada en mayo de 2009 en Brasil, es una operación cuadripartita entre TetraPak; TSL, una compañía brasileña con operaciones en el sector petrolero; Klabin, una de las mayores compañías papeleras de Brasil; y Alcoa, proveedor de las láminas de aluminio, que va a emplear el material reciclado para la producción de nuevas láminas. Por su parte, la cera de parafina será vendida a la industria química brasileña.

Su meta principal es incrementar el volumen de reciclaje de envases usados en Brasil, el cual en este momento alcanza un 19% de la producción total. El nuevo proceso deberá aumentar hasta en

un 30% su valor, por lo que se espera incentivar a las cooperativas y centros de clasificación para que recolecten el material haciendo del reciclado de los envases un buen negocio para todos.

La planta se construyó con un costo de 4,3 millones de euros, compartidos entre los cuatro inversionistas, en la fábrica de Klabin en Piracicaba, estado de Sao Paulo. Las ventas de la parafina y el aluminio producidos por la planta se espera sean superiores a 4 millones de euros anualmente.

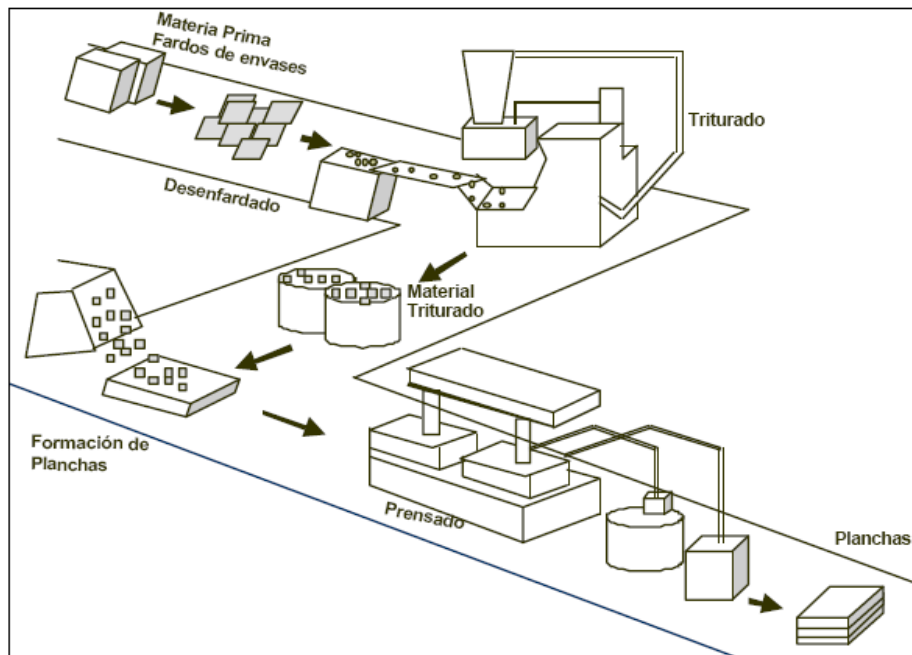
La unidad de procesamiento ha sido diseñada para recuperar 8.000 toneladas de plástico/aluminio, lo que equivale a reciclar 32.000 t/año de envases multicapa.

3.6.3 Reciclaje de TetraPak en Perú

En Lima Perú se han hecho estudios sobre los residuos de envases multicapas y se ha desarrollado un prototipo comercial en forma de tablas “planchas de TECTAN”, al cual se le ha realizado un análisis comparativo de especificaciones técnicas en relación con las tablas de madera.

El proceso de fabricación de este prototipo de madera se menciona a continuación (ver Figura 3.5).

Figura 3.5 Proceso de fabricación de TECTAN



Fuente: Inche Mitma, 2004

Recolección y Separación

Se lleva a cabo a través de un sistema similar al de recuperación de residuos de papel o vidrio, es decir, por recolección y por las plantas de separación (segregación); la separación se lleva a cabo de forma manual y a su vez se clasifica el material en forma definitiva y eliminan las impurezas gruesas del material, como los residuos de alimentos.

Molienda

Éste se lleva a cabo por trabajo mecánico, aplicando fuerzas de tensión, compresión y corte. Reduce a pequeños fragmentos de 3 mm.

Lavado y Secado

El lavado le permite desprender las sustancias orgánicas adheridas al envase y el secado tiene por objeto reducir el contenido de agua.

Prensado

El material triturado se extiende en una capa de espesor deseado (1cm.). Después se somete a compresión mediante una prensa y a 170°C. El calor funde el contenido de polietileno (PE) que une la fibra densamente comprimida y los fragmentos de aluminio en una matriz elástica.

En el proceso de prensado se necesita una prensa de doble pistón (uno neumático y el otro hidráulico). La prensa debe tener un control de temperatura. Y una presión entre 180 a 200 toneladas.

Enfriado

La matriz resultante se enfría después rápidamente, formando un duro aglomerado con una superficie brillante e impermeable. El polietileno es un agente de unión muy eficaz, de manera que no es necesario añadir cola o productos químicos como el formaldehído de urea que se usa para mantener unidos los aglomerados y tablas convencionales de madera.

Las especificaciones del producto son:

- El producto final consiste de planchas de dimensiones 30x30x1cm.
- Los artículos que se pueden fabricar con estas planchas son variados y van desde separadores de ambientes, muebles, carpetas, etc.

Los atributos del producto, incluyen:

- Permite una construcción sólida y duradera.
- Larga vida del producto.
- Reciclable 100 %.
- No incorpora productos tóxicos ni peligrosos.
- Puede ser aserrado, mecanizado, clavado y encolado.
- No se astilla ni se agrieta.
- No conduce la electricidad; aislamiento térmico y acústico.
- Insensible a la putrefacción, insectos y hongos.

Por lo tanto en Lima Perú el producto "planchas de Tectan", constituye un primer paso para desarrollar una amplia gama de productos que en la actualidad se fabrican en madera y que se pueden hacer en este material generando un impacto ambiental positivo, en una forma económica y socialmente rentable.

La principal ventaja que tiene el tectan respecto a la madera es su costo. Su acabado superficial podría ser mejorado mediante revestimientos con polímeros resistentes a la abrasión, que permitiría utilizarlos en pisos.

3.6.4 Reciclaje en Europa

Los envases multicapas han dejado de ser un residuo para convertirse en una fuente de materias primas para fabricar otros productos. Lógicamente, sigue siendo un envase de un solo uso, pero sus valiosos componentes pueden continuar siendo útiles una vez vaciados.

3.6.4.1 Reciclaje de papel

El papel representa entre un 75 y 80 del peso de un envase de cartón. La calidad de la fibra celulósica con la que se fabrican estos envases es de una alta calidad para garantizar su resistencia.

Se fabrica en los países nórdicos bajo estrictas medidas de minimización del impacto ambiental en cuanto a protección de la calidad del aire y de las aguas. Igualmente, la madera con la que se obtiene la celulosa proviene de bosques explotados con criterios de sostenibilidad y que preservan la biodiversidad de los mismos. De un árbol de 1 m³ se obtiene celulosa para fabricar 13.300 envases tetrabrik de litro. La extracción de estos casi 20 g de papel de un cartón aséptico se realiza mediante un proceso muy simple que sólo requiere agua y la energía para mover el llamado hydrapulper o triturador entre quince minutos y una hora. Bajo el efecto del agua el aluminio y el plástico quedan separados de la fibra celulosa la cual se puede utilizar nuevamente para fabricar papel kraft que se empleará para bolsas y sacos de papel. El éxito de este proceso radica en separar perfectamente la fibra celulósica del plástico y el polietileno. Estos dos últimos componentes pueden emplearse para recuperar energía en cementeras. Existe la tecnología para separar el polietileno del aluminio y permitir así reciclar también la hoja de aluminio, la cual tiene tan sólo un grosor de 6,5 micras. El polietileno puede gasificarse y constituir un excelente combustible. Las fibras recuperadas de los tetrabriks se están empleando en los diferentes países para producir productos diversos. Así, por ejemplo, en Noruega fabrican hueveras, mientras que Alemania se produce papel de cocina y en España se producen bolsas de compra y sacos industriales.

3.6.4.2 Reciclaje de Plástico y Aluminio

Recientemente se ha presentado un nuevo producto plástico que incorpora los restos no celulósicos del envase tetrabrik. Dos empresas anuncian estos productos comerciales que se trabajan igual que la madera y que se emplean en la fabricación de muebles, especialmente, para exteriores y como perfilera para construir estructuras para el aire libre dado que se trata de un producto de larga duración al cual no hay que pintar ni barnizar. Las dos empresas que reciclan envases tetrabriks en estos plásticos de nueva generación son Maplar (www.maplar.com) y Plaver (www.plaver.com).

En este capítulo se revisaron las tecnologías de hidropulpado y prensa en caliente, las cuales se aplican actualmente para el reciclaje de envases multicapas en América Latina y Europa para el reciclaje de envases multicapas, y fueron consideradas para la implementación de una planta recicladora para las delegaciones Coyoacán y Xochimilco del Distrito Federal.

3.7 Tecnologías para el Reciclaje de Envases Multicapas

3.7.1 Tecnología de Hidropulpado

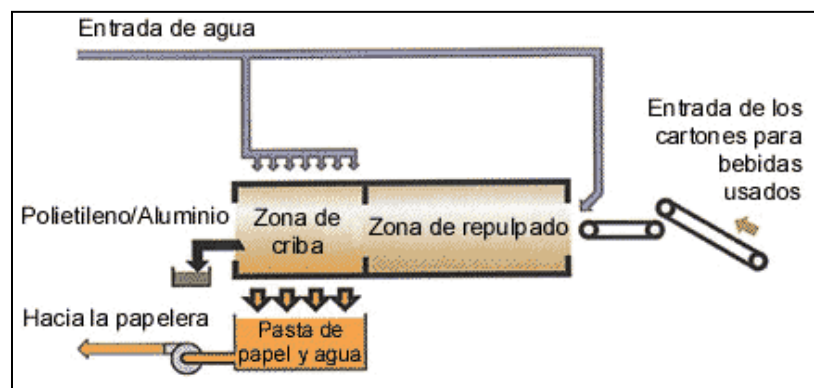
El hidropulpado es un método de separación de los componentes de residuos sólidos, en este caso para envases multicapas.

En este sistema se añade agua y los envases multicapas en un tanque en donde a través de la acción de alta velocidad de las hojas de corte montado sobre un rotor en la parte inferior del tanque permite separar las fibras de papel que se encuentran en un 74%, se agita entre 15 y 45 minutos convirtiéndola en una mezcla que por diferencia de densidades separa la celulosa que queda suspendida en el agua, del aluminio-polietileno (Tchobanoglous, 1977). El polietileno y el aluminio son retenidos posteriormente por una serie de filtros que dejan pasar el agua y la celulosa que se utiliza para nuevos productos de papel reciclado.

Una línea de hidropulpado, por ejemplo Hydropulper Ahlstrom Fibreflow puede recuperar hasta el 98% de las fibras de papel de los envases multicapas, así como también permite la eliminación de componentes que no sean fibra, como arena, cuerpos extraños. (Tetrapak España, 2003)

La línea de hidropulpado consiste básicamente en la zona de repulpado, zona de criba, limpiador centrífugo y unidad de dispersión, ver figura 3.6.

Figura 3.6 Línea de Hidropulpado



Fuente: Tetrapak España, 2003

El hidropulpaado es utilizado como primer paso de un sistema completo de recuperación de materiales de los residuos sólidos urbanos.

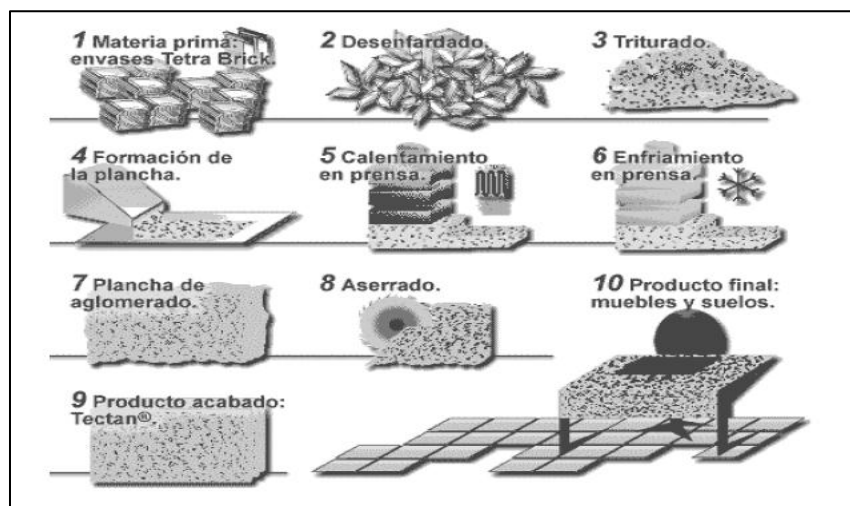
Como se mencionó anteriormente, esta tecnología permite la recuperación de la celulosa que se utiliza para nuevos productos de papel reciclado y por otro lado se tiene la recuperación de aluminio y polietileno, denominado rechazo, que normalmente es aprovechado para generar vapor, y posteriormente se utiliza para secar la celulosa o para generar electricidad.

3.7.2 Tecnología Prensa en Caliente

Esta tecnología es utilizada para elaborar aglomerados similares a la madera, utilizando como materia prima los envases multicapas.

El proceso básicamente consta de la trituración de los envases multicapas que se lavan, se secan y se extienden en una capa con el espesor deseado, después pasan por una prensa a una temperatura de 170°C en donde se funde el contenido de polietileno, agente de unión eficaz que une a la fibra densamente comprimida y los fragmentos de aluminio en una matriz elástica; posteriormente la matriz resultante se enfría formando un duro aglomerado con una superficie brillante e impermeable, que finalmente es utilizado para fabricar muebles, entre otros productos, ver figura 3.7. (Tetrapak España, 2003)

Figura 3.7 Proceso fabricado de aglomerados similares a la madera



Fuente: Chung P., 2003

Las ventajas de estos aglomerados son la resistencia a los elementos, a causa de su impermeabilidad; no necesita de la adición de elementos químicos ya que el polietileno que se encuentra en los envases multicapas actúa como aglomerante, para mantener unidos los aglomerados. (Tetrapak España, 2003)

Estos productos son comercializados, como en Europa la empresa líder EVD de Limburg que lo comercializa bajo la denominación de Tectan, no obstante esta empresa fabrica su producto exclusivamente de restos de fábrica para evitarse los problemas de la humedad que contienen los envases usados.

Por lo tanto de acuerdo a estas tecnologías se elaboró el anteproyecto de una planta recicladora de envases multicapas que consta de dos etapas:

Etapas I: Recuperación de Celulosa por Hidropulpa

Etapas II: Recuperación y aprovechamiento de Aluminio, Polietileno y fracción de celulosa no recuperada en etapa I por Prensado en Caliente.

CAPÍTULO IV. ANTEPROYECTO DE LA PLANTA RECICLADORA DE ENVASES MULTICAPAS

4.1 Casos de Estudio

4.1.1 Delegación Coyoacán

Coyoacán, es una de las 16 delegaciones políticas en las que se divide el Distrito Federal, se ubica en el centro geográfico de esta entidad, al suroeste de la cuenca de México y cubre una superficie de 54.4 kilómetros cuadrados que representan el 3.6% del territorio de la capital del país.

La mayor parte de la delegación se encuentra a una altura de 2240 msnm, con ligeras variaciones a 2250 msnm en Ciudad Universitaria, San Francisco Culhuacán y Santa Úrsula Coapa. Su elevación más importante se ubica al extremo sur poniente de la delegación, en el cerro del Zacatépetl a 2420 msnm.

La delegación se compone de dos tipos de suelo; el de origen volcánico provenientes de la erupción del volcán Xitle y el de zonas lacustres, que provienen de los lagos que se encontraban ubicados en esta zona.

También existen dos ríos que cruzan la delegación, considerados como las corrientes principales; el río Magdalena (casi totalmente entubado) que penetra por el sureste, cerca de los Viveros de Coyoacán se le une el río Mixcoac (entubado), para juntos formar el río Churubusco que sirve como límite natural con la Delegación Benito Juárez, al norte.

Los Viveros de Coyoacán, constituyeron el primer vivero oficial forestal del país. Actualmente, además de ser un centro de producción arbórea, es uno de los pulmones más importantes de la Ciudad de México. Se han cultivado bosques artificiales de eucaliptos, pirules, casuarinas, etc., en cerros que originalmente carecían de vegetación y en áreas naturales extintas, tal es el caso del cerro Zacatépetl.

Coyoacán cuenta también con espacios verdes que tienen un papel vital en la recarga de mantos acuíferos y el oxígeno. En este caso, no sólo hablamos de las grandes áreas verdes ya mencionadas,

sino también de los parques vecinales y jardines de barrio con que cuenta la mayoría de las colonias.

Su total de áreas verdes en metros cuadrados es de 4,318 783.56.

4.1.2 Estación de transferencia Coyoacán

La Delegación Coyoacán cuenta con 427383 habitantes y recibe 1545 toneladas diarias en la estación de transferencia de Coyoacán (DGSU, 2008). La estación de transferencia tiene ubicadas sus instalaciones en Calzada de Tlalpan No. 330 esquina Viaducto Tlalpan, Col. Santa Úrsula Coapa.

Tiene una superficie total de 12, 187 m² y una superficie construida de 6, 798 m². Su operación es de tipo regional y empezó a trabajar en 1985 con 2 tolvas; fue remodelada en 1992 agregando una tolva más.

Cuenta con 25 tractos camiones, tiene 3 tolvas en operación y cuenta con 9 cajones para vehículos recolectores y un ingreso de 700 recolectores por día. El tipo de residuos que se reciben son domiciliarios e industriales. Las delegaciones depositantes de esta estación de transferencia son Coyoacán, Tlalpan y Magdalena Contreras. Cuenta con 2 rampas de ascenso y descenso. Su báscula estima un peso máximo de 80 toneladas cabe mencionar que los únicos vehículos que se pesan son los tracto camiones.

Su sitio de disposición final es el Relleno Sanitario Bordo Poniente el cual se encuentra a 30.6 km de dicha estación. Laboran 24 horas de domingo a jueves y de 6:00 a 21:00 horas de viernes a sábado. En esta estación de transferencia no se recibe cascajo, reciben poda que es separada, y también existe la separación de orgánicos. La orientación de esta estación es de norte a sur y no se estacionan autos en rampa y patio.

4.1.3 Delegación Xochimilco

Xochimilco una de las Delegaciones del Distrito Federal se localiza al sureste de esta entidad y posee una superficie de 122 kilómetros cuadrados.

La parte norte del territorio Xochimilquense es plana, y se encuentra a la altitud media del Valle de México, es decir, 2240 msnm. El territorio completo de Xochimilco está integrado en la sub provincia 57 de los Lagos y Volcanes del Anáhuac, perteneciente a la provincia geológica del Eje Neovolcánico. Predominan la sierra estrato volcánica, que cubre el 42% del territorio Xochimilquense, el 27% del territorio es clasificado como meseta volcánica o malpaís, el resto lo componen tres tipos de llanuras. Un 18%, corresponde al vaso del antiguo lago de Xochimilco, hoy ocupado por la chinampería, es una llanura lacustre. Otro 12% corresponde a la llanura aluvial ribereña del lago, que señala la transición entre el valle y la sierra. El restante 1% corresponde a la llanura lacustre salina; una fracción de poco más de un kilómetro cuadrado localizada en la frontera de Xochimilco con Tláhuac e Iztapalapa.

Los suelos de origen lacustre y aluvial constituyen 61% de la superficie de la delegación. Predominan los tipos faeozem e histosol. En la zona montañosa la superficie está constituida por rocas de origen volcánico, como el basalto y la toba.

La construcción de las chinampas prehispánicas en las riberas del lago significó un cambio importante, que dio lugar al paisaje agrícola que caracteriza a la delegación. Al formarse las chinampas crecieron también el número y la variedad de árboles en el ecosistema. En las zonas elevadas existen pequeñas zonas boscosas, en donde se encuentran pinos, acotes, madroños, cedros, ahuehuetes, tepozanes. En los pequeños cerros, hay capulines, eucaliptos, alcanfores, jacarillas, pirules y chicalotes.

El lago albergó numerosas especies animales, muchas fueron aprovechadas para el consumo humano. Entre otras se pueden citar el axayácatl, los acociles (*Cambarellus montezumae*), la rana montezuma (*Rana montezumae*) y el axolote (*Ambystoma mexicanum*). La desaparición de las fuentes de los lagos, la decisión de desecar la cuenca de México y la introducción de especies extranjeras como el lirio acuático y la carpa europea provocaron un desastre que casi condujo a la desaparición del ecosistema y sus especies.

4.1.4 Estación de Transferencia Xochimilco

La Delegación Xochimilco cuenta con 623672 habitantes y recibe 472 toneladas diarias en la estación de transferencia Xochimilco (DGSU, 2008). La estación de transferencia está ubicada en

Francisco I Madero No. 9977 antigua carretera Xochimilco Tulyehualco, San Pueblo Luis Tlaxialtemalco.

Su apertura ocurrió en 1985 y su remodelación se llevó a cabo en 1994-1995, su operación es de tipo regional y su administración está a cargo de la Dirección General de Servicios Urbanos, cuenta con 11 tractos camiones, tiene una superficie total de 8,867 m² y una superficie construida de 7,507 m². Cuenta con 2 rampas de ascenso y descenso. Su capacidad instalada es de 1500 toneladas y cuenta con dos tolvas en operación, tiene un ingreso de 149 colectores por día. Sus delegaciones depositantes son Xochimilco y Tláhuac.

En esta estación no se recibe casajo, si se recibe poda pero no es separada y también separan orgánicos, su horario es de 6:00 a 22:00 horas los 365 días del año.

En esta estación de transferencia se cuenta con un programa de separación el cual es aplicado a la Delegación Tláhuac y ésta cuenta con el apoyo de un grupo de mujeres que coordinan el programa, la disposición de los choferes, y el encargado de la estación de transferencia. Los días que se recolectan sólo residuos orgánicos son lunes y jueves y los demás días se recolectan residuos inorgánicos. Los lunes y jueves que corresponden a recolección de orgánicos de 12 a 14 hrs, se les proporciona tolvas limpias y cajas de transfer limpias, para que no se mezclen con residuos inorgánicos que pudiera haber en las tolvas y en las cajas. En promedio se transfieren dos cajas de residuos orgánicos con un promedio de 20 toneladas, estas se llenan con 12 o 13 vehículos de acuerdo al porcentaje de llenado con que estos lleguen.

Su sitio de disposición final es el relleno sanitario de Bordo Poniente, el cual se encuentra a 34 km de distancia respectivamente.

4.2 Composición de RSU de las E.T. Coyoacán y Xochimilco

En Marzo de 2009 se realizó un estudio para actualizar la composición y generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el Distrito Federal, por el Instituto de Ingeniería para el Instituto de Ciencia y Tecnología del D.F, en donde se monitorearon las E.T. Coyoacán y Xochimilco.

Para la determinación de la composición de los RSU se realizó el análisis de una muestra compuesta proveniente de los estratos socioeconómicos alto, medio y bajo para la E.T. Coyoacán, y el análisis de una muestra recolectada de residuos sólidos provenientes de la recolección de residuos orgánicos

e inorgánicos en días diferentes del programa de separación orgánico-inorgánico para la E.T. de Xochimilco (Orta, *et al* 2009).

En la tabla 4.1 y en la figura 4.1 se muestran los resultados medios de la composición de los RSU de la E.T Coyoacán y Xochimilco; se separaron en 29 subproductos.

Tabla 4.1 Composición en porcentaje de RSU de la E.T Coyoacán y Xochimilco

SUBPRODUCTO	COYOACÁN	XOCHIMILCO
	% peso	% peso
1. Algodón	1.325	1.1
2. Cartón	6.9	10.7
3. Envase de cartón Tetrapak	2.55	4.1
4. Cuero	0.1	0.02
5. Residuo Fino	2.7	2.2
6. Residuo Grueso	1.05	1.6
7. Fibra dura vegetal	2.4	1.1
8. Fibra sintética	1.15	0.7
9. Hueso	0.35	1.2
10. Hule	2.75	1.4
11. Latas	2.75	3.8
12. Losa y cerámica	0.8	0.6
13. Madera	2	1.2
14. Material construcción	2.55	1.5
15. Material Ferroso	1.8	1.3
16. Aluminio	0.2	0.2
17. Bronce	0.1	0.2
18. Cobre	0.1	0.1
19. Pilas eléctricas	0.3	0.2
20. Otros materiales no ferrosos	0.15	0
21. Papel	11.6	14.4
22. Pañal desechable, toallas sanitarias	3.15	2.7
23. Plásticos	8.55	12.1
24. Material Orgánico	34.85	18.3
25. Trapo	3.65	8.6
26. Vidrio	4.55	10.8
27. Tenis	0.5	0
28. Zapatos	0.73	0
29. Otros	0.45	0

Fuente: (Orta, et al 2009)

Siendo los residuos sólidos cuya composición es de mayor porcentaje en ambas Estaciones de Transferencia ver Figura 4.1, el Papel, Plásticos, Material Orgánico, Trapo, Vidrio, Cartón y Envases de cartón Tetrapak.

4.2.1 Envases Multicapas de las E.T.

De la composición reportada anteriormente, el 2.5 y 4.1% en peso es de envases multicapas de las E.T. Coyoacán y Xochimilco, respectivamente.

Con la generación per cápita de RSU del D.F (1.4717 kg/hab*día), la población de las delegaciones Coyoacán y Xochimilco (623 672 y 427 383 Hab. respectivamente) y la composición de envases multicapas de las E.T. se calculó la generación de envases multicapas en el año 2009, ver Anexo A; se realizó una proyección de esta generación hasta el año 2030, ver Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Proyección generación de envases multicapas del año 2009 al 2030

AÑO	Coyoacán 2.55%	Xochimilco 4.10%	Generación E.M E.T Coyoacán +Xochimilco		
			kg/día	Ton/día	Ton/mes
2009	23405.38	25788.16	49193.54	49.194	1475.81
2010	23512.34	26377.67	49890.01	49.890	1496.70
2015	23986.59	29314.42	53301.01	53.301	1599.03
2020	24339.82	32176.07	56515.89	56.516	1695.48
2025	24549.17	34882.35	59431.52	59.432	1782.95
2030	24596.37	37351.05	61947.41	61.947	1858.42

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto la generación de envases multicapas de las dos E.T. fue de 49 ton/día en el año 2009. Y para el año 2010 la generación de envases multicapas es de 50 ton/día.

Composición RSU de E.T.

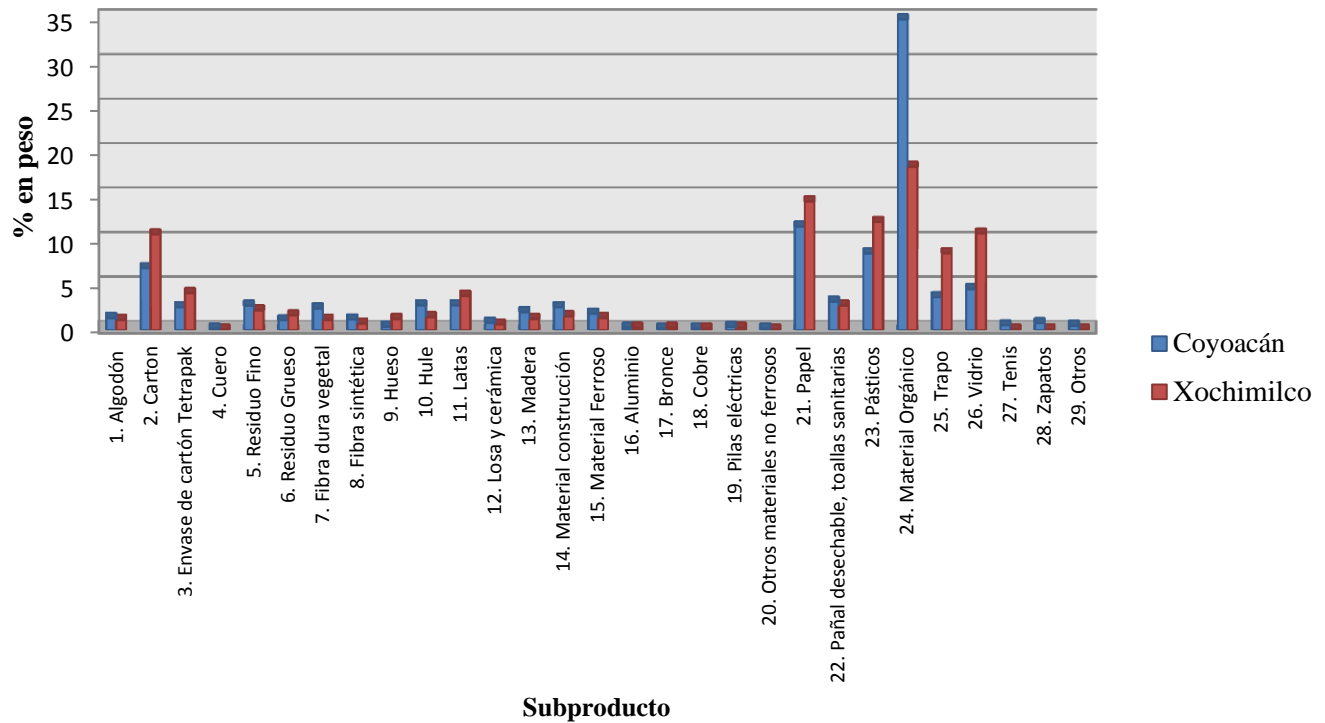


Figura 4.1 Gráfica de composición de RSU de las Estaciones de Transferencia

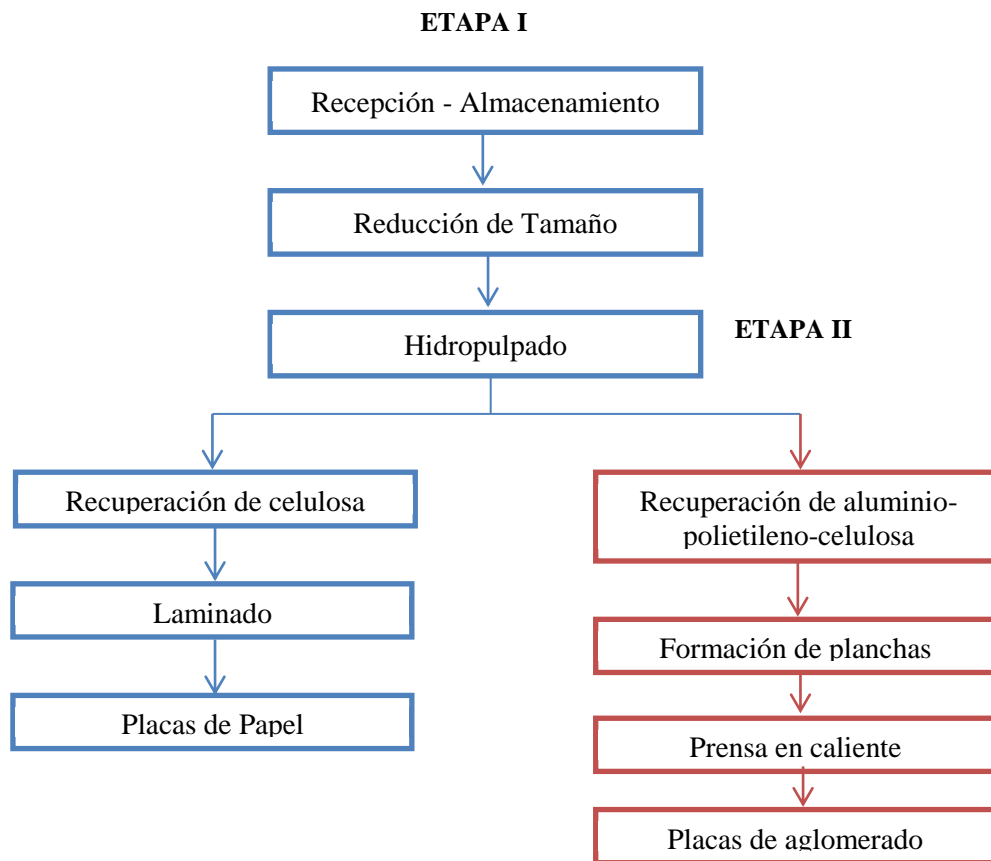
4.3 Propuesta de anteproyecto de la PREM

En esta parte del capítulo se describe y se realiza el diseño de la propuesta de la PREM, se seleccionan los equipos que se utilizarán en cada una de las etapas, las instalaciones generales, y almacenes de recepción y producto final.

En el capítulo III se realizó la selección de las tecnologías factibles para el reciclaje de envases multicapas, se seleccionaron dos de ellas con las cuales se propone una planta para el reciclaje de envases multicapas; ésta planta consta básicamente de dos etapas:

En la Etapa I se lleva a cabo la recuperación de celulosa por medio de Hidropulpaado y en la etapa II se lleva a cabo la recuperación de aluminio, polietileno y fracción de celulosa no recuperada de la etapa I por medio de Prensado en Caliente (ver Figura 4.2).

Figura 4.2 Diagrama propuesta de PREM



Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Diseño de anteproyecto PREM

En este apartado se muestran las características mínimas que la PREM debe tener para comenzar con un diseño de un proyecto formal.

4.3.1.1 Capacidad de Diseño (Tamaño del Proyecto)

El tamaño del proyecto es la capacidad instalada y se expresa en unidades de producción por año. Para determinar la capacidad de diseño de PREM se establece el tiempo de operación de la planta; partiendo de una jornada laboral de 40 horas semanales, distribuidas en 5 días de lunes a viernes, por lo que el tiempo de operación de la planta es de 8 hrs/día.

Al término de un año se tiene un tiempo de operación de la planta de 261 días/año.

Se considera que existe una recuperación del 30% (Tchobanoglous, 1994) de la cantidad de envases multicapas generadas en las delegaciones Coyoacán y Xochimilco, ver anexo A3 el cual incluye el cálculo de dicha generación.

Para este proyecto, la capacidad instalada para distintos años se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Capacidad instalada para distintos años el proyecto.

Año proyecto	0	5	10	15	20
Año base capacidad instalada	2010	2015	2020	2025	2030
Cantidad de EM generados *	17960.40	19188.36	20345.72	21395.35	22301.0
Cantidad de EM a recuperar * **	5388.12	5756.51	6103.72	6418.60	6690.32
Porcentaje de utilización con base en año 0 (%)	100	93.6	88.3	84	80.5

*Cantidades expresadas en ton/año.

Fuente: Elaboración propia

** Ver anexo A.3

Para seleccionar la capacidad instalada se considera el riesgo de que la tecnología se vuelva obsoleta y que debido al avance tecnológico existan equipos y tecnologías más eficientes y menos costosas a lo largo de los años. Por lo tanto se tiene que la capacidad instalada de la PREM será la correspondiente a los RSU recuperados en el año 10, es decir, 6103.72 ton/año, donde comparado con el año 0 el porcentaje de utilización de los equipos es del 88.3%.

En el caso de que la planta demande una operación arriba del 100% se recomienda ampliar la plantilla de personal y jornada de trabajo por turnos.

4.3.1.2 Etapa I (Recuperación de Celulosa)

4.3.1.2.1 Recepción y Almacenamiento

En esta parte del proceso se lleva a cabo la recepción de los envases multicapas post consumo recuperados de las delegaciones Coyoacán y Xochimilco y su almacenamiento para su posterior tratamiento.

El área de recepción está compuesta por:

- Caseta de vigilancia que permite el acceso de camiones que transportan envases multicapas post-consumo.
- Báscula de piso para llevar a cabo el pesaje de los camiones que transporten envases multicapas post-consumo.
- Caseta de control con indicador digital de peso donde se llevara el control de los residuos de envases multicapas que ingresen.

Figura 4.3 Báscula de piso con caseta de control.



Fuente: Cardinal Scale Manufacturing Co.

El área de almacenamiento debe cumplir con la siguiente información:

- El lugar debe estar techado y protegido por el acceso de personas no autorizadas y animales.
- Ubicado en zonas que reduzcan riesgos por posibles emisiones, fugas, incendios, explosiones e inundaciones.

- Contar con pasillos necesarios que permitan el tránsito de montacargas, mecánicos u operadores.
- Contar con el drenaje para la evacuación de las aguas producto de la limpieza y con sistema de captación de lixiviados o derrames que fluyan al exterior del almacén.
- Disponer con sensores para incendios, extinguidores de incendios y otros materiales de emergencia colocados en áreas estratégicas de fácil acceso.
- El piso del área de almacenamiento deberá estar construido con material impermeable.

Figura 4.4 Almacén para RSU



Fuente: *cogersa.es*

Para el cálculo del área de almacenamiento se considera la siguiente información:

- Cantidad de envases multicapas recuperados en un día (se toma en cuenta la proyección de residuos para el año 10) = 16.7223 ton/día = 16 722.3 kg/día
- Peso volumétrico de envases multicapas = 577 kg/m³.
- Días de recepción y almacenamiento de envases multicapas: lunes a viernes.

Debido a que la operación de la planta es de lunes a viernes, existe una acumulación de envases multicapas generadas y recuperadas de los días sábado y domingo que serán recibidas y

almacenadas los días Lunes, por lo tanto, el cálculo se realiza considerando la cantidad de tetrapak recuperado en tres días (50 166.9 kg/día).

$$\text{Se tiene que: } P \cdot V = \frac{m}{V} \quad \text{por lo tanto: } P \cdot V = \frac{m}{l \times a \times h}$$

Dónde:

$$P \cdot V = \text{Peso volumétrico; } m = \text{Masa; } V = \text{Volumen; } A = \text{Área;}$$
$$l = \text{largo; } a = \text{ancho; } h; \text{ alto}$$

La altura máxima que ocuparán los envases multicapas apilados será de 2 metros.

$$\text{Calculando el área: } l \times a = \frac{m}{P \cdot V \times h}$$

$$l^2 = \frac{50\,166.9}{577 \times 2} = 43.47 \rightarrow l^2 = \sqrt{43.47} \rightarrow l = 6.60$$

El área calculada es de 43.47 m², si se calcula la magnitud de cada lado del almacén considerando que tendrá una forma cuadrada, se tiene que cada lado mide 6.60 metros

De acuerdo a que es necesario un minicargador para alimentación del equipo, así como para manejar los residuos, se consideran 3 metros de seguridad en cada lado del almacén.

Por lo tanto las dimensiones del área son las siguientes:

$$\text{Área total} = 100 \text{ m}^2$$

$$\text{Largo} = 9.60 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 9.60 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = 2 \text{ m (éste valor corresponde a la altura máxima que deberán tener los residuos de envases multicapas apilados)}$$

4.3.1.2.2 Bandas Transportadoras

Las bandas transportadoras son los equipos más utilizados para la manipulación de residuos, se utilizan para trasladar RSU no seleccionados así como materiales reciclados. Se utilizan para trasladar materiales en las líneas donde se pueden seleccionar manualmente los materiales

reciclados. Una transportadora es una cinta sin fin, apoyada sobre rodillos libres de antifricción y conducida desde un extremo por un rodillo motriz, son elaboradas de goma lona o materiales sintéticos para manipular materiales reciclados que son relativamente ligeros. (Tchobanoglous, 1994)

Figura 4.5 Banda transportadora



Fuente: Interroll.

El diseño de una banda transportadora es en base a la velocidad de la cinta, al rendimiento por peso (t/hr), a la potencia en caballos y al espesor del material sobre la banda. Se utilizan velocidades de 0.05 a 0.5 m/s para bandas transportadoras metálicas y de 0.5 a 2.5 m/s para bandas transportadoras flexibles (Tchobanoglous, 1994).

En la primera etapa del anteproyecto se utilizan tres bandas transportadoras:

1. La primera alimenta a la trituradora para la reducción de tamaño.
2. La segunda transporta el material triturado al hidropulper.
3. La tercera recibe la pulpa de celulosa recuperada y la transporta a la laminadora o filtro.

4.3.1.2.3 Reducción de Tamaño (Trituradora cortante)

La reducción de tamaño es un proceso unitario utilizado para la disminución del tamaño de los RSU no seleccionados y de los materiales recuperados, existen varios equipos para este proceso; en este caso de acuerdo con las características de los envases multicapas que debido al polietileno, son resistentes para ejercerles una presión o fuerza de choque.

Por lo tanto se define que el equipo ideal para este material es una trituradora de cuchillas o trituradora cortante (ver figura 4.6), en la cual la reducción de tamaño se lleva a cabo aplicando fuerzas de corte, es operado con una acción de tijera en la que dos cuchillas girando en sentidos opuestos cortan los residuos. Esta operación permite la obtención de un producto más uniforme y fragmentos pequeños cercanos a 8 mm.

Las trituradoras utilizadas son dispositivos de baja velocidad. Son movidas por motores hidráulicos que pueden ser puestos marcha atrás en caso de bloqueo (Tchobanoglous, 1994).

El diseño de una trituradora cortante, es con base en la carga en bruto de los residuos (ton/hr) y la energía consumida.

Para el anteproyecto se tomó en cuenta la carga en bruto correspondiente a la capacidad de la planta para el año 10, equivalente a 6103.72 ton/año, igual a 117.056 ton/semana; y considerando una operación de planta de 8 hrs/día, 5 días a la semana, se tiene que la alimentación por hora de envases multicapas es de **2.926 ton/hr**.

Con lo anterior se establece que la Trituradora de cuchillas debe de tener una alimentación por hora de 3 ton/hr, para envases de cartón multicapas y obtener un producto final de 8 mm como máximo.

Figura 4.6 Trituradora de Cuchillas



Fuente: COMESA

4.3.1.2.4 Hidropulpado

La recuperación de celulosa se lleva a cabo mediante éste método de separación, hidropulpado, donde, se puede recuperar hasta un 98% de celulosa y se obtiene como rechazo el aluminio, polietileno y la parte no recuperada de celulosa.

El equipo ocupado es un hidropulper (ver Figura 4.7) que se llena con agua y envases de tetrapak previamente triturados (**2.926 ton/hr**) y se agita entre 15 y 45 minutos hasta que se separan las fibras de papel, que quedan suspendidas en el agua, del polietileno y el aluminio. Tras finalizar el proceso, se vacía el hidropulper por su parte inferior a través de un filtro que deja pasar el agua y la fibra de celulosa recuperada.

De acuerdo con proveedores internacionales del equipo hidropulper, recomiendan que para una alimentación de 2.926 ton/hr se requiere un equipo de 15m³, del cual sólo se utiliza un 50% de su capacidad ya que éste puede recibir el doble de toneladas por hora.

Por lo tanto se tiene que por 15m^3 de agua se tratan 50 ton/día, por lo tanto se tiene que al día se utilizarán 7 m^3 de agua, de la cual, para no tener un consumo elevado de agua diario, esta se recirculará y aunque no está incluido en este proyecto, se recomienda tener una planta de tratamiento de agua para tratar el agua diariamente.

Figura 4.7 Hidropulper



Fuente: Papermillfabricators.com

4.3.1.2.5 Laminado o filtrado de celulosa

Después de la recuperación de la celulosa, ésta pasa por un filtro para retirarle el exceso de agua ya que viene en forma de pulpa y formar el producto final.

El equipo a utilizar es uno de los diferentes tipos de filtro horizontal (ver figura 4.8); se parece a una banda transportadora, con un soporte transversal que lleva la tela filtrante que tiene también la forma de una cinta sin fin. Las aberturas centrales situadas en la cinta de drenaje se deslizan sobre una cámara longitudinal de vacío en la que se descarga el filtrado. La suspensión de alimentación fluye hasta la cinta desde un distribuidor situado en un extremo de la unidad, mientras que la torta filtrada y lavada descarga por el otro extremo.

Figura 4.8 Filtro de banda



Fuente: KWC, Wastewater technology

4.3.1.2.6 Producto final de Etapa I, celulosa

Como producto final de la primera etapa (ver figura 4.9), se obtiene la celulosa que puede ser vendida a empresas dedicadas a la fabricación de productos de papel, como papel higiénico, servilletas, y otros.

Figura 4.9 Producto Final, Celulosa



Fuente: REPAK

4.3.1.3 Etapa II (Recuperación de aluminio y polietileno)

En la segunda etapa del anteproyecto se utiliza una banda transportadora:

1. La cuarta banda recibe el polietileno y aluminio y la transporta a una prensa térmica.

4.3.1.3.1 Formación de planchas

La parte proveniente del rechazo del hidropulpado, el aluminio, polietileno y celulosa no recuperada, son utilizadas para formar planchas y posteriormente pasarlas por una prensa en caliente.

Para obtener una plancha uniforme en densidad y espesor se coloca manualmente el material triturado sobre los moldes de aluminio, formando una capa de diferentes espesores, según el espesor final. Se recomienda colocarle encima del molde un film de poliéster para evitar que el material triturado se esparza durante el prensado caliente. Luego los moldes son ingresados a la prensa caliente.

4.3.1.3.2 Prensado en Caliente

Las planchas formadas anteriormente pasan por una prensa en caliente (ver figura 4.10) para formar un aglomerado debido a la fusión del polietileno con el aluminio y celulosa. Dentro de la prensa caliente se usa una temperatura aproximada de 170°C y una presión de 12 kgf/cm². El tiempo de prensado varía con el espesor final que se desea; por cada milímetro de espesor de la plancha se debe mantener durante un minuto en este proceso. El calor funde al contenido de polietileno que une la fibra densamente comprimida y los fragmentos de aluminio en una matriz elástica.

4.3.1.3.3 Producto final de Etapa II, Aglomerado

Se obtiene el producto final que son placas de aglomerado similar a la madera. Este producto puede ser utilizado posteriormente para la producción de diferentes productos para casa u oficina.

Figura 4.10 Prensa térmica para vulcanizado



Fuente: Montequipo

4.4 Análisis Económico

El análisis económico pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, cuál será el costo total de operación de la planta, así como otra serie de indicadores que servirán como base para la parte final y definitiva del proyecto, que es la evaluación económica (Baca, 2001).

4.4.1 Estimación de la Inversión

En esta parte se determina las inversiones de todo el proyecto, es decir, inversiones fijas, inversiones diferidas y capital de trabajo.

4.4.1.1 Inversiones Fijas

Las inversiones en activos fijos son todas aquellas que se realizan en los bienes tangibles que se utilizarán en el proceso de transformación de los insumos o que sirvan de apoyo a la operación normal del proyecto (Chain, 1991).

Estos bienes tangibles son propiedad de la empresa, como terrenos, edificios, maquinaria, equipo, mobiliario, vehículos de transporte, herramientas y otros. Se llaman fijos por que la empresa no puede desprenderse fácilmente de él sin que ello ocasione problemas a sus actividades productivas (Baca, 2001).

La tabla 4.4 muestra las inversiones físicas o tangibles necesarias para la instalación de la PREM; se observan inversiones por terreno, obra civil, maquinaria y equipo y por equipo de oficina, las cuales dan un total de inversiones fijas de \$7, 281, 990.00 M.N.

Tabla 4.4 Inversiones Fijas correspondientes al ante proyecto de la PREM.

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	TOTAL miles de \$ (x 10 ³)
INVERSIONES FIJAS				<u>7,821.99</u>
<u>TERRENO</u>	M2	1,200.00	700.00	<u>840.00</u>
<u>OBRA CIVIL</u>	-			<u>879.08</u>
Caseta de vigilancia	M2	4.00	1,200.00	4.80
Oficinas	M2	130.00	1,500.00	195.00
Área de descarga	M2	100.00	750.00	75.00
Almacenamiento Materia prima	M2	100.00	627.45	62.75
Almacenamiento producto final	M2	75.00	627.45	47.06
Área de maquinaria	M2	450.00	627.45	282.35
Laboratorio	M2	50.00	2,000.00	100.00
Estacionamiento	M2	75.00	650.00	48.75
Áreas verdes	M2	45.00	575.00	25.88
Taller de mantenimiento	M2	50.00	750.00	37.50
<u>MAQUINARIA Y EQUIPO</u>	-			<u>5,354.22</u>
Báscula de pesaje electrónica (40 ton)	PZA	1	292,465.00	292.47
Minicargador frontal	PZA	1	577,288.50	577.29
Montacargas	PZA	1	439,567.50	439.57
Banda transportadora	PZA	4	116,484.00	465.94
Trituradora de cuchillas (3 ton.)	PZA	1	1,950,000.00	1,950.00

Hidropulper	PZA	1	351,250.00	351.25
Filtro de cinta horizontal	PZA	1	808,375.00	808.38
Prensa térmica	PZA	1	469,336.00	469.34
<u>EQUIPO DE OFICINA</u>				<u>748.69</u>
Equipo de cómputo de escritorio	PZA	3	13,855.00	41.57
Equipo de impresión y fotocopiado	PZA	1	10,125.00	10.13
Radios de comunicación interna	PZA	4	3,730.00	14.92
Mobiliario equipo para oficina	PZA	4	159,863.00	639.45
Mobiliario y equipo servicios médicos	PZA	1	42,630.00	42.63

Fuente: Elaboración propia.

* Información tomada de cotizaciones realizadas a diferentes empresas para los costos de maquinaria y equipo, ver Anexo C.

4.4.1.2 Inversiones Diferidas

Las inversiones en activos diferidos o intangibles son aquellos que se realizan sobre activos constituidos por los servicios o derechos adquiridos necesarios para el funcionamiento del proyecto (Chain, 1991).

Éstos incluyen principalmente los gastos de organización, los estudios y proyectos que se tengan que realizar previamente, licencias, permisos para la puesta en marcha, los imprevistos en caso de accidente o pérdidas de infraestructura.

La tabla 4.5 muestra las inversiones diferidas o intangibles de la PREM; se tomaron en cuenta licencias y permisos e imprevistos, donde, por cuestiones de practicidad se estimó un monto del 2.5% y del 1.5% sobre las inversiones fijas totales, respectivamente.

Tabla 4.5 Resumen de inversiones diferidas de la PREM.

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL miles de \$ (x 10 ³)
<u>INVERSIONES DIFERIDAS</u>			<u>312.88</u>
<u>LICENCIAS Y PERMISOS</u>			<u>195.55</u>
Documentación y asuntos administrativos → 2.5% sobre las inversiones fijas	1	195.55	195.55
<u>IMPREVISTOS</u>			<u>117.33</u>
Permiso de uso de suelo, etc. → 1.5% sobre las inversiones fijas	1	117.33	117.33

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.3 Capital de Trabajo

El capital de trabajo está representado por el capital adicional con que hay que contar para que empiece a funcionar una empresa (Baca, 2001); es decir:

- Mano de obra, son aquellos costos destinados al pago de sueldos y salarios, incluyen prestaciones y derechos que deben percibir los trabajadores de acuerdo con la ley.

Estos costos se dividen en: *directos*, trabajadores que se encuentran involucrados de manera directa en el proceso productivo; e *indirectos*, conformados por la planta administrativa.

Tabla 4.6 Resumen de Capital de Trabajo, Mano de Obra

PERSONAL	TURNOS/DÍA*	CANTIDAD	SALARIO UNITARIO	SALARIO MENSUAL Miles de \$ (x 10 ³)	SALARIO ANUAL
MANO DE OBRA				<u>72.71</u>	<u>872.50</u>
DIRECTA				<u>39.00</u>	
Supervisor de planta	1	1	5,000.00	5.00	
Operador de maquinaria	1	4	3,500.00	14.00	
Mecánico	1	1	4,000.00	4.00	
Ayudante en general	1	1	2,000.00	2.00	
Ayudante de mecánico	1	1	3,000.00	3.00	
Operadores de laboratorio	1	2	5,500.00	11.00	
SUMA	6	10			
SUBTOTAL				39.00	
2% sobre nómina				0.78	
2.5 %IMSS				0.98	
5% INFONAVIT				1.95	
Total (incluye impuestos, IMSS, Infonavit)			-	<u>42.71</u>	<u>512.460</u>

MANO DE OBRA				
INDIRECTA			-	27.40
Jefe administrativo	1	2	8,000.00	16.00
Secretaria	1	2	3,700.00	7.40
Vigilante	2	1	2,000.00	4.00
SUMA	4	5	-	-
SUBTOTAL				27.40
2% sobre nómina				0.55
2.5 IMSS				0.69
5% INFONAVIT				1.37
Total (incluye impuestos, IMSS, Infonavit)			-	30.00
				<u>360.04</u>

Fuente: Salarios obtenidos de la Comisión Nacional de Salarios Mínimos CONASAMI, Elaboración propia.*
Turno completo (8hrs).

- Insumos: Se refieren a aquellos materiales necesarios para hacer funcionar la maquinaria; combustible, energía eléctrica, consumo de agua, teléfono y otros productos para el caso de oficinas.
- Materias primas: Se refiere a las materias utilizadas para su transformación y a las cuales se les va a agregar un valor mediante los insumos.

Tabla 4.7 Resumen de Capital de Trabajo: Insumos, Materias primas y Otros

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD (anual)	PRECIO UNITARIO (\$)	TOTAL Miles de \$ anuales (x 10 ³)
INSUMOS	-			3,709.08
Combustible				145.08
Minicargador frontal	LT (diesel)	7,872.00	8.56	67.38
Montacargas	GASOLINA	7,872.00	9.87	77.70
Energía eléctrica				1,379.49
Báscula de pesaje electrónica (40 ton)	Kwh	129.60	2.58	0.33
Trituradora de cuchillas (3 ton.)	Kwh	38,400	2.58	99.15
Banda transportadora	Kwh	57,600.00	2.58	148.72
Hidropulper	Kwh	249,600	2.58	644.47
Filtro de cinta horizontal	Kwh	1,920	2.58	4.96
Prensa térmica	Kwh	186,624.00	2.58	481.86

Teléfono	LOTE	1.00	60,000.00	<u>60.00</u>
Consumo de agua	LT	16,900.00	125.00	<u>2,112.50</u>
Papelería y artículos de limpieza	LOTE	1.00	12,000.00	<u>12.00</u>
				-
<u>MATERIAS PRIMAS</u>				<u>2,441.49</u>
Envase de tetrapak	TON	6,103.72	400.00	2,441.49
<u>OTROS</u>				<u>339.00</u>
Uniformes M.O.		20	150.00	3.00
Capacitación		15	15,000.00	225.00
Mantenimiento de instalaciones		1	2,500.00	30.00
Seguro de vida		15	450.00	81.00

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.4 Resumen de Inversiones

La tabla 4.9 muestra que el total de las inversiones es de 15, 496, 930.00, correspondientes a la suma de las inversiones fijas, inversiones diferidas y capital de trabajo; también se puede apreciar que las inversiones más significativas son las referentes al capital de trabajo, esto es porque la cantidad de insumos es muy alta debido al consumo de agua en el proyecto.

Tabla 4.9 Resumen de inversiones totales

CONCEPTO	IMPORTE miles de \$ (x 10 ³)
<u>INVERSIONES TOTALES</u>	<u>15,496.93</u>
<u>INVERSIONES FIJAS</u>	<u>7,821.99</u>
Terreno	840.00
Obra civil	879.08
Maquinaria y equipo	5,354.22
Equipo de oficina	748.69
<u>INVERSIONES DIFERIDAS</u>	<u>312.88</u>
Licencias y permisos	195.55
Imprevistos	117.33

CAPITAL DE TRABAJO	7,362.06
M.O. Directa	512.46
M.O. Indirecta	360.04
Insumos	3,709.08
Materia prima	2,441.49
Otros	339.00

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.5 Calendario de Inversiones

El calendario de inversiones ayuda a observar cuando se tienen que realizar las inversiones de cada uno de los conceptos tratados (ver tabla 4.10);

Para la obra civil, las inversiones se harán a partir del mes uno al mes tres del año cero, cuyos porcentajes son, para el mes uno del 40%, para el mes dos y tres del 30% respectivamente.

Por último para maquinaria y equipo, equipo de oficina, las inversiones se realizarán a partir del mes tres del año cero.

Tabla 4.10 Calendario de inversiones en miles de pesos.

	VIDA ÚTIL	CANT.	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	TOTAL AÑO 1
INVERSIONES TOTALES			1,191.63	263.72	6,366.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	119,428.91
TERRENO	-	-	840.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90,000.00
OBRA CIVIL		M²	351.63	263.72	263.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	880.08
															1.00
Caseta de vigilancia	20	4.00	1.92	1.44	1.44										4.80
Oficinas	20	130.00	78.00	58.50	58.50										195.00
Área de descarga	20	100.00	30.00	22.50	22.50										75.00
Almacenamiento Materia prima	20	100.00	25.10	18.82	18.82										62.75
Almacenamiento producto final	20	75.00	18.82	14.12	14.12										47.06
Área de maquinaria	20	450.00	112.94	84.71	84.71										282.35
Laboratorio	20	50.00	40.00	30.00	30.00										100.00
Estacionamiento	20	75.00	19.50	14.63	14.63										48.75
Áreas verdes	20	45.00	10.35	7.76	7.76										25.88
Taller de mantenimiento	20	50.00	15.00	11.25	11.25										37.50
MAQUINARIA Y EQUIPO		PZA	0.00	0.00	5,354.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27,800.13
Báscula de pesaje electrónica (40 ton)	10	1			292.47										292.47
Minicargador frontal	10	1			577.29										577.29
Montacargas	10	1			439.57										439.57
Banda transportadora (4)	5	4			465.94										465.94
Trituradora de cuchillas (3 ton.)	10	1			1,950.00										1,950.00
Hidropulper	10	1			351.25										351.25
Filtro de cinta horizontal	5	1			808.38										808.38
Prensa térmica	10	1			469.34										469.34

EQUIPO DE OFICINA		PZA	0.00	0.00	748.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	748.69
Equipo de cómputo de escritorio	5	3			41.57										41.57
Equipo de impresión y fotocopiado	5	1			10.13										10.13
Radios de comunicación interna	5	4			14.92										14.92
Mobiliario equipo para oficina	5	4			639.45										639.45
Mobiliario y equipo servicios médicos	10	1			42.63										42.63

Fuente: Elaboración propia

Continuación de tabla 4.10 Calendario de inversiones

AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	TOTAL
0.00	0.00	0.00	0.00	1,980.37	0.00	0.00	0.00	0.00	98,963.36
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<u>90,000.00</u>
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	880.08
									1.00
									4.80
									195.00
									75.00
									62.75
									47.06
									282.35
									100.00
									48.75
									25.88
									37.50
0.00	0.00	0.00	0.00	1,274.31	0.00	0.00	0.00	0.00	<u>6,628.53</u>
									292.47
									577.29
									439.57
				465.94					931.87
									1,950.00
									351.25
				808.38					1,616.75
									469.34
0.00	0.00	0.00	0.00	706.06	0.00	0.00	0.00	0.00	<u>1,454.75</u>
				41.57					83.13
				10.13					20.25
				14.92					29.84
				639.45					1,278.90
									42.63

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.6 Depreciaciones y amortizaciones

Las depreciaciones se aplican a las inversiones fijas, ya que con el uso de estos bienes valen menos (Baca, 2001), es decir, son aquellos costos de cada concepto tangible que tiene un desgaste por el uso diario en el proceso productivo, como son maquinaria y equipo, y equipo de oficina.

De acuerdo con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) cada concepto tiene un desgaste estandarizado utilizado para todo tipo de proyecto de inversión, ver Tabla 4.11.

Como se puede observar, el costo o la cantidad de las depreciaciones son de \$828,240.00, de los cuales los equipos de transporte son los que más costos genera.

Tabla 4.11 Depreciaciones

CONCEPTO	VALOR	VIDA ÚTIL* (AÑOS)	%	TOTAL miles de \$ (x 10 ³)
DEPRECIACIONES				828.24
				-
MAQUINARIA Y EQUIPO				662.85
Báscula de pesaje electrónica (40 ton)	292.47	10	10%	29.2465
Minicargador frontal	577.29	10	10%	57.72885
Montacargas	439.57	10	10%	43.95675
Banda transportadora (4)	465.94	5	20%	93.1872
Trituradora de cuchillas (3 ton.)	1,950.00	10	10%	195
Hidropulper	351.25	10	10%	35.125
Filtro de cinta horizontal	808.38	5	20%	161.675
Prensa térmica	469.34	10	10%	46.9336
EQUIPO DE OFICINA				149.74
Equipo de cómputo de escritorio	41.57	5	20%	8.313
Equipo de impresión y fotocopiado	10.13	5	20%	2.025
Radios de comunicación interna	14.92	5	20%	2.984
Mobiliario equipo para oficina	639.45	5	20%	127.8904
Mobiliario y equipo servicios médicos	42.63	5	20%	8.526

* Estipulado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público SHCP, Fuente: Elaboración propia.

Las amortizaciones sólo se aplican a las inversiones diferidas o intangibles; la tabla 4.12 muestra el cálculo de las amortizaciones considerando un 2% sobre las inversiones diferidas para el caso de licencias y permisos, y el 10% para el caso de la amortización de los imprevistos.

Tabla 4.12 Amortizaciones

CONCEPTO	VALOR	VIDA ÚTIL* (AÑOS)	%	TOTAL miles de \$ (x 10 ³)
AMORTIZACIONES				
Licencias y permisos	195.55	0	2%	3.91099563
Imprevistos	117.33	0	10%	11.7329869
				15.64

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.7 Presupuesto de Ingresos - Egresos

Permite determinar si el proyecto obtendrá un saldo positivo o negativo, es decir, si el proyecto arrojará ganancias o pérdidas.

Los ingresos son aquellos conformados por la cantidad de materiales recuperados después de su proceso y por su precio de venta. Por otro lado, los egresos están conformados por aquellos gastos que se involucran de manera directa en la producción, es decir, insumos, materia prima y mano de obra, ver Tabla 4.13.

Tabla 4.13 Presupuesto de Ingresos – Egresos.

Concepto	Año 1 *	Año 2 *	Año 3 *	Año 4 *	Año 5 *
Ingresos	15,444.51	15,659.20	15,872.47	16,083.96	16,293.36
Egresos	6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02
Saldo	8,853.49	9,068.18	9,281.45	9,492.93	9,702.34
	Año 6 *	Año 7 *	Año 8 *	Año 9 *	Año 10 *
	16,500.46	16,705.17	16,907.45	17,106.87	17,303.02
	6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02
	9,909.44	10,114.14	10,316.43	10,515.84	10,711.99

Fuente: Elaboración Propia, *Estos valores están expresados en miles de pesos.

4.4.1.8 Gastos Financieros

Los gastos financieros nos permiten ver la amortización de la deuda que se contraerá para financiar el proyecto. La institución crediticia que brinda apoyos financieros tanto a proyectos Estatales como Privados es BANOBRAS, quien da créditos de hasta el 40% sobre las inversiones totales y cobra una tasa de interés del 13% anual. Por ello, en el siguiente cuadro se muestran los pagos que deben realizarse anualmente contabilizando el monto inicial más el cobro de los intereses, los cuales aparecen en el rubro de intereses o carga financiera anual.

Tabla 4. 14Gastos financieros.

CONCEPTO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	TOTAL
Inversiones totales	15,496.93											
Crédito BANCARIO	6,198.77	619.88	619.88	619.88	619.88	619.88	619.88	619.88	619.88	619.88	619.88	
Tasa de interés anual	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	
Monto + interés a pagar anual		80.58	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58	805.84
Intereses o carga financiera anual		700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	7,004.61

Fuente: Elaboración Propia

4.4.1.9 Flujo de Efectivo

El flujo neto de efectivo son las ganancias absolutas que se obtendrán por el proyecto, se contemplan el saldo de los ingresos y egresos cuyo resultado son las utilidades brutas, posteriormente se restan los gastos administrativos, que corresponden a los gastos de capital de trabajo involucrados directamente con el proceso de producción. A estos gastos se restan las depreciaciones y amortizaciones para tener como resultado las utilidades antes de impuestos.

A estas utilidades se descuentan los impuestos de Impuesto Sobre la Renta (ISR) que es del 30% y el Participación de los Trabajadores en las Utilidades. (PTU) que son los repartos de utilidades. Como resultado se obtiene la utilidad neta. Finalmente, para obtener el flujo neto de efectivo (FNE) se suman de nuevo las depreciaciones y amortizaciones. Este cuadro da como resultado final el flujo

neto de efectivo, que como se observa es positivo en todos los periodos, que aunque representan una cantidad menor que las utilidades netas, sigue siendo positivas las cifras, esto sigue mostrando que es conveniente invertir en este proyecto.

Tabla 4. 15Flujo Neto de Efectivo

CONCEPTO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión Inicial	15,496.93										
Ingresos por ventas		15,444.51	15,659.20	15,872.47	16,083.96	16,293.36	16,500.46	16,705.17	16,907.45	17,106.87	17,303.02
Egresos		6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02	6,591.02
Utilidad Bruta		8,853.49	9,068.18	9,281.45	9,492.93	9,702.34	9,909.44	10,114.14	10,316.43	10,515.84	10,711.99
Gastos administrativos		360.04	360.04	360.04	360.04	360.04	360.04	360.04	360.04	360.04	360.04
Utilidad de operación		8,493.45	8,708.14	8,921.41	9,132.90	9,342.30	9,549.40	9,754.11	9,956.39	10,155.81	10,351.96
Gastos financieros		700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	700.46	700.46
Amortización		15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64
Depreciación		828.24	828.24	828.24	828.24	828.24	828.24	828.24	828.24	828.24	828.24
Utilidades antes de impuestos		6,949.11	7,163.80	7,377.07	7,588.56	7,797.96	8,005.06	8,209.77	8,412.05	8,611.47	8,807.62
ISR (30%)		2,084.73	2,149.14	2,213.12	2,276.57	2,339.39	2,401.52	2,462.93	2,523.62	2,583.44	2,642.29
PTU (10%)		694.91	716.38	737.71	758.86	779.80	800.51	820.98	841.21	861.15	880.76
Utilidad neta		4,169.47	4,298.28	4,426.24	4,553.13	4,678.78	4,803.04	4,925.86	5,047.23	5,166.88	5,284.57
Depreciación		828.24	828.24	828.24	828.24	828.24	828.24	828.24	828.24	828.24	828.24
Amortización		15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64
Flujo Neto de Efectivo		5,013.35	5,142.16	5,270.12	5,397.01	5,522.66	5,646.91	5,769.74	5,891.11	6,010.76	6,128.45

Fuente: Elaboración Propia

4.4.1.10 Valor Actual Neto

El Valor Actual Neto (VAR) es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La siguiente función muestra el valor de las inversiones iniciales al finalizar el periodo contable del proyecto, el cual se estimó fuera de 10 años, Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = \frac{(\sum \text{Flujos netos de efectivo})}{\text{Inversión inicial}}$$

$$VAN = \frac{75,792.27}{15,496.93} = 0.3318$$

El resultado que se obtiene de esta fórmula, refleja de manera provisional que las ganancias de poner en marcha este proyecto serán de 0.3318, pero aunque las ganancias son mínimas, el saldo es positivo, lo que refleja que no tendrá pérdidas.

4.4.1.11 Factor de Actualización

El factor de actualización nos muestra el valor del dinero que estamos invirtiendo actualmente, en comparación con el valor de estos mismos intereses tendrá en el futuro, es decir, cuanto valdrán las inversiones que se realizaron actualmente en el proyecto en el año 10 del proyecto en estudio.

La fórmula para calcular el factor de actualización es:

$$FA = \left(\frac{1}{1+i} \right)^n$$

Dónde:

i = tasa de interés (13% anual).

n = periodo de duración del proyecto (10).

Por lo que se obtiene el siguiente resultado:

$$FA = \left(\frac{1}{1+0.13} \right)^{10} = 0.295$$

Para poder calcular la Tasa Interna de Retorno se tiene que calcular los factores de actualización, uno que sea positivo y otro con saldo negativo. Este factor se obtiene con una ponderación de porcentajes basados en la segunda fórmula.

En este modelo los factores de actualización o los valores actuales netos tanto positivos como negativos y las tasas de interés son los siguientes:

$$VAN1 = 7,215.29$$

$$VAN2 = -30,470.23$$

$$i_1 = 20 \%$$

$$i_2 = 30 \%$$

4.4.1.12 Tasa Interna de Retorno

Con estos resultados se obtiene la Tasa Interna de Retorno, con la cual podemos medir la rentabilidad del proyecto, es decir, podemos saber cuál es el porcentaje de las ganancias que se obtendrán a lo largo de los 10 años de vida útil del proyecto. Este porcentaje se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{TIR} = i_1 + (i_2 - i_1) \left(\frac{\text{VAN}_1}{\text{VAN}_1 + \text{VAN}_2} \right)$$
$$\text{TIR} = 0.2 + (0.3 - 0.2) \left(\frac{7215.29}{7215.29 + (-30470.23)} \right) = 0.1690$$

Este resultado significa que el proyecto tendrá un beneficio o ganancias de 16%, este indicador aunque es positivo y no presenta pérdidas, tiene un nivel muy bajo de rendimientos si es comparado con otros indicadores económicos como son los intereses que generan los cetes que es del 18% de ganancias, por lo que, para un inversionista le conviene más invertir sus recursos en la bolsa de valores que en este proyecto.

4.4.1.13 Periodo de recuperación

Este indicador nos muestra el tiempo en que se recuperan las inversiones iniciales basándose en la siguiente fórmula:

Este resultado nos indica que en 9 años, redondeando el resultado, se recuperarán las inversiones totales iniciales.

$$\text{PRI} = N - 1 + \left[\frac{\text{FA}_{n-1}}{n} \right] = 8.96$$

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

- Se recopilaron los datos existentes de generación de RSU en las delegaciones Coyoacán y Xochimilco, los cuales sirvieron de base para la elaboración de este proyecto.
- Se analizaron las tecnologías existentes para la recuperación de celulosa, aluminio y polietileno, siendo estas, hidropulpado, plasma y prensa en caliente que se aplican a nivel internacional, obteniendo que la tecnología factible a utilizar es la de hidropulpado para la recuperación de celulosa y prensa en caliente para el aluminio y polietileno.
- De acuerdo a las tecnologías factibles seleccionadas, se realizó una propuesta de ante proyecto de una planta recicladora de envases multicapas, la cual permitirá recuperar 3 ton/día de celulosa, polietileno y aluminio, con una proyección de 10 años.
- Se llevó a cabo un análisis económico de la propuesta del anteproyecto, teniendo como resultado que se tendrían ganancias del 0.68%, muy bajas pero no representando pérdidas, así como también la recuperación de las inversiones totales iniciales sería en 9 años.
- Con la recuperación de celulosa, aluminio y polietileno, se obtiene un beneficio ambiental, ya que por cada tonelada de reciclaje de envases multicapas se ahorran 3000 KW de energía eléctrica, 100 000 litros de agua, 221 kg de combustible, 1500 kg de madera y disminución de residuos para disposición final.
- En comparación con las plantas recicladoras de envases multicapas ubicadas en Veracruz y Toluca, se tiene que en ésta propuesta se recupera el aluminio y polietileno para su posterior reciclaje, situación que no se presenta en las plantas mencionadas anteriormente, lo que lleva a la disminución de residuos dispuestos en los rellenos sanitarios.

RECOMENDACIONES

- El presente proyecto se realizó con datos de las delegaciones Coyoacán y Xochimilco, los cuales en la composición de envases multicapas, estos son residuos que están contaminados por residuos orgánicos, por lo cual se recomienda crear un plan de manejo, el cual permita que se recolecten los envases multicapas limpios, sin exceso de materia orgánica.
- Se recomienda realizar el estudio de factibilidad de construcción de este anteproyecto, considerando el total de los residuos de envases multicapas de todas las delegaciones del Distrito Federal, así como también buscar que el proyecto sea patrocinado por una dependencia gubernamental.

BIBLIOGRAFÍA

CEMPRE, 2010 “Ficha Técnica Envases Vida Larga”. Disponible en: <http://www.cempre.org.co/Documentos/Envases%20Larga%20Vida.pdf> [Citado el 3 de mayo, 2010].

Orta, Ledesma María Teresa et al 2009. Estudio para Actualizar la Composición y Generación de los Residuos Sólidos Urbanos en el Distrito Federal” México D.F. Instituto de Ingeniería UNAM.

REPAK

LGPGIR, 2003 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Jiménez, Cisneros Blanca E. 2001. “La Contaminación Ambiental en México. Causas, Efectos y Tecnología Apropriada” 1era Edición, Ed. LIMUSA 2001.

Tchobanoglous, George 1994. “Gestión Integral de Residuos Sólidos, Volumen I. McGraw-Hill

Tchobanoglous, George 1994. “Gestión Integral de Residuos Sólidos, Volumen II. McGraw-Hill

Tetrapak.cl, 2009 “Capas de los envases de Tetrapak” Disponible en: http://www.tetrapak.com/cl/environment/capas_envases/pages/default.aspx [Citado en Noviembre de 2009].

SOS, Secretaría de Obras y Servicios 2004. Manejo de Residuos Sólidos en el Distrito Federal. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/11/01clave.pdf> [Citado en Octubre de 2009].

DGSU, Dirección General de Servicios Urbanos, 2009. Recolección, Transferencia, Separación y Disposición Final. Disponible en: http://www.obras.df.gob.mx/servicios_urbanos/html [Citado en Octubre de 2009].

LGEEPA, 2007. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Ley Ambiental del Distrito Federal, 2000

Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal.

NOM-AA-061-1985. Determinación de la Generación.

NOM-AA-015-1985. Muestreo-Método de Cuarteo.

NOM-AA-022-1985. Selección y Cuantificación de Subproductos.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA:

Castro Tato, M. 1998. Evaluación de Proyectos Industriales. La Habana Universidad. VRACE.

Armando Deffis Caso, 1989. La Basura es la Solución. Editorial Concepto S.A. Primera Edición.

OACA, 1992. Manual de Tecnología apropiada para el Manejo de Residuos Sólidos.

Duffus Miranda, D. Aspectos a Considerar en un Análisis de Factibilidad. Gestipolis.

Domínguez Cruz, Emilio 2004. Acciones para Mejorar el Manejo Integral de Residuos Sólidos Municipales de la Ciudad de México (Tesis).

Saldivar Ríos, Ricardo 2004. Análisis Técnico para la Localización de Incineradores en Estaciones de Transferencia de la Ciudad de México. (Tesis)

Medina González, Aida y Galindo Valencia Oscar Mauricio, 2007. Estaciones de Transferencia y Disposición de Residuos Sólidos en el D.F. (Tesis)

L. Maldonado, 2006. Reducción y Reciclaje de Residuos Sólidos Urbanos en Centros de Educación Superior: Estudio de Caso.

Secretaría de Ecología Dirección General de Normatividad y Apoyo Técnico, 1999. Análisis del Mercado de los Residuos Sólidos Municipales Reciclables y evaluación Potencial de Desarrollo en Línea. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd53/analisis/indice.pdf>.

Armijo de Vega, C., Ojeda Benítez, S., Ramírez Barreto, E., Quintanilla-Montoya, A., 2006. Potencial de Reciclaje de los Residuos Sólidos de una Institución de Educación Superior: El caso de la Universidad Autónoma de Baja California. Disponible en: <http://www.ingenieria.uady.mx/revista/volumen10/potencial.pdf>.

Ing. Pescuma Augusto. Escenarios para un programa de reciclaje de Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de Buenos Aires. Disponible en: <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Reciclaje%20RSU%20V%20Final.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A.

A.1 Cálculo de la Generación Per Cápita de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en el Distrito Federal.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía reporta la generación diaria per cápita por zona geográfica, Centro, Norte, Sur, Frontera Norte y Distrito Federal del año 1998 al 2006; los datos del Distrito Federal se reportan separados debido a sus características particulares de concentración de población y a su gran generación de RSU. Tabla A.1

Tabla A.1 Generación Per Cápita de RSU por Zona Geográfica.

Zona	Generación per cápita diaria								
	(Kilogramos por habitante por día)								
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Centro	0.838	0.826	0.83	0.841	0.849	0.857	0.869	0.882	0.892
Distrito Federal	1.266	1.273	1.387	1.383	1.398	1.386	1.4	1.414	1.429
Norte	0.733	0.719	0.873	0.889	0.897	0.913	0.922	0.774	0.783
Sur	0.645	0.631	0.657	0.665	0.672	0.677	0.684	0.697	0.706
Frontera norte	1.36	1.354	0.83	0.836	0.844	0.847	0.855	1.048	1.058

Fuente: INEGI, 2009

Es importante mencionar que la fuente reporta que para los cálculos de generación para el año 2004, se realizaron con las proyecciones CONAPO, que resultaron ser ligeramente superiores a datos de población que se manejaron de SEDESOL; por lo cual se podrá observar que existe un ligero incremento más allá de las tendencias que se observan del año 2000 al 2003. (INEGI, 2009)

Por lo tanto para la realización de la proyección de generación per cápita de RSU de Distrito Federal (D.F.) a 20 años se realizaron los siguientes cálculos:

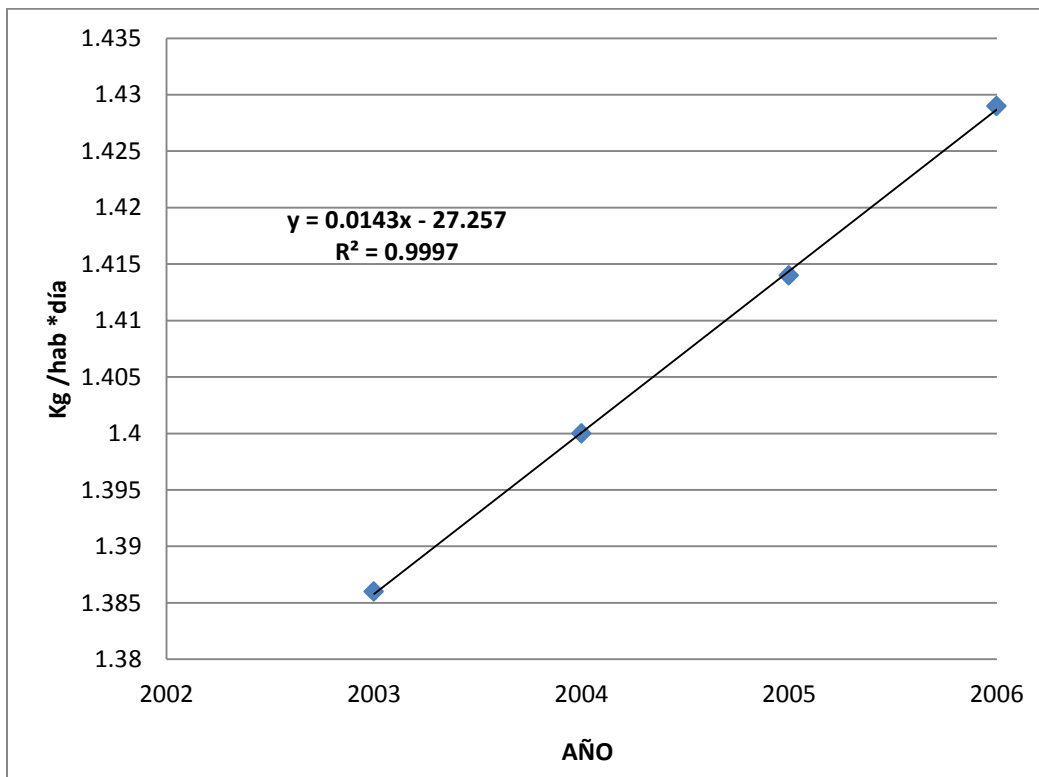
1. De acuerdo a los datos reportados en INEGI, se tomaron los últimos 4 datos del año 2003 al 2006, ver tabla A.2 y se realizó una regresión lineal, ya que los datos se ajustan a un modelo lineal, ver Figura A.1

Tabla A.2 Generación Per Cápita de RSU del D.F.

AÑO	Generación Per Cápita kg/hab*día
2003	1.386
2004	1.4
2005	1.414
2006	1.429

Fuente: INEGI, 2009

Figura A.1 Comportamiento Generación Per Cápita de RSU del D.F.



Fuente: Elaboración propia

2. Con el modelo obtenido se calculó la generación per cápita de RSU en el D.F en 20 años.

Modelo:

$$y = 0.0143x - 27.257$$

Dónde:

y = Generación per cápita diaria; x = año

Tabla A.3 Proyección generación per cápita de RSU en D.F.

AÑO	Generación Per Cápita kg/hab*día
2003	1.386
2004	1.4
2005	1.414
2006	1.429
2007	1.4431
2008	1.4574
2009	1.4717
2010	1.486
2011	1.5003
2012	1.5146
2013	1.5289
2014	1.5432
2015	1.5575
2016	1.5718

AÑO	Generación Per Cápita kg/hab*día
2017	1.5861
2018	1.6004
2019	1.6147
2020	1.629
2021	1.6433
2022	1.6576
2023	1.6719
2024	1.6862
2025	1.7005
2026	1.7148
2027	1.7291
2028	1.7434
2029	1.7577
2030	1.772

Fuente: Elaboración Propia

A.2 Datos de Población de las Delegaciones Coyoacán y Xochimilco de Proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

Tabla A.4 Proyecciones población CONAPO para D.F, 2005-2030.

AÑO	Entidad federativa o Municipio		
	Distrito Federal	Coyoacán	Xochimilco
2005	8 815 319	636 650	404 698
2006	8 822 349	633 200	410 234
2007	8 829 423	630 004	416 012
2008	8 836 045	626 835	421 733
2009	8 841 916	623 672	427 383
2010	8 846 752	620 493	432 946
2011	8 850 343	617 286	438 410
2012	8 852 475	614 035	443 762
2013	8 853 026	610 732	448 992
2014	8 851 876	607 371	454 093
2015	8 848 995	603 949	459 060
2016	8 844 430	600 470	463 891
2017	8 838 221	596 939	468 586
2018	8 830 217	593 345	473 134
2019	8 820 282	589 680	477 526
2020	8 808 410	585 944	481 757
2021	8 794 611	582 138	485 826
2022	8 778 789	578 259	489 723
2023	8 760 862	574 299	493 440
2024	8 740 787	570 259	496 973
2025	8 718 532	566 135	500 317
2026	8 694 084	561 929	503 466
2027	8 667 497	557 644	506 422
2028	8 638 795	553 282	509 183
2029	8 607 989	548 846	511 745
2030	8 575 089	544 336	514 109

Fuente: Proyecciones CONAPO, 2009

A.3 Generación de Envases Multicapas de las Estaciones de Transferencia Coyoacán y Xochimilco.

Considerando la generación per cápita de los RSU, los datos de población de las delegaciones Coyoacán y Xochimilco, y el porcentaje presente de envases multicapas en la composición de los RSU, se realizó el cálculo de la generación de envases multicapas (E.M) en 20 años, (ver Tabla A5); para obtener este dato se realizó el producto de las tres variables anteriormente mencionadas para cada año, y por cada una de las delegaciones Coyoacán y Xochimilco, (ver ecuación A2).

Generación E.M = Población * Generación Per Cápita * % E.M... Ecuación A2

$$\frac{kg}{día} = hab * \frac{kg}{hab * día} * \% E.M$$

Tabla A.5 Cálculo de generación de envases multicapas de E.T.

AÑO	Población Hab.		Generación per-cápita	Generación Coyoacán	Generación Xochimilco
	Coyoacán	Xochimilco	kg/hab*día	kg/día	kg/día
2009	623 672	427 383	1.4717	917858.08	628979.56
2010	620 493	432 946	1.486	922052.60	643357.76
2011	617 286	438 410	1.5003	926114.19	657746.52
2012	614 035	443 762	1.5146	930017.41	672121.93
2013	610 732	448 992	1.5289	933748.15	686463.87
2014	607 371	454 093	1.5432	937294.93	700756.32
2015	603 949	459 060	1.5575	940650.57	714985.95
2016	600 470	463 891	1.5718	943818.75	729143.87
2017	596 939	468 586	1.5861	946804.95	743224.25
2018	593 345	473 134	1.6004	949589.34	757203.65
2019	589 680	477 526	1.6147	952156.30	771061.23
2020	585 944	481 757	1.629	954502.78	784782.15
2021	582 138	485 826	1.6433	956627.38	798357.87
2022	578 259	489 723	1.6576	958522.12	811764.84
2023	574 299	493 440	1.6719	960170.50	824982.34
2024	570 259	496 973	1.6862	961570.73	837995.87
2025	566 135	500 317	1.7005	962712.57	850789.06
2026	561 929	503 466	1.7148	963595.85	863343.50
2027	557 644	506 422	1.7291	964222.24	875654.28
2028	553 282	509 183	1.7434	964591.84	887709.64
2029	548 846	511 745	1.7577	964706.61	899494.19
2030	544 336	514 109	1.772	964563.39	911001.15

Fuente: Elaboración Propia

En las columnas 5 y 6 de la tabla A5 se muestran los resultados de la generación de RSU en las Delegaciones Coyoacán y Xochimilco, respectivamente.

Continuación...

AÑO	Coyoacán	Xochimilco	TOTAL E.T Coyoacán +Xochimilco		
	2.55%	4.10%	kg/día	Ton/día	Ton/mes
2009	23405.38	25788.16	49193.54	49.194	1475.81
2010	23512.34	26377.67	49890.01	49.890	1496.70
2011	23615.91	26967.61	50583.52	50.584	1517.51
2012	23715.44	27557.00	51272.44	51.272	1538.17
2013	23810.58	28145.02	51955.60	51.956	1558.67
2014	23901.02	28731.01	52632.03	52.632	1578.96
2015	23986.59	29314.42	53301.01	53.301	1599.03
2016	24067.38	29894.90	53962.28	53.962	1618.87
2017	24143.53	30472.19	54615.72	54.616	1638.47
2018	24214.53	31045.35	55259.88	55.260	1657.80
2019	24279.99	31613.51	55893.50	55.893	1676.80
2020	24339.82	32176.07	56515.89	56.516	1695.48
2021	24394.00	32732.67	57126.67	57.127	1713.80
2022	24442.31	33282.36	57724.67	57.725	1731.74
2023	24484.35	33824.28	58308.62	58.309	1749.26
2024	24520.05	34357.83	58877.88	58.878	1766.34
2025	24549.17	34882.35	59431.52	59.432	1782.95
2026	24571.69	35397.08	59968.78	59.969	1799.06
2027	24587.67	35901.83	60489.49	60.489	1814.68
2028	24597.09	36396.10	60993.19	60.993	1829.80
2029	24600.02	36879.26	61479.28	61.479	1844.38
2030	24596.37	37351.05	61947.41	61.947	1858.42

Fuente: Elaboración Propia

En esta parte de la continuación de la tabla A5 se muestran los resultados de la generación de envases multicapas de la E.T. Coyoacán y Xochimilco, los resultados también son representados en ton/día y ton/mes.

A.4 Recuperación de Envases Multicapas de las Estaciones de Transferencia Coyoacán y Xochimilco.

De acuerdo con fuentes bibliográficas se tiene que el factor de recuperación, que es la fracción media del material recuperado para materiales como cartón separados en origen es de 30% (Tchobanoglous, 1994), por lo tanto para este trabajo se tomará como referencia este dato para determinar la cantidad de envases multicapas que se recuperarán de las estaciones de transferencia para su posterior reciclaje (ver tabla A6).

Tabla A.6 Recuperación de envases multicapas de E.T.

AÑO	E.T. Coyoacán y Xochimilco	Recuperación 30%	
	Ton/año	Ton/año	Ton/día
2009	17709.676	5312.903	14.556
2010	17960.403	5388.121	14.762
2011	18210.067	5463.020	14.967
2012	18458.079	5537.424	15.171
2013	18704.015	5611.204	15.373
2014	18947.531	5684.259	15.573
2015	19188.365	5756.509	15.771
2016	19426.420	5827.926	15.967
2017	19661.659	5898.498	16.160
2018	19893.556	5968.067	16.351
2019	20121.659	6036.498	16.538
2020	20345.720	6103.716	16.723
2021	20565.601	6169.680	16.903
2022	20780.882	6234.265	17.080
2023	20991.104	6297.331	17.253
2024	21196.038	6358.812	17.421
2025	21395.348	6418.604	17.585
2026	21588.760	6476.628	17.744
2027	21776.217	6532.865	17.898
2028	21957.547	6587.264	18.047
2029	22132.541	6639.762	18.191
2030	22301.069	6690.321	18.330

Fuente: Elaboración propia

ANEXO B.

B.1 Producción Anual de Pulpa de Celulosa, Polietileno-Aluminio

De acuerdo a que el proceso productivo tendrá una eficiencia del 80% se tiene que la obtención de celulosa, aluminio-polietileno, es la siguiente.

Tabla B.7 Producción Anual: Celulosa, Polietileno-Aluminio, 100% y 80% eficiencia

Año	GENERACIÓN (ton.)	RECUPERACIÓN CELULOSA 100% ton.	RECUPERACIÓN POLIETILENO-ALUMINIO 100%, ton.
2010	5,388.12	3,588.49	1,799.63
2011	5,463.02	3,638.37	1,824.65
2012	5,537.42	3,687.92	1,849.50
2013	5,611.20	3,737.06	1,874.14
2014	5,684.26	3,785.72	1,898.54
2015	5,756.51	3,833.84	1,922.67
2016	5,827.93	3,881.40	1,946.53
2017	5,898.50	3,928.40	1,970.10
2018	5,968.07	3,974.73	1,993.33
2019	6,036.50	4,020.31	2,016.19
2020	6,103.72	4,065.07	2,038.64

AÑO	GENERACIÓN (ton.)	RECUPERACIÓN CELULOSA 80% ton.	RECUPERACIÓN POLIETILENO-ALUMINIO 80%, ton.
2010	5,388.12	2,870.79	1,439.71
2011	5,463.02	2,910.70	1,459.72
2012	5,537.42	2,950.34	1,479.60
2013	5,611.20	2,989.65	1,499.31
2014	5,684.26	3,028.57	1,518.83
2015	5,756.51	3,067.07	1,538.14
2016	5,827.93	3,105.12	1,557.22
2017	5,898.50	3,142.72	1,576.08
2018	5,968.07	3,179.79	1,594.67
2019	6,036.50	3,216.25	1,612.95
2020	6,103.72	3,252.06	1,630.91

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO C.

C.1 Cotizaciones de maquinaria y equipo

Tabla C.8 Cotizaciones de Maquinaria y Equipo

Maquinaria y equipo	Modelo y Marca	Costo *	Insumos
Báscula de pesaje electrónica.	REYCA BRS-C 940	\$ 292,465.00	Energía eléctrica
Minicargador frontal	CATERPILLAR 236B3	\$ 577,288.50	Combustible (diesel)
Montacargas	CATERPILLAR 2P5000	\$ 439,567.50	Combustible (gasolina)
Banda Transportadora (4)	BANDAS Y HULES	\$ 116, 484.00	Energía eléctrica
Triturador de Cuchillas	COMESA	\$1, 950, 000.00	Energía eléctrica
Hidropulper	ZDSD24-type 15m ³	\$ 351,250.00	Agua, energía eléctrica
Filtro de cinta horizontal	KWM Wastewater technology	\$ 808,375.00	Energía eléctrica
Prensa Térmica	MONTEQUIPO	\$469, 336.00	Energía eléctrica

*Costos convertidos a pesos mexicanos + IVA

ANEXO D.

D.1 Plano de planta

Figura D.2 Plano de Planta de Reciclaje de Envases Multicapas

