

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MECANIZACIÓN DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS
DESECHOS SÓLIDOS URBANOS DE LA CIUDAD DE
QUETZALTENANGO**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ PABLO ESCALANTE PASTOR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1999.



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado :

**MECANIZACIÓN DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS
DESECHOS SÓLIDOS URBANOS DE LA CIUDAD DE
QUETZALTENANGO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Industrial, con fecha 22 de enero de 1999.

José Pablo Escalante Pastor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1o.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
Vocal 2o.	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Vocal 3o.	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
Vocal 4o.	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
Vocal 5o.	Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA	Ing. Gila Marina Castellanos Baiza de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Cesar Urquizú
EXAMINADOR	Ing. José Valdeavellano
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

Guatemala, 10 de noviembre de 1999.

Ingeniero
José Francisco Gómez
Director
Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos De Guatemala

Estimado Ing. Gómez,

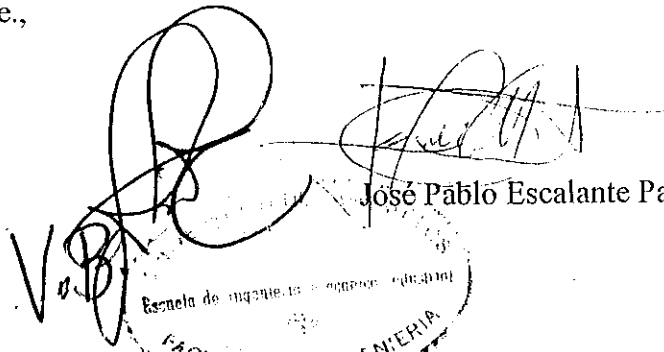
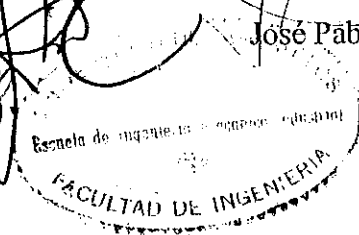
Reciba un saludo cordial y un sincero deseo de éxito en sus labores diarias al frente de la Escuela de Mecánica Industrial.

El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que como un prerequisite para poder pertenecer a la Organización Pantaleón-Concepción, en el programa de Trainee, el cual consiste en una extensa capacitación en todas las distintas áreas que componen la industria del Azúcar, se me ha solicitado estar graduado en un termino no mayor a un año.

Por razones por usted conocidas no he podido concretar esta meta por el momento, por lo cual solicito a usted: Se me autorice la revisión externa ortográfica de mi tesis de graduación que tiene como título: MECANIZACIÓN DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO.

Agradeciendo de antemano su afirmativa,

Atte.,


José Pablo Escalante Pastor.


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Catedrático Revisor de Tesis de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor de Tesis al trabajo de tesis titulado MECANIZACION DEL PROCESO DE SELECCION DE LOS DESECHOS SOLIDOS URBANOS DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, desarrollado por el estudiante universitario José Pablo Escalante Pastor, aprueba el presente trabajo y recomienda la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Edgar René Quevet Robles
Catedrático Revisor de Tesis
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL

Guatemala, noviembre de 1,999.

emds

GUATEMALA.

2 de Septiembre de 1.999.

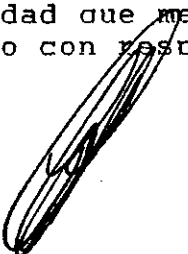
INGENIERO
FRANCISCO GOMEZ RIVERA
DIRECTOR DE ESCUELA DE
INGENIERIA MECANICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIA
USAC.

Ingeniero Gómez:

Atendiendo a la designación que dicha Escuela me hiciera en el sentido que asesorara al Br. JOSE PABLO ESCALANTE PASTOR, en su trabajo de Tesis MECANIZACION DEL PROCESO DE SELECCION DE LOS DESECHOS SOLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD DE OUEZALTENANGO.

En tal sentido me permito recomendar que se acepte su investigación para presentar en su examen general público previo a optar el título de INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL.

Le agradezco la oportunidad que me ha brindado para servir a nuestra Facultad y me suscribo con respeto y consideración.



CARLOS HUMBERTO PEREZ RODRIGUEZ
INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 3.071

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

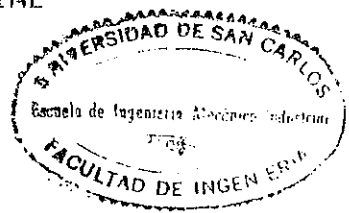


FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Revisor de Tesis y del Licenciado en Letras, al trabajo de tesis titulado MECANIZACION DEL PROCESO DE SELECCION DE LOS DESECHOS SOLIDOS URBANOS DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, desarrollado por el estudiante universitario José Pablo Escalante Pastor, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR
INGENIERIA MECANICA INDUSTRIAL



Guatemala, noviembre de 1999.

ends



FACULTAD DE INGENIERIA

DECANATO

Tels.: 4760790 al 94 - Ext. 348

Directo: 4769579 - Fax: 4760365

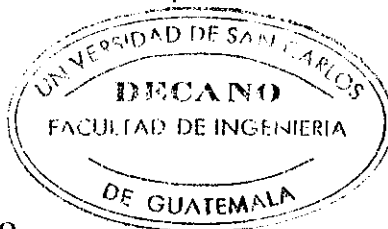
E-mail: hmiranda@usac.edu.gt

Ref. D-T-006-99

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial al trabajo de Tesis titulado: **Mecanización del Proceso de Selección de los Desechos Sólidos Urbanos de la Ciudad de Quetzaltenango**, presentado por el estudiante universitario **José Pablo Escalante Pastor**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRÍMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, Noviembre de 1999

/cdes

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	iii
LISTADO DE ABREVIATURAS	iv
GLOSARIO	v
INTRODUCCIÓN	xi
1. DESECHOS SÓLIDOS	1
1.1 Características generales	1
1.1.1 Propiedades	2
1.1.2 Producción per cápita	2
1.2 Procedimientos de recolección de desechos sólidos	3
1.2.1 Aspectos generales	3
1.3 Alternativas de disposición final de los desechos sólidos	5
1.3.1 Relleno sanitario	6
1.3.1.1 Biodigestores	10
1.3.2 Reciclaje	12
1.3.3 Otras formas	14
1.4 Reciclaje	20
1.4.1 Aspectos generales	20
1.4.2 Principales materiales recuperables en el proceso de reciclaje	21
2. SITUACIÓN ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS URBANOS EN LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO.	43
2.1 Características generales del municipio	43
2.2 Sistema de recolección y transporte actual de desechos	45
2.3 Disposición final actual de desechos sólidos	47

2.3.1 Compostaje	48
2.4 Leyes o reglamentos vigentes del tratamiento de los desechos sólidos urbanos en la ciudad de Quetzaltenango	53
3. PROPUESTA DE DISEÑO	55
3.1 Descripción general del proceso	56
3.1.1 Separación de metales ferrosos	59
3.1.1.1 Análisis	60
3.1.1.2 Diseño final	65
3.1.2 Separación de materiales de baja densidad (papel y plástico)	71
3.1.2.1 Análisis	73
3.1.2.2 Diseño final	94
3.2 Beneficio social y ambiental del proyecto	101
4. NORMA DE USO Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA DE CLASIFICACIÓN	105
4.1 Reglamentación del uso de la maquinaria	105
4.2 Equipo de protección personal	107
4.3 Mantenimiento	111
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	116
BIBLIOGRAFÍA	118
ANEXO	120

INDICE DE ILUSTRACIONES

No.	FIGURAS	Pág.
01	Biodigestor	10
02	Botadero a cielo abierto	14
03	Incinerador	14
04	Separador de materiales ferrosos (plano general)	68
05	Separador de materiales ferrosos (ejes)	69
06	Separador de materiales ferrosos (rodillos)	70
07	Separación de materiales de baja densidad	72
08	Separación de materiales de baja densidad (plano gral.)	98
09	Separación de materiales de baja densidad (estructura)	99
10	Separación de materiales de baja densidad (ejes)	100
II	Gráfica selección de cadena en base a la potencia de diseño	123

TABLAS

I	Factor de servicio manual Jeffrey chain	121
II	Rangos de potencia para cadena IS2570A y JS30IISTR	122

LISTADO DE ABREVIATURAS

Símbolo	Descripción
"	Pulgadas
'	Pie
°C	Grados centígrados
CDR	Combustible Derivado de Residuos
DSU	Desechos Sólidos Urbanos
H ₂ S	Ácido Sulfhídrico
Hp	Horse Power (Caballos de fuerza)
IRM	Instalación de Reciclaje Mecánica
Kg	Kilogramo
KW	Kilowatts
PCB	Disolvente Clorado
Psi	Pounds per square inch (Libras por pulgada cuadrada)
Rpm	Revoluciones por minuto
RSU	Residuos Sólidos Urbanos

GLOSARIO

Aguas servidas	Agua que fué utilizada en el servicio doméstico, comercial o industrial.
Anaeróbica	Proceso en el cual no es necesaria la presencia de aire.
Basura	Se considera de forma genérica a los residuos sólidos sean urbanos, industriales, etc.
Biodigestor	Es un tanque hermético donde ocurre la fermentación anaeróbica de los desechos.
Botadero	Método que comprende la eliminación de todos aquellos materiales no deseados o sin uso en lugares donde se acumulan, en espera de su descomposición o de una reutilización.
Centros de acopio	Centros en donde se reciben y acumulan desechos sólidos para procesarlos y recuperar materiales, susceptibles de reciclaje.
Compostaje	Reciclaje completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura
Clasificación de los residuos	Atendiendo al estado y al soporte en que se presentan, se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos. La referencia al soporte se debe a la existencia de numerosos residuos aparentemente de un tipo, pero que están integrados por varios, por lo que se determina que su estado es el que presenta el soporte principal del residuo.

Chatarra	Restos producidos durante la fabricación o consumo de un material o producto. Se aplica tanto a objetos usados, enteros o no, como a fragmentos resultantes de la fabricación de un producto. Se utiliza fundamentalmente para metales y también para vidrio.
Cremación	Proceso de incineración realizado de forma directa, sin el aprovechamiento de la energía liberada durante el proceso.
Densidad	Masa de una determinada sustancia por volumen.
Desagüe	Lugar por donde se evacuan las aguas servidas o de lluvia.
Descomposición	Degradación más o menos permanente de una sustancia a otra más sencilla
Desecho sólido	Todo aquello que no se puede o no es fácil de aprovechar, considerándose inservible o inútil.
Dioxinas	Sustancias altamente tóxicas, cancerígenas y mutagénicas. Se forman al quemar materia orgánica con compuestos clorados.
Escorrentía	Corrientes de agua formada por la lluvia, que forma pequeños afluentes a ríos, lagos y costas.
Esfuerzo	Fuerza que actúa transversalmente a una unidad de superficie en un material sólido, resistiendo la separación, compresión o deslizamiento que tiende a ser producido por fuerzas externas.
Fermentar	Proceso de descomposición, con y sin presencia de aire.

Flexión	Cualquier deformación de un cuerpo elástico en el que los puntos que originalmente se hallaban en línea recta, se desplazan para formar una curva plana
Incineración	Proceso de combustión de un material de modo que sólo resten las cenizas.
Lixiviados	Líquido de color negro, muy parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado, producido por la descomposición o putrefacción natural de la basura.
Materia inorgánica (Inerte)	Materia en la que en su transformación ha intervenido la mano del hombre. Vidrio, papel y cartón, tejidos, metales, plásticos maderas, gomas, cueros, loza, cerámica, tierras, escorias, cenizas y otros.
Materia orgánica	Materia cuyo origen es biológico.
Metano	Gas incoloro, inodoro e insípido, más ligero que el aire, componente principal del gas natural; se emplea como fuente de producción del metanol y acetileno.
Neurotóxicos	Agentes contaminantes que afectan el sistema nervioso, pueden causar daños en fetos y niños pequeños.
Peso específico	Peso por unidad de volumen de una substancia.
Reciclaje	Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente. La palabra <i>Reciclado</i> es un adjetivo, el estado final de un material que ha sufrido el proceso de reciclaje

Recolección	Método para retirar los desechos sólidos urbanos de su lugar de origen al de tratamiento.
Recuperación	Sustracción de un residuo a su abandono definitivo. Un residuo recuperado pierde en este proceso su carácter de "material destinado a su abandono", por lo que deja de ser un residuo propiamente dicho y mediante su nueva valoración adquiere el carácter de "materia prima secundaria".
Residuo	Todo material en estado sólido, líquido o gaseoso, ya sea aislado o mezclado con otros, resultante de un proceso de extracción de la naturaleza, transformación, fabricación o consumo, que su poseedor decide abandonar
Reutilizar	Volver a usar un producto o material varias veces sin tratamiento, equivalente a un reciclaje directo.
Relleno sanitario	Es un método de eliminación de residuos sólidos en tierra, a través del cual se disminuye los riesgos para la salud.
Saneamiento del medio	Nombre que se le da a los mecanismos que ayudan a mantener un ambiente sano, libre de agentes causantes de contaminación y enfermedades.
Separación	Seleccionar los materiales en cuanto a su utilidad.
Sprocket	Engranajes que transmiten movimiento de un eje al otro distantes entre sí, por medio de una cadena de rodillos.
Tratamiento	Conjunto de operaciones por las que se alteran las propiedades físicas o químicas de los residuos.

Torsión

Deformación por giro de un cuerpo sólido en relación a un eje en el que las líneas, que inicialmente eran paralelas al eje, pasan a ser hélices.

Vertederos

Lugar en donde se acumula los desechos sólidos urbanos e industriales indistintamente.

INTRODUCCIÓN

El medio ambiente puede dividirse en una serie de sistemas, pero éstos son todos sistemas abiertos y están entre sí en mutua interacción. En una escala global, los océanos y la atmósfera combinan sus movimientos para crear el clima. La estructura de los sistemas urbanos se determina por la interacción del empleo, la vivienda y el transporte. Los sistemas de suministro de agua se relacionan estrechamente con los de desecho de aguas residuales. Cada uno de ellos abarca las escalas que tiene debajo, pero al mismo tiempo es mucho más que la simple suma de sus partes.

El incremento poblacional, el tamaño de las regiones urbanas y los nuevos estilos de vida de las poblaciones, ocasionan desequilibrios latentes en el ambiente. Si bien, los problemas ambientales son tan antiguos como el hombre, lo nuevo reside en su escala, en su intensidad y en su complejidad y de ahí la urgencia de afrontar esos problemas en su propia dimensión.

Los desechos sólidos urbanos han sido y son, uno de los principales problemas ambientales que afrontan todas las poblaciones, debido a que no se vislumbra una posible reducción, sino, más bien, un incremento en la producción diaria y el no tener mecanismos factibles para poder eliminarlos, ha dado origen a una serie de posibles soluciones como lo son los rellenos sanitarios controlados, la incineración, el compostaje y el reciclaje entre otros.

Esta investigación aporta mejoras al proyecto de tratamiento de los desechos sólidos, el que actualmente se encuentran implementando las

autoridades municipales y la población de la ciudad de Quetzaltenango. El proyecto, consiste en un programa de recuperación de materiales susceptibles al reciclaje, la utilización de los desechos orgánicos en la elaboración del compost y del relleno sanitario controlado para aquellos materiales peligrosos o de difícil tratamiento.

La investigación, abarca aspectos teóricos acerca del tema del reciclaje, a su vez, el diseño de mecanismos que faciliten, agilicen, realicen de una manera más segura y mejoren la calidad de los productos que se obtienen de la recuperación de materiales de los desechos generados en la ciudad de Quetzaltenango. Estos mecanismos son: un separador de metales ferrosos y un separador de materiales de baja densidad.

La maquinaria está diseñada para tratar 40 toneladas de desechos sólidos por día, con un contenido del 70 % de desechos orgánicos.

Se brinda además, las normativas de uso y mantenimiento diario, semanal y mensual de la maquinaria, para obtener su mejor rendimiento. Y los lineamientos generales del equipo de protección personal de los operarios.

OBJETIVOS

GENERAL

- Desarrollar el diseño de un selector mecánico de desechos sólidos urbanos, para la recuperación de materiales reutilizables de la basura domiciliar, comercial e industrial, en la ciudad de Quetzaltenango.

ESPECIFICOS

- Aportar una solución práctica a las necesidades de preservación del medio ambiente y salubridad, a la población de la ciudad de Quetzaltenango.
- Diseñar los mecanismos de un clasificador mecánico de desechos sólidos urbanos.
- Establecer las normas de empleo del equipo utilizado en la clasificación mecánica de basura.
- Normar el mantenimiento mínimo para el funcionamiento adecuado de la maquinaria, durante el tiempo de vida de esta.

1. DESECHOS SÓLIDOS

1.1 Características generales

Se entiende por desecho a todo aquello que no se puede o no es fácil de aprovechar, considerándose como inservible o inútil. En función a la actividad en que son producidos, se clasifican en: agropecuarios (agrícolas y ganaderos), forestales, mineros, industriales y urbanos. A excepción de los mineros, por sus características de localización, cantidades, composición, etc., los demás poseen numerosos aspectos comunes desde el punto de vista de la recuperación y el reciclaje. En términos generales se clasifican en sólidos, líquidos o aguas servidas y gaseosos.

Los residuos sólidos urbanos (RSU), son aquellos que se generan en los espacios urbanizados, como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domésticas (viviendas), servicios (hotelería, hospitales, oficinas, mercados, etc.) y tráfico viario (papeleras y residuos varios de pequeño y gran tamaño).

Los desechos sólidos se componen de materiales orgánicos e inorgánicos. Los residuos orgánicos son todos aquellos de origen biológico, que en algún momento tuvieron vida; es decir todo aquello que nace, vive, se reproduce y muere, por ejemplo: hojas, hierbas, animales muertos y todos los desperdicios de comida, materiales propensos a procesos de descomposición.

Los residuos inorgánicos o materia inerte, son todos aquellos materiales en las que en su transformación ha intervenido la mano del hombre, como vidrio, papel y cartón, tejidos (lana, trapos y ropa), metales (féricos y no féricos), plásticos, maderas, gomas, cueros, loza y cerámica, tierras, escorias,

cenizas y otros. A pesar de que se pueden fermentar, el papel, el cartón, la madera, en mucha menor medida ciertos tejidos naturales y el cuero, se consideran inertes por su gran estabilidad en comparación con la materia orgánica. Los plásticos son materia orgánica pero no fermentable.

1.1.1 Propiedades

Para efectuar un estudio de la recuperación de desechos sólidos es necesario conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Las propiedades físicas se clasifican en: peso, peso específico, poder calorífico, olor, densidad y humedad.

Las químicas en: contenido de hidrógeno, carbono, nitrógeno, fósforo y potasio, contenido de materia combustible, contenido de materia orgánica.

En cuanto a las biológicas están: aspectos debido a la temperatura, humedad y nutrientes proteínicos que contienen los residuos orgánicos, que favorece el crecimiento de microorganismos, así como la proliferación y desarrollo de roedores.

1.1.2 Producción per cápita

Es uno de los factores más importantes para conocer, se hace a través de una encuesta por muestreo. La producción per cápita es la cantidad promedio de desechos sólidos en función de su peso en kilogramos producidos por persona y por un día; es uno de los datos de suma importancia en la recolección y disposición final de los desechos sólidos.

Basándose en experiencias realizadas, se puede afirmar que la cantidad de desechos sólidos por persona oscila entre un rango de 0.4 a 1.0 kilogramo/habitante/día¹.

1.2 Procedimientos de recolección de desechos sólidos

1.2.1 Aspectos generales

En los países en desarrollo, el aseo urbano es uno de los problemas de saneamiento del medio que está exigiendo una mayor atención por parte de las autoridades gubernamentales, así como de las entidades de financiamiento y de investigación. En algunos casos las deficiencias en cuanto a la calidad del servicio se deben a:

- (a) La solución del problema ha sido frecuentemente tomada por personal sin la capacitación o adiestramiento técnico.
- (b) No se toma en cuenta que este es un problema que exige de decisiones y resultados visibles a muy largo plazo.
- (c) Existen limitaciones económicas, debido a que las poblaciones cuentan con muy pocos recursos financieros destinados a la limpieza pública.
- (d) Por tradición, las autoridades no le han dado la importancia debida
- (e) Los factores culturales. La población no tiene por costumbre el utilizar los servicios que se implantan, así, también las autoridades no se preocupan por educar en nuevos hábitos.

¹ Manual del Ciudadano, Greenpeace, Guatemala 1998.

En la actualidad el manejo y recolección de los residuos depende de como se realicen a que tan profundos sean los estudios y a la forma en que se tomen en cuenta en la formulación de proyectos las condiciones locales y regionales y se encaren como un problema de ingeniería; en donde se exige la colaboración de otros profesionales, además de las autoridades locales.

El servicio de aseo urbano consta fundamentalmente de las siguientes actividades: a) separación b) almacenamiento c) presentación para su recolección d) barrido e) transporte f) tratamiento y g) disposición sanitaria final de los residuos. Las primeras dos actividades son responsabilidad del usuario o generador de los residuos sólidos, los demás son competencia del municipio o de la empresa encargada de este servicio.

La recolección racional del sistema de recogida de una comunidad y en especial de una ciudad con una cantidad de pobladores sensible, es un problema muy frecuente. El rendimiento y eficacia de un sistema depende de la correcta armonía de una serie de factores que se entrelazan, tendientes a conseguir una recogida sanitaria efectiva con un desarrollo estético compatible con actividades de esta índole, tales como el tamaño de los vehículos de recolección, número de hombres por vehículo, tipo de basura, cantidad de viajes por día del sitio de su disposición final, magnitud del sector que atiende cada vehículo, etc. Generalmente la responsabilidad recae en los respectivos departamentos de las municipalidades y en algunos casos en el servicio de salubridad.

La frecuencia de la recolección debe ser estudiada según sean las características del caso. El período máximo entre las recogidas está dado por tres factores fundamentales:

- a. Tiempo para que la producción de desperdicios pueda almacenarse en un depósito de dimensiones convenientes.
- b. Tiempo que tardará la basura en producir olores desagradables en condiciones medias de temperatura de la región, en verano o en invierno
- c. Ciclo de desarrollo de la mosca (seis a siete días a la temperatura del verano).

En sectores residenciales, la basura debe recogerse por lo menos tres veces a la semana en verano y dos en invierno, aunque es preferible que sea diariamente. La basura en hoteles y restaurantes tiene que ser atendida diariamente, en el caso de que se separe la orgánica de la inorgánica, esto se puede recoger a intervalos más separados. Esto es una descripción ideal debido a que si se utilizara estos parámetros, los costos se elevarían a niveles por los cuales muy pocos lugares se comprometerían a prestar el servicio, es por eso que con los recipientes adecuados, puede ser recogida una o dos veces por semana.

1.3 Opciones de disposición final de los desechos sólidos

En el transcurso del tiempo, el hombre ha ideado diferentes mecanismos para irse desentendiendo de un problema que a medida que transcurre el tiempo se va agravando, la búsqueda de solución ha hecho que se disponga de diferentes métodos o formas de disposición final de la basura o los desechos sólidos urbanos. Entre los principales métodos de disposición final de basura están:

1.3.1 Relleno sanitario:

Es un método de eliminación de residuos sólidos en tierra, a través del cual se disminuyen los riesgos para la salud. Este se basa en seguir ciertos principios para depositar los residuos, ocupando menores dimensiones, reduciéndolos al mínimo mediante compactación y recubriéndolos con una capa de tierra al término de cada jornada o en los intervalos en que la cantidad de desechos lo haga necesario, para evitar la proliferación de mal olor, incendios o que por el mismo viento se esparzan.

El objeto del relleno es eliminar todos los desechos sólidos producidos por la comunidad, evitando así la convivencia entre el hombre, animales y basura que de otro modo ocasionan problemas sociales, de salud, económicos y ecológico-ambientales.

El relleno sanitario posee varias características, a saber:

- (a) Está cercado para evitar la entrada de personas que tiren desechos que permanezcan al descubierto y para impedir que los plásticos y los papeles sean arrastrados por el viento a terrenos vecinos.
- (b) Posee un desagüe adecuado para evitar que el agua de lluvia se filtre a través del tiradero, contamine el terreno, los manantiales o ríos próximos a la zona.
- (c) Tiene un servicio de agua que se usa para humedecer la basura con el fin de reducir el polvo en las operaciones que puedan producirse por los desperdicios combustibles.

La realización de un relleno sanitario requiere de estudios tales como la investigación del subsuelo para conocer la permeabilidad del terreno, colocación de una central de filtración de aguas para recibir las filtraciones de los lixiviados² y evitar la contaminación de aguas subterráneas. Para ello, es preciso verificar sistemáticamente los mantos acuíferos próximos a los rellenos sanitarios, así como la colocación de una red de tubos perforados o pozos y zanjas, rellenos de gravilla, para dar salida al gas metano, producto de la fermentación que tiene un olor desagradable, además de ser explosivo. Por lo anterior, antes de iniciar la construcción de un relleno sanitario, hay que realizar estudios profundos de viabilidad e impacto ambiental.

Como método de disposición final de los DSU, es sin lugar a dudas la alternativa más conveniente para nuestros países, por las ventajas que presenta. Sin embargo, es esencial asignar recursos financieros y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.

Ventajas:

- (a) La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implantar cualquiera de los métodos de tratamiento: incineración o compostación.
- (b) Bajos costos de operación y mantenimiento.
- (c) Es un método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de desechos sólidos, obviando los problemas de cenizas de incineración y de la materia no susceptible de descomposición en la compostación.

² Lixiviados: Líquido de color negro, muy parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrados, producido por la descomposición o putrefacción natural de la basura.

- (d) Genera empleo a mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los países como Guatemala.
- (e) Recupera gas metano en grandes rellenos sanitarios que reciben por lo menos 200 ton/día, lo que constituye una fuente alternativa de energía.
- (f) Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- (g) Recupera terrenos que hayan sido considerados improductivos o marginales, tomándolos como útiles para la construcción de parques.
- (h) Puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación.
- (i) Es flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes o fijas, y también debido a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.

Desventajas:

- 1) La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada en general por factores tales como:
 - a) La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.
 - b) Asociarse al término "relleno sanitario" al de un "botadero de basuras a cielo abierto".

- c) La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones encargadas del mismo.
 - d) El rápido proceso de urbanización que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, ubicando el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte.
- 2) La supervisión constante de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones.
 - 3) Existe un alto riesgo de transformarlo en botadero a cielo abierto por la carencia de interés o conocimiento de la administración, ya que se pueden mostrar renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento.
 - 4) Se puede presentar una eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, si no se toman las debidas precauciones.
 - 5) Los asentamientos más fuertes en los primeros dos años de terminado el relleno, por lo tanto se dificulta el uso del terreno. El tiempo de asentamiento dependerá de la profundidad del relleno, tipo de desechos sólidos, grado de compactación y de la precipitación pluvial de la zona.

1.3.1.1 Biodigestores

Figura 1. Biodigestor



Un biodigestor es un tanque hermético donde ocurre la fermentación anaeróbica (sin presencia de aire) de los desechos sólidos en la mayoría de los casos agropecuarios (estiércol de animales, hojas, rastrojo de cosechas y excreta humana), que tiene como resultado la producción de gas metano.

Para la obtención de metano, la basura debe ser procesada previamente para que los microorganismos productores de metano puedan digerir el máximo de material orgánico y por lo tanto rendir el máximo de gases.

Los pasos que consta en el proceso son:

a) Preparación de la alimentación

La basura se pasa por cortadores, que llenan dos funciones:

- i) Permitir la separación eficiente de los compuestos orgánicos de los inorgánicos que se encuentran mezclados en los residuos.
- ii) Preparar la alimentación de los digestores para que los materiales orgánicos puedan solubilizarse más fácilmente.

Por medio de la separación, todos los residuos ferrosos se eliminan fácilmente, otros residuos como vidrio y metales no ferrosos pueden separarse por medio de tamices en una etapa previa a la reducción de tamaño o posterior a ésta por medio de molinos.

b) Digestión

Antes de pasar a los digestores la alimentación de basuras sólidas se mezclan con nutrientes y otros compuestos químicos para control. Los elementos nutritivos para las bacterias pueden ser proporcionados por aguas negras o ser añadidos por aparte. Las reacciones que se llevan a cabo son similares también en lo que se relaciona a la "fermentación en cadena" y dan como resultado un gas cuyo contenido es metano y bióxido de carbono, además de otros compuestos en menor cantidad.

c) Tratamiento del gas

Para que pueda ser usado el gas metano producido por este procedimiento debe ser limpiado de los principales contaminantes, el bióxido de carbono y el ácido sulfhídrico (H_2S).

d) Disposición de los residuos líquidos

Durante la operación a estado estacionario es necesario purgar el sistema en forma continua. El agua y la materia no digerida deben ser removidas a una razón igual a la razón de alimentación. Esta suspensión es luego pasada a separadores para recircular el líquido y el material sólido puede ser utilizado como relleno sanitario o abono.

1.3.2 Reciclaje:

Es el proceso donde se recobra materiales de la basura que pueden ser reutilizados. Comúnmente reciclados son el aluminio y latas de metal, vidrio, papel y plástico. El reciclaje también ayuda a reducir la contaminación que se forma al producir varios de estos productos.

El reciclaje ha sido una importante fuente de materiales para la industria del metal y para productores de papel. La basura que es reciclada produce materiales para una variedad de productos manufacturados, el aluminio de latas se funde y sirve para diversos tipos de productos; el papel no es solamente usado para hacerlo de nuevo sino para hacer materiales de construcción como techos; el vidrio es molido y vuelto a utilizar.

El reciclaje es una de las actividades fundamentales en la reducción de los desechos sólidos, en su aprovechamiento y en la separación de los mismos.

Las cuestiones fundamentales en el reciclaje de materiales incluyen: 1) la identificación de los materiales que se van a desviar del flujo de residuos, 2) las posibilidades de reutilización y reciclaje; 3) las especificaciones de los compradores de materiales recuperados.

En términos generales, los materiales dentro de los Desechos Sólidos Urbanos (DSU) que son susceptibles de ser recuperados, son:

- a) Residuos sólidos orgánicos: que constituyen en la mayoría de los casos entre el 60 - 70 % del total de los residuos domésticos, pueden, mediante sencillos tratamientos, transformarse en fertilizantes, alimentos para animales, material para la construcción y otras numerosas aplicaciones.

- b) Materiales recuperables: El porcentaje de recuperación de materiales contenidos en los desechos susceptibles de reintegrarse al sistema de consumo, es muy variable, puesto que los procesos, en la mayoría de los casos, van desde los más rudimentarios hasta los más elaborados. En cuanto al mercado, la demanda -para la mayoría de estos residuos- es alta, ya que la materia prima tiene un valor comercial considerablemente mayor. Como hemos visto, prácticamente el 100% de los componentes de la basura son aprovechables en los desechos sólidos.

1.3.3 Otras formas

1.3.3.1 Botadero a cielo abierto:

Figura 2 Botadero a cielo abierto



Es uno de los métodos más antiguos y practicado durante toda la historia de la humanidad. Comprende la eliminación de todos aquellos materiales no deseados o sin uso en lugares en los que se acumulan, en espera de su descomposición o de una reutilización.

Históricamente, la familia había funcionado como una entidad productora de ciertos bienes de consumo propio, como alimentos, tejidos y utensilios. Sin embargo, en la actualidad la familia ha pasado a ser una unidad de consumo

que depende cada vez más de productos obtenidos en los mercados, muchos de ellos procesados industrialmente y con frecuencia significan una mayor generación de basura. A pesar de que muchas familias siguen comprando productos frescos y a granel en los mercados tradicionales, la publicidad de los medios de comunicación y las facilidades ofrecidas por los nuevos sistemas de comercialización, están modificando los patrones de consumo de las personas.

La forma en que manejamos la basura que se genera en los hogares es un elemento de gran importancia. Todos conocemos que en los hogares la basura usualmente se almacena en condiciones a menudo inadecuadas debido a que los recipientes varían demasiado: bolsas de papel y plástico, cajas de cartón, botes de lámina, madera o plástico y pocas veces en recipientes hechos para tal fin. Esto, muchas veces propicia la presencia de insectos, malos olores y filtraciones de líquidos escurridos de la basura, igualmente el lugar donde se coloca la basura está en la misma condición o no se dispone de un espacio apropiado para ese fin.

La frecuencia con que se acumula la basura es también importante, ya que después de cierto tiempo, los desechos orgánicos entran en descomposición y pueden dañar la salud. Además, la mezcla de desechos orgánicos e inorgánicos hace que se dificulte posteriormente el rescate de materiales reutilizables. Si además no existe un sistema eficiente y periódico de recolección, la acumulación de la basura en la casa se convierte en un problema que debe resolverse de alguna manera y ésta frecuentemente es tirada en algún lugar fuera de la casa.

Todo esto explica la aparición de botaderos, tiraderos o basureros más o menos espontáneos. ¿Dónde se vierten y acumulan los desechos indiscriminadamente?. En terrenos baldíos, junto a caminos y carreteras, en

callejones y barrancas, en general, en espacios ubicados en los alrededores de los sitios de habitación.

Debido a las cantidades, tipo de basura y a factores como la humedad, temperatura y oxigenación, el proceso de descomposición de la basura en el botadero tiene varios efectos negativos. Los basureros producen problemas de contaminación del aire por emanaciones de gas metano, olores indeseables, gases y cenizas de los incendios que se producen. Se constituyen además en focos de enfermedades por la proliferación de ratas, moscas, cucarachas y zancudos. Además, contaminan las aguas subterráneas por lixiviación (filtración) de contaminantes y las aguas superficiales cuando la escorrentía arrastra la basura hacia ríos, lagos, costas y cuando se quema genera humo.

1.3.3.2 Vertido a corrientes de agua al mar

Una práctica común en las zonas costeras y en los sectores industriales de las grandes ciudades es depositar los desechos en aguas de ríos que luego desembocan en el mar. Los ríos contaminados arrastran muchas veces una gran cantidad de desechos sólidos que van a depositarse aguas abajo en las zonas marino-costeras. Por otro lado se da la contaminación directa en ciudades y comunidades costeras que vierten sus desechos domiciliarios, desechos comerciales en chalets y hoteles, desechos agroindustriales directamente a esteros, costas y litorales. También se da la contaminación del mar por desechos sólidos arrojados desde embarcaciones de diverso tamaño.

Una práctica común durante algunos años, fue el vertido de contenedores de desechos al mar desde embarcaciones. Esto ha decrecido pero aún es practicado por algunos países. En los años ochenta, se desarrolló la práctica de la incineración marina de desechos, la cual se efectuaba en embarcaciones acondicionadas para ello. Las cenizas tóxicas resultantes de la

incineración eran entonces vertidas sin tratamiento o estabilización a las aguas marinas. Esta práctica fué prohibida por regulaciones nacionales, convenios bilaterales y multilaterales, para evitar la contaminación de aguas nacionales e internacionales, así como los impactos negativos en la flora y fauna marina³.

Otra práctica que se usó por algunos años fué el enterramiento de desechos peligrosos en el lecho marino, algo que también ha sido penalizado por convenios internacionales³, uno de ellos es la convención de Londres sobre el Vertimiento de desechos (LDC).

1.3.3.3 Quena al aire libre (Incineración⁴)

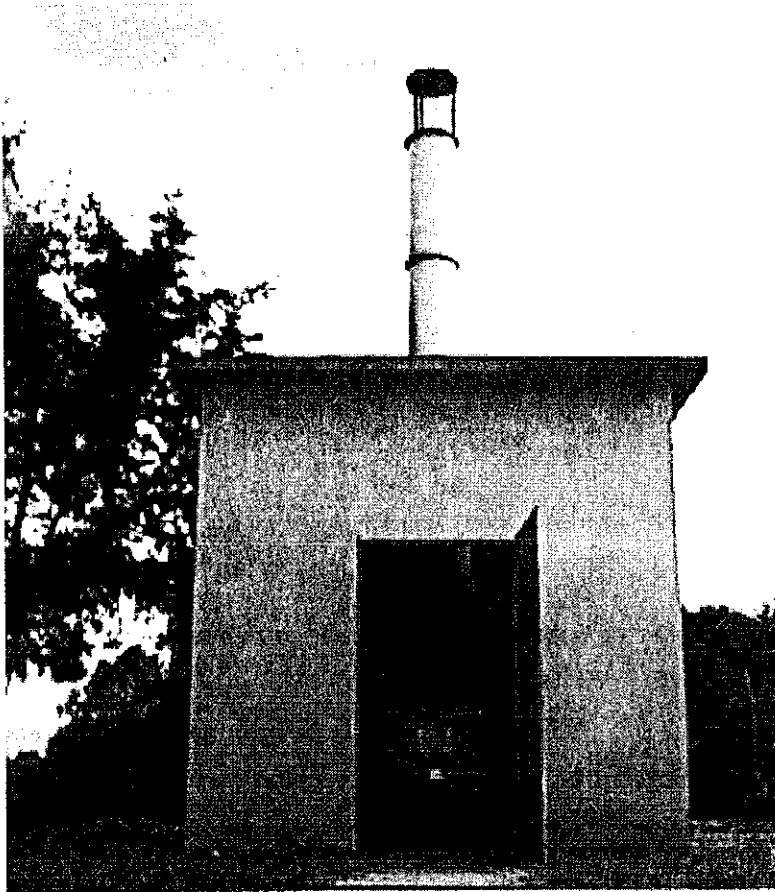
Una práctica que comenzó a desarrollarse hacia los años '70 y que aún hoy ofrece en algunos casos una solución a medias de la disposición final de los desechos sólidos en zonas urbanas. La incineración ha tenido algunas variantes y se han desarrollado diversos tipos de incineradores y procedimientos de quema de basuras. En algunos casos se trata de la incineración directa (cremación) y en otros casos se propone el aprovechamiento de la energía calórica que produce la quema de desechos para producir energía eléctrica.

La incineración es un sistema tecnológico de destrucción de materiales que genera subproductos mucho más tóxicos, que contaminan el aire, el agua y el suelo. Los materiales reusables y reciclables son destruidos por la incineración, por lo que es necesario producirlos de nuevo, con la consecuente necesidad de explotar adicionalmente los recursos naturales.

³ Ver: Protección de los océanos y de los mares de todo tipo. En www.un-org/11/conf/unced.

⁴ Incineración: Proceso en el cual los desechos sólidos son quemados.

Figura 3 Incinerador



Sin embargo, de acuerdo a la información científica más seria y actualizada disponible sobre el tema, no existe ninguna tecnología que pueda garantizar con absoluta seguridad que no serán emitidas sustancias tóxicas y peligrosas durante las operaciones de incineración. Se puede reducir la emisión de sustancias tóxicas, mediante filtros, incremento en las temperaturas de la cámara de combustión del incinerador, mediante técnicas de gasificación, o bien mediante la selección del tipo de desechos que ingresarán al incinerador.

Entre los subproductos más comunes de la incineración, se mencionan: partículas en suspensión que pueden causar problemas en las vías respiratorias e irritación de los ojos y problemas de la piel; sustancias derivadas de hidrocarburos que también causan problemas respiratorios y pueden afectar el aparato digestivo; sustancias cloradas y metales pesados, que son neurotóxicos que afectan el sistema nervioso, pueden causar daños en los fetos y niños pequeños. Muchas de estas sustancias se bioacumulan en el medio ambiente, debido a que son de muy lenta degradación, ingresando incluso a la cadena alimenticia y contaminando flora, fauna, suelos, aire, agua y alimentos.

Los estudios muestran además que todos los incineradores emiten dioxinas, que son sustancias altamente tóxicas, cancerígenas y mutagénicas. Las dioxinas no existen naturalmente en el medio ambiente, han sido definidas como una de las sustancias químicas tóxicas más potentes creadas por el hombre, entre las que se han estudiado. La formación de dioxinas ocurre al quemar materia orgánica combinada con compuestos clorados. La incineración de residuos sólidos urbanos e industriales es, por lo tanto, una de las fuentes principales de emisión de dioxinas a la atmósfera. Todavía más preocupante es la incineración de desechos hospitalarios que según los últimos estudios, se ha demostrado que produce mas dioxinas que la incineración de desechos domésticos.

También, las cenizas que producen los incineradores, contienen dioxinas y furanos, que son otros compuestos altamente tóxicos. La incineración de plástico PVC, tan popular en nuestro medio, es la principal fuente de origen de las dioxinas que se generan durante la incineración, ya que es la fuente principal de cloro que llega hasta estos.

1.4 Reciclaje

1.4.1 Aspectos generales

El reciclaje es el proceso mediante el cual los materiales son recolectados y utilizados como materia prima para productos nuevos. Este, previene que materiales potencialmente útiles lleguen a los rellenos sanitarios o sean quemados, reduciendo los volúmenes destinados a los sitios de disposición final.

También, ayuda a ahorrar energía y recursos naturales. En especial el compostaje, como se tratará más adelante, es una forma de reciclaje que puede jugar un papel clave en desviar los desechos orgánicos de las instalaciones para disposición final. En teoría todos los residuos podrían ser reciclables.

En la práctica, un determinado tipo de residuo es reciclable o no, dependiendo de diferentes factores económicos (costos absolutos y marginales) y técnicos (tecnología y disponibilidad). Dicho de otra manera, para que aumente el porcentaje de desechos aptos para ser reciclados, los beneficios adicionales de su reciclamiento, incluyendo los beneficios ambientales y sociales, deben superar los costos relativos a la materia prima virgen.

Entre los materiales susceptibles a reciclar encontramos: botellas y recipientes de vidrio, fibra de vidrio, cartón, papel, productos de construcción, combustibles derivados de residuos, plásticos, restos textiles, hueso, madera, metales férricos y no férricos, residuos de jardín, baterías ácidas de plomo, pilas domésticas.

1.4.2 Principales materiales recuperables en el proceso de reciclaje

- a) Vidrio: se considera que para cubrir una tonelada de vidrio se requieren 600 Kg de arena sílica, 200 Kg de cloruro de potasio, 200 Kg de caliza, 70 Kg de feldespato y 4,500 Kw/hora de energía y en su fabricación se generan 200 Kg de desechos, producto de la extracción y 15 Kg de partículas y contaminantes en el aire, se comprende la importancia de este material en el proceso de reciclaje. El reciclaje de vidrio evita los gastos de obtención de los componentes y ahorra un 40% de energía.

El vidrio constituye aproximadamente entre el 8 al 15 por ciento del peso de los DSU⁵; el 90% es vidrio de botella o recipiente blanco, verde o ámbar, el 10% restante son principalmente vajillas de cristal y vidrios en planchas. Las ventajas de reciclar vidrio incluyen: la reutilización del material, ahorro de energía, uso reducido del espacio en los vertederos y en algunos casos, una composta más limpia o un mejor combustible derivado de residuos. Casi todo el vidrio reciclado se utiliza para producir nuevos recipientes y botellas de vidrio.

El vidrio es seleccionado de acuerdo al color (blanco, ámbar y verde), el vidrio blanco se utiliza en la elaboración de todo tipo de envases, el ámbar se usa para la fabricación de botellas de cerveza y vino de mesa, principalmente. El vidrio verde se utiliza para la elaboración de recipientes de menor calidad; también se utiliza para la fabricación de artesanías de vidrio soplado. El vidrio es uno de los productos ideales para reciclar, en virtud que se puede fundir gran cantidad de veces, sin que pierda sus características.

⁵ DSU: Desechos Sólidos Urbanos.

Las posibilidades de reutilización y reciclaje del vidrio, son:

- i) Botellas y recipientes de vidrio: Los fabricantes de recipientes de vidrio prefieren incluir vidrio triturado junto con materias primas (arena, ceniza de soda y cal) porque se puede reducir la temperatura de los hornos significativamente. Los fabricantes están dispuestos a pagar precios un poco más altos por el vidrio triturado que por las materias primas, debido a los ahorros en energía y a una vida más larga del horno. La desventaja de usar vidrio triturado reside en que casi siempre contiene contaminantes que pueden alterar el color o la calidad del producto, siempre es mejor usar vidrio triturado propio procedente de productos rotos o defectuosos, porque es una composición conocida libre de contaminantes. Aunque la demanda de vidrio triturado es alta, la rentabilidad del reciclaje a menudo varía según el país, por los costos de recogida, procesamiento y transporte de este. El mercado del vidrio coloreado también varía con la capacidad de las plantas que fabrican recipientes de vidrio coloreado.
- ii) Fibra de vidrio: en varios países la fibra de vidrio utiliza vidrio triturado como parte integral del proceso de fabricación, pero como depende de lo estricto de las especificaciones en cada país, casi todo el vidrio triturado podría proceder de operaciones propias o de otros fabricantes de vidrio.
- iii) Otros usos: El vidrio no seleccionado por el color es aceptable para la fabricación de aislantes y materiales de construcción, aunque primero se deben separar contaminante como metales féreos, aluminio y papel, mediante procesos magnéticos y en vacío. El

interés en usar el vidrio como material de pavimentación ha fluctuado a consecuencia de los altos costos del procesamiento y del transporte de vidrio hasta las plantas de asfalto y por la necesidad de cal hidratada para aumentar la adhesión. Es más, el producto final no es superior al material de pavimentación hecho con materiales convencionales.

- b) **Cartón y papel:** basándose en el peso, el papel constituye el componente mayor de los residuos sólidos urbanos. Incluyendo los contenedores ondulados y al cartón de las cajas, el papel generalmente representa del 25 al 40% del total. Como este porcentaje es tan grande, se puede pensar que un incremento en el reciclaje del papel representaría una ocasión relativamente fácil para desviar materiales de los vertederos, reutilizar fibras, reducir el impacto sobre los bosques y reducir el consumo de energía. Desgraciadamente, solo se puede reutilizar una parte del papel desechado, debido principalmente a consideraciones económicas y de logística.
- i) **Cartón:** El cartón, debido al tamaño de su fibra, puede reciclarse para la elaboración de papel. Lo mismo pasa con los sacos para cemento y las bolsas. La selección de este material se hace por el grado de limpieza, factor que determina su precio en el mercado. Para su venta deben hacerse pacas de un tamaño y peso determinados para facilitar su manejo. Este tipo de cartón se utiliza como materia prima en la manufactura de cartón kraft.
- ii) **Papel:** Como es sabido el papel en su gran mayoría proviene de los árboles y el 25% del total de la basura es papel que puede reciclarse hasta 10 veces. Así, por cada tonelada de papel y cartón reciclados

se dejan de cortar 10 árboles o de usar 2 toneladas y media de madera. Por otra parte, usa para su fabricación, aproximadamente 450 mil galones de agua y puede ahorrarse el 60% de la energía necesaria para su producción.

Los tipos principales de papel residual que se reciclan son periódicos viejos, cartón, papel de alto grado y papel mezclado. Cada uno de estos cinco se compone a su vez de grados individuales, que se definen según el tipo de fibra, el origen, la homogeneidad, la extensión de la impresión y las características físicas y químicas. El papel de alto grado incluye papel de oficina, papel de reproducción, papel de impresora y otros grados que tienen un alto porcentaje de fibras largas.

Los grados mezclados incluyen papel con alto contenido de madera pulverizada, como papel de revistas, papel satinado y grados individuales que contienen porcentajes excesivos de "outhrow" (papeles de grados más bajos que el grado especificado). Las clases de papel que se encuentran en los residuos sólidos domésticos antes de la separación de periódicos y otros papeles para el reciclaje son: periódicos, libros, revistas, impresos comerciales, papel de oficina, otros tipos de cartón, envases de papel, otro papel no de envases, papel higiénico, pañuelos y materiales ondulados.

El papel que contiene la basura se puede clasificar en dos grupos: papel comercial y doméstico. El papel comercial es aquel que se recolecta en oficinas y comercios, en general es de buena calidad y se encuentra relativamente limpio por no estar mezclado con desechos orgánicos. El papel doméstico es el que se recolecta en forma domiciliaria, se encuentra mezclado con desechos orgánicos de toda

clase y es bastante sucio. Ambos tipos de papel se utilizan como materia prima por las industrias papeleras que se dedican a la fabricación de cartón gris, cartoncillo, cajas para calzado, cajas para huevos. Algunos tipos de papel, pueden ser reciclados hasta 11 veces.

Los principales tipos de papel reciclados en la actualidad, son: papel periódico, cartón ondulado, papel de alta calidad y papel mezclado.

Además de los usos ya mencionados, el papel recogido para el reciclaje también puede usarse para elaborar productos de construcción o combustible derivado de residuos, o para la exportación.

- (a) Productos de construcción: el papel periódico y el papel mezclado se utilizan para fabricar cartón de yeso, material suelto de aislamiento espolvoreado y papel saturado de fieltro para tejados.
- (b) La fabricación de aislamientos de celulosa proporciona otra utilización posible para los periódicos usados; los mercados extras son importantes porque se cree que el suministro de papel de periódico se va a incrementar como consecuencia de los programas obligatorios de desvío.
- (c) Combustible derivado de residuos (CDR): Durante años, el CDR se ha producido de residuos sólidos urbanos, y son varias las empresas que actualmente producen cantidades limitadas de CDR en forma de pellets (bolitas de materia prima plástica), hechos con papel mezclado. Los mercados potenciales son las plantas existentes alimentadas con combustible biomasa y otros usuarios industriales, según la proximidad de las plantas de pellets y los costos de transporte.

c) Plásticos: en 1973, se produjeron 13 billones de kilos de plástico en Estados Unidos; en 1990, la cantidad casi se había duplicado hasta alcanzar los 24.5 billones de kilos y estaba creciendo a un ritmo anual del 6%. Aunque los consumidores han utilizado los plásticos durante casi 50 años, su uso para envases se ha incrementado drásticamente durante los últimos 20 años y para el año 2000, se espera un incremento del 70%. Como la mayoría de los envases desechables, la cantidad de plásticos en los residuos sólidos urbanos ha crecido desde el 3% a principios de los años setenta hasta el 7 por ciento en peso en 1990. Para Guatemala, en 1995, se tiene un 6% del total de los desechos haciendo un total de 30,660 toneladas al año⁶.

El crecimiento en el uso de los plásticos se ha producido sobre todo en los productos de consumo, ya que los plásticos han sustituido, en gran parte a los metales y al vidrio como materiales para recipientes y al papel como material de embalaje.

Los plásticos tienen diversas ventajas, sobre los otros materiales: son ligeros y por tanto reducen los costos de transporte; son duraderos y a menudo proporcionan un recipiente más seguro (por ejemplo, botellas de champú); pueden presentarse en diversas formas y pueden ser fabricados para que sean flexibles o rígidos; son buenos aislante térmicos y/o eléctricos y son aptos para ser usados con comidas húmedas y con microondas.

Aunque los materiales plásticos conforman solamente el 7% del peso de los DSU, conforman un porcentaje algo mayor en base al volumen. Al mismo tiempo que se cierran vertederos y encontrar nuevos lugares se hace más

⁶ Manual del ciudadano sobre desechos sólidos. GREENPEACE, Guatemala 1998.

difícil, se critican las industrias de envases de plástico porque contribuyen considerablemente al problema de los desechos, sin un intento razonable para solucionarlo.

A menudo se sugiere que se deberían sustituir los plásticos por productos de papel u otros biodegradables, a pesar de la evidencia que muestra que ni plásticos ni papeles se degradan rápidamente en un vertedero bien gestionado. La mayoría de los consumidores disfrutamos de los beneficios del plástico y reconocemos que el reciclaje adicional es una solución razonable; sin embargo en la práctica se ha demostrado que solamente se recicla del 2 al 6% de la producción virgen.

Buena parte del contenido en los residuos sólidos, es reciclable; además los que son materiales combustibles de alto valor energético y que no contaminan pueden ser reciclados. Dadas sus características permiten ser fundidos nuevamente y reutilizarlos varias veces como materia prima para fabricar nuevos productos. El reciclado del plástico representa una alternativa para ahorrar materiales y energía, además de divisas por concepto de importaciones de materia prima.

Los plásticos pueden ser clasificados en dos categorías generales: fragmentos limpios de calidad comercial y desechos usados. Los dos tipos de plásticos usados que más frecuentemente son reciclados son el tereftalato de polietileno (PET/1), que se usa para la fabricación de botellas de bebidas no alcohólicas y el polietileno de alta densidad (PE-HD/2), utilizado para recipientes de leche, agua y para botellas de detergentes. En 1987 se reciclaban más de 67 millones de kilos de botellas de plástico para bebidas no alcohólicas en los Estados Unidos de Norte América. Aun así, se recicla menos del 5% de los plásticos usados disponibles. Sin embargo, se puede predecir

que los otros tipos de plástico serán reciclados cuando se mejoren las técnicas de procesamiento.

Los termoplásticos representan el 80% del total de los desechos plásticos, el reciclado representa entonces, una alternativa para ahorrar materiales y energía. No debe pensarse en utilizarlo como combustible debido al grado de contaminación atmosférica que generan, siempre debe pensarse en la vía que dañe menos el ambiente. Tanto el plástico rígido como la película plástica (polietileno) son reciclables. También se reutilizan algunas botellas y recipientes de este material para envasar productos líquidos de poco valor, como blanqueadores y detergentes. Existen molinos y compactadores de bajo costo y de alto rendimiento, diseñados para efectuar en forma eficiente la recuperación de películas y filamentos de polietileno de alta y baja densidad, polipropileno, mono y multifilamento, rafia y otros. Los productos finales que se pueden obtener, son variados, entre los que se cuentan vasos ligeros, platos sencillos, utensilios para cocina y similares.

- d) Trapo: Está constituido principalmente de algodón, fibra sintética y mezcla de ambos. El algodón se utiliza en la fabricación de estopa (lino o cáñamo), relleno para muebles y como materia prima para la elaboración de papel de alta calidad. El algodón sintético solo se utiliza como material de relleno.
- e) Hueso: Este material tiene demanda como alimento para ganado, alimentos balanceados para animales en general y para la fabricación de abonos fosfóricos cuando se somete a una pulverización. Con la materia prima se pueden hacer botones o artesanías.
- f) Metales: La mayor parte están constituidos por cobre, aluminio, plomo, bronce y hierro. El hierro es el metal que tiene mayor demanda y valor comercial. Todos estos metales, una vez recuperados, se someten a

fundición para su moldeado y para la obtención del producto final que se desee. El latón una vez recuperado se somete al troquelamiento, del cual se pueden obtener diversos productos como llaveros, botes, etc. También, con base en la fundición del metal, se pueden lograr hilos metálicos, mismos que niquelados y moldeados, se obtienen productos diversos como clips; pinzas para el pelo, adornos, etc.

El caso de los metales como el acero y el aluminio es similar. Para fabricar una tonelada de aluminio hay que extraer de una mina 4 toneladas de hidróxido de aluminio o bauxita. El tratamiento de estas 4 toneladas producirá 2 toneladas de los llamados barros rojos que presentan graves problemas de contaminación todavía sin resolver; por otra parte se habrán obtenido 2 toneladas de óxido de aluminio.

g) Metales féreos (hierro y acero): La mayoría del acero reciclado tradicionalmente ha salido de objetos voluminosos tales como automóviles y electrodomésticos. Muchas comunidades tienen grandes montones de chatarra en el vertedero o en otros lugares. En muchos casos los montones están desorganizados y se mezclan metales distintos, lo que los hace poco atractivos para los compradores de metal de chatarra. El reciclaje de lata de acero se está haciendo más popular. Las latas de acero utilizadas como recipientes de zumos, refrescos y comida, se separan fácilmente de los reciclables mezclados o de los desechos urbanos mediante el uso de grandes imanes (que también separan los otros metales féreos).

Los DSU normalmente contienen aproximadamente el 6% de latas de hojalata y de otros productos de acero. El porcentaje ha disminuído durante la última década porque los recipientes de acero para bebidas han sido sustituídos por recipientes de aluminio y plástico. Los bienes de

consumo que normalmente no se desechan en los DSU pero que sí están disponibles para recuperación, incluyen: aparatos domésticos e industriales (bienes de línea blanca), electrodomésticos rotos o viejos y automóviles. Otras fuentes de acero son: tubería cortada o vieja, materiales desechados de la construcción, chatarra industrial y virutas de talleres de mecánica, rechazos de la construcción, puertas de acero, despachos, estanterías, bicicletas, etc.

La demanda de chatarra de acero está relacionada con la economía global y con la demanda de coches nuevos, de máquinas - herramienta y de equipamiento pesado de construcción. Históricamente, la demanda ha sido cíclica, pero ahora es estable debido a la mejora en la competitividad de la industria de acero, que utilizan casi un 100% de la chatarra.

Las principales categorías de metales férreos actualmente recuperados de los DSU son botes de hojalata y chatarra metálica.

h) Metales no férreos:

Se recuperan de los siguientes:

- (a) Artículos domésticos comunes (muebles de jardín, utensilios y electrodomésticos de cocina, escaleras, herramientas, ferretería).
- (b) Productos de construcción y demolición (alambres de cobre, suministros de tubería y fontanería, instalaciones de luz, chapa de aluminio, canales y bajadas, puertas, ventanas).

- (c) Productos grandes de consumo, del comercio y de la industria (electrodomésticos, automóviles, barcos, camiones, aviones, maquinaria). Virtualmente todos los metales no féreos pueden ser reciclados si están seleccionados y libres de elementos extraños, tales como plásticos, telas y goma.

Los materiales no féreos constituyen aproximadamente el 5% de los DSU (desechos sólidos urbanos, incluyendo residuos comerciales e industriales)⁶.

Los metales se seleccionan según el tipo de aleación, si se conoce y según el proceso de fabricación (por ejemplo, fundido o forjado). Los artículos bien seleccionados pueden ser consolidados y empacados directamente. La chatarra compleja, como automóviles y electrodomésticos, requiere una combinación de procesos que incluyen lavado, selección, compactación, trituración, separación magnética, separación por corriente foucault y empacamiento.

Aunque hay una fuerte demanda para la chatarra, los comerciantes normalmente no entran en contratos a largo plazo porque los precios del mercado están fuera de su control. El mercado de chatarra es mundial y bastante competitivo.

- i) Aluminio: El reciclaje del aluminio está conformado por dos sectores: latas de aluminio y aluminio secundario. El aluminio secundario incluye marcos de ventanas, contrapuestas, paneles y canales. Como los materiales secundarios son de distintos grados, es necesario comprobar las especificaciones de aluminio reciclado, para recuperar el máximo valor en la

venta a los comerciantes de los materiales separados. La demanda para las latas de aluminio recicladas es alta, porque se utiliza el 95% menos de energía para producir una lata de aluminio de una ya existente que del mineral.

El aluminio - sobre todo en latas - constituye menos del 1% de los residuos sólidos urbanos. El reciclaje de aluminio ha tenido mayor éxito que otros materiales como el papel, vidrio y plástico, debido a los programas activos industriales y comerciales. El motivo de esta situación es que el papel, vidrio y plástico usado deberían competir con las materias primas utilizadas para su fabricación, estas materias primas son abundantes y baratas. Sin embargo, el mineral de aluminio debe ser importado. Otra razón radica en que la industria de aluminio reconoció las ventajas de un mercado doméstico de aluminio y ha establecido en muchos países, la infraestructura necesaria para su transporte y procesamiento. Una infraestructura comparable no existe todavía para el resto de los materiales reciclables.

- I. Características principales que favorecen el reciclaje del aluminio
 - i. Proporciona una fuente de aluminio, mientras que la bauxita necesaria para producir aluminio debe ser importada.
 - ii. La energía necesaria para producir una lata a partir de aluminio reciclado es menor que el 5% de la energía necesaria para producir una lata a partir de materias primas.

- iii. Las latas recicladas son de una composición uniforme y conocida y las impurezas pueden separarse fácilmente.
- iv. El reciclaje permite que los fabricantes de latas de aluminio puedan competir favorablemente con los fabricantes de vidrio y bimetales. Casi todos los recipientes metálicos de cerveza y el 93% de las latas de refrescos son de aluminio.

El proceso de recogida y transporte no ofrece mayores problemas, ya que las latas que se entregan en los centros de recogida, se aplastan, se empaquetan y se transportan hasta las fábricas o las plantas de recuperación regionales, donde las latas se trituran para reducir su volumen. En la planta de recuperación, primero, se calientan las latas trituradas en un proceso de deslaminación para separar los revestimientos y la humedad, cargándose después a un horno de refundición, luego de lo cual generalmente, en otra fábrica se lamina y se envían a plantas que fabrican recipientes, donde se cortan en discos a partir de los cuales se forman las latas. Se imprime el logotipo del fabricante de bebidas en la lata y se transportan (con las tapas separadas) hasta la planta de relleno.

j) Residuos de jardín

Recogidos separadamente: Para reducir la cantidad de material que va al vertedero, muchas comunidades recogen y procesan los residuos de jardín separadamente. Normalmente los residuos de jardín se colocan en contenedores o en la calle para su recogida. La forma en que se colocan los residuos en la calle varía de país en país y de ciudad en ciudad. Algunas comunidades requieren que los recortes de césped estén colocados en bolsas de plástico para su recogida. Se colocan en bolsas de plástico en la misma pila

con recortes de arbustos y de árboles. En otras comunidades no se requiere el embolsamiento del césped y se recogen todos los residuos de jardín de forma no seleccionada.

Las principales posibilidades para el reciclaje de residuos de jardín son:

- i. La producción de composta
- ii. Su utilización como combustible biomasa
- iii. La producción de mulch
- iv. Su utilización como material de recubrimiento intermedio en vertederos.

Fracción orgánica de los DSU: Los componentes que constituyen la fracción orgánica de los DSU son: residuos de comida, papel, cartón, textiles, goma, cuero, residuos de jardín y madera. Pueden reciclarse todos estos materiales, bien separadamente o bien de forma no seleccionada. Se pueden seleccionar los componentes mediante la separación en origen o en una IRM⁸, también pueden recuperarse de los DSU en forma no seleccionada mediante la separación de los inorgánicos. La elección del método de recuperación estará controlada por el uso del material o producto final. Los materiales separados en origen normalmente contienen menos contaminantes y exhiben propiedades físicas y químicas diferentes de los componentes no seleccionados.

Las primeras posibilidades de reutilización y reciclaje para los materiales de la fracción orgánica de los DSU son: la producción de composta, de metano, de compuestos orgánicos y combustibles derivados de residuos. Para países como el nuestro -en vías de desarrollo- el uso más común ha sido el compostaje.

⁸ IRM: Instalación de Reciclaje Mecánica.

k) Residuos de construcción y demolición:

Los residuos de construcción y demolición (C/D) proceden de la construcción, remodelación y demolición de edificios, de proyectos de repavimentación de carreteras, de arreglos, de puentes y de limpieza asociada con desastres naturales. Normalmente los residuos C/D están constituidos por un 40-50% de escombros (hormigón, asfalto, ladrillos, bloques y suciedad), un 20-30% de madera y productos relacionados (tocones, ramas, madera de encofrado y estructuras y ripias) y un 20-30% de residuos misceláneos (madera pintada o contaminada, metales, productos basados en alquitrán, yeso, vidrio, bienes de línea blanca, amianto y otros residuos de aislamiento y piezas de fontanería, calefacción e instalaciones eléctricas)⁷.

Aunque actualmente se recupera un porcentaje relativamente bajo de residuos C/D, en el futuro es probable que serán cantidades significativas, como consecuencia de tarifas de vertido más altas, de legislación, u otras razones. Muchos vertederos ya utilizan escombros para la construcción de carreteras y para el recubrimiento diario, lo que puede ser considerado como desvío por los reguladores.

Las posibilidades de reutilización y reciclaje para los residuos C/D dependen de los mercados de materiales individuales en los residuos y de la habilidad para procesar los residuos no seleccionados o para separar cada material. Los principales materiales recuperados actualmente de los residuos C/D son:

- asfalto
- hormigón
- cartón de yeso
- mezcla asfáltica reciclada

- madera

- metales

l) Madera:

Los usos que se le pueden dar a la madera recuperada son diversos, dependiendo de su tipo, calidad y estado de conservación. La madera que se logra recuperar se utiliza para la fabricación de aglutinados que pueden usarse para puertas de tambor, muebles, divisiones, entrepaños para closets y como elementos básicos del amueblado del hogar. Mediante ciertos procesos químicos más complicados, de la madera también se puede obtener "lignina" y "celulosa" que sirven como materia prima para la industria del papel básicamente.

Los residuos de madera son un componente importante de los residuos de jardín y conforman más del 25% de los residuos de construcción y demolición C/D⁷. Los residuos de madera se categorizan según la fuente de generación: residuos de madera cosechada (generados por la limpieza del terreno y las actividades de gestión forestal). Rechazos de fábrica (residuos de productores primarios como fábricas de pulpa y tabla, productores secundarios, tales como fabricantes de muebles y ebanistas); residuos de madera (residuos de jardín, huertos, centros de jardinería y agrícolas).

La reutilización de la madera se ha incrementado durante la última década como consecuencia de las altas tarifas de vertido, programas de desvío de residuos y mercado en desarrollo. Los usos principales son: combustible para calderas, con menores cantidades utilizadas para cubierta de vertederos, alimentación de fábricas de pulpa y papel, cubierta intermedia de vertederos y

compostaje de los fangos de plantas de tratamiento de aguas residuales. La fracción fina se utiliza para el compostaje y enmiendas de suelo. La viruta en polvo y las astillas pequeñas y limpias son muy deseadas como lechos para animales.

Para tener éxito, el procesamiento de la madera requiere un mercado estable y un suministro fiable de materias primas. Muchos procesadores de madera están asociados con las IRM o firman acuerdos para procesar residuos de madera en vertederos con grandes suministros de material y amplio espacio para camiones y transportistas. El operador del vertedero puede renunciar a la tarifa normal para verter los residuos de madera, que se desvían a la zona de procesamiento de madera y los procesadores cobran una tarifa reducida para recuperar parte de sus costos de operaciones. Las tarifas de vertido varían según la deseabilidad de los residuos; por ejemplo, algunos procesadores pueden cobrar altas cantidades por tocones grandes, pero nada por residuos limpios astillados llevados por compañías de mantenimiento de árboles.

Los residuos de madera llevados a una instalación son inspeccionados para localizar la madera contaminada (madera tratada a presión, pintada a presión, etc.) y los materiales no deseados, como suciedad, rocas o basura. Las plantas que procesan madera residual para combustible de calderas pueden separar residuos de construcción, residuos de demolición, matorral, ramas y residuos verdes. Como el volumen y el tipo de material varían con la temporada del año, los procesadores a menudo trabajan con horario intermitente; por ejemplo, un procesador puede permanecer abierto durante las horas de negocio normales, pero almacenar el material durante varias semanas hasta que haya suficiente como para mantener ocupada a una planilla. El corazón del equipo de procesamiento es una cuba trituradora o una trituradora comercial grande que se utiliza para triturar los residuos.

Después de triturar los residuos, normalmente, se utiliza un trómel para separar las astillas útiles de las finas, pero el material grande se lleva con las astillas y ha que rastrillarlo manualmente. Un método alternativo es pasar todo el material de la cuba trituradora a través de una clasificadora, que es una transportadora que utiliza discos giratorios para llevar el material grande a la parte superior y dejan caer al fondo las astillas y las virutas útiles. Después se criba (limpiar de impurezas) el flujo combinado de astillas y viruta, los materiales grandes de la clasificadora se devuelven a la cubeta trituradora. Como las clasificadoras son caras, los operativos pueden usar dos trómeles en serie, uno de los cuales es para el material grande. Algunos procesadores incluso venden el material de la cuba trituradora directamente y utilizan sistemas manuales para separar el material grande y las basuras.

m) Aceite residual: Se estima que la mayor proporción de aceite residual derivado de petróleo esta asociado a usos de automóviles y otro tanto igual fué generado industrialmente. Los aceites de vehículo incluyen: aceites de cárter, aceites de motores diesel y fluidos de transmisión, frenos y dirección asistida. Las fuentes de aceite de vehículos son los propios usuarios, talleres mecánicos, estaciones de servicio y flotas de camiones, taxis; instalaciones militares e instalaciones industriales y de fabricación. El aceite industrial residual incluye: aceite de mecanización, aceites hidráulicos, aceites de elaboración, aceites lubricantes y aceites de cárter.

Los aceites residuales a menudo contienen metales, disolventes clorados y diversos compuestos orgánicos, incluyendo aquellos listados como contaminantes de prioridad. La presencia de metales como arsénico, bario, cadmio, cromo y cinc es consecuencia, normalmente del desgaste de los motores y cojinetes, o de la inclusión de estos metales en aditivos del aceite.

Un contaminante común es el plomo en la gasolina con plomo, aunque está disminuyendo significativamente la concentración al mismo tiempo que se incrementa el consumo de combustible sin plomo. Disolventes clorados, como PCB's se encuentran en el aceite residual como consecuencia de mezclas ilegales y fortuitas. La presencia de diversos compuestos orgánicos como benceno y naftaleno, normalmente está asociada al mismo aceite base.

Desde el punto de vista de la conservación de la energía, el reciclaje del aceite residual es un uso eficaz de los recursos. Los procesadores o refinadores tratan la mayor parte del aceite residual que pasa por el sistema regulado o gestionado y la mayor parte de los rechazos pesados del procesamiento pueden utilizarse junto con productos asfálticos para carreteras.

El aceite usado puede pasar por el proceso de regeneración o de refinado. En el proceso de regeneración, los reprocesadores utilizan el calentamiento y la limpieza suaves para separar sedimentos de fondo, agua, material en suspensión y ceniza; sin embargo, no se reducen significativamente las cantidades de metales orgánicos y volátiles, el producto final sólo es apto como combustible.

Los sistemas de reprocesamiento normalmente implican: asentamiento, calentamiento, filtración en vacío y centrifugación. En el proceso de refinado se utilizan tecnologías similares a las de los reprocesadores para separar sedimentos y agua, así como un tratamiento avanzado para separar contaminantes volátiles y metales, lo que permite la reutilización del aceite como aceite lubricante. Cabe señalar que un proceso que se está haciendo cada vez más popular es el proceso Kinetics Technology International (KTI) en virtud que proporciona una buena producción y calidad de producto, equivalente

al aceite lubricante virgen; por otro lado, es capaz de tratar aceites contaminados con PBC's y otros residuos peligrosos.

n) Baterías ácidas de plomo: La proporción de consumo y cambio de baterías de automóviles, sin incluir aquellas utilizadas para grandes camiones o usos no automotores, como máquinas de césped - jardín y de energía de emergencia; es bastante alta. Debido al alto grado de contaminación por este metal, es necesario tomar medidas legales y técnicas para lograr el mayor desvío posible hacia los vertederos.

En una planta típica de procesamiento de baterías, se aplastan los cargamentos de las baterías y después se separan el plomo, el plástico y el ácido sulfúrico. Se cargan todos los componentes en un horno de reverbero (en el que la llama se dirige hacia abajo desde el techo), donde se reducen los óxidos y los sulfatos a plomo metálico. Se sangra el plomo líquido del horno y los rechazos que todavía contienen aproximadamente el 29 por 100 del plomo original van al alto horno, donde se añaden sílice, hierro y cal como fluidizantes y agentes de barrido.

Aunque se recupera casi todo el plomo restante en el alto horno, la escoria todavía contiene plomo no recuperado y hay que examinar cada partida para determinar si existe peligro de lixiviación. Si el nivel de toxicidad del test de extracción excede las cinco partes por millón, la escoria debe evacuarse en un vertedero de residuos peligrosos.

Existen nuevas tecnologías que cumplirán los requisitos ambientales y producirán menos escoria. Una es la utilización de un horno de hogar rotatorio;

en lugar de los hornos de reverbero y altos. La escoria resultante difiere químicamente de la escoria de los altos hornos y no se lixivia tan fácilmente.

En el Proceso Engitec Impianti, desarrollado en Italia a finales de los años ochenta, se aplastan las baterías en un molino de martillos y se separan los componentes en una criba vibratoria. Se neutraliza la pasta ácido/plomo, se separan los óxidos de plomo y se recuperan de la disolución el hidróxido de sodio y el ácido sulfúrico, mediante electrodiálisis. Se separan las rejillas, los polos, los separadores del policloruro de vinilo y los fragmentos de polipropileno por medios densos o flotación. Se reducen los óxidos de plomo mediante electrólisis y se combinan con componentes metálicos, después se funde a 400-500 °C y se moldean en lingotes. Además del plomo se recuperan el polipropileno y el ácido sulfúrico de batería para su reutilización y se asegura que el método Engitec Impianti no produce residuos peligrosos.

o) Pilas domésticas: La mayoría de los consumidores no saben que las pilas domésticas son una fuente potencial de metales tóxicos y pocos países intentan recuperarlas. En los pocos programas que existen, se recogen la mayoría de las pilas en tiendas de bienes de consumo eléctricos, en joyerías y en algunas IRM. El reciclaje es difícil porque muy pocas compañías tienen la tecnología para procesar las pilas domésticas y no hay una infraestructura de recogida conveniente. Además las pilas "botón" mezcladas son difíciles de seleccionar y pueden presentar un peligro de almacenamiento debido a emisiones de vapor de mercurio. Los consumidores no deberían mezclar las pilas con los residuos domésticos, deberían entregarlas durante promociones de recogida especiales o ponerse en contacto con organizaciones o grupos organizados que pueden evacuarlas correctamente. No son reciclables las pilas alcalinas y de cinc - plomo y

debido al contenido de mercurio deben evacuarse en vertederos de residuos peligrosos. Solamente son reciclables las pilas de botón de óxido de mercurio y óxido de plata o las pilas de níquel-cadmio, aunque por un precio determinado un procesador podría desactivar y evacuar las pilas de litio.

2. RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y RECUPERACIÓN DE MATERIALES EN LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO.

2.1 Características generales del municipio

Quetzaltenango es uno de los 22 departamentos de la República de Guatemala, ubicado en el altiplano occidental, con una altura de 2,333 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con una extensión territorial de 1,951 km² esta conformado por 24 municipios.

El clima es frío, lo cual se debe en gran parte a su elevación, con una marcada variación en la época de lluvias. Cuenta con una población estimada para 1997⁹ de 550,578 habitantes, con una agrupación étnica del 64% indígena y un 36% ladina, de los cuales el 49% son varones y el 51% mujeres; con una densidad de población de 282 habitantes por Km²; de sus pobladores (población de quince años y más de edad) se tienen 187,948 alfabetos y 88,514 analfabetos, haciendo una relación analfabetos/alfabetos del 47%.

El municipio de Quetzaltenango cuenta con una extensión territorial de 120 km², que incluyen 10 zonas urbanas, aldeas, caseríos, parajes y cantones. Tiene una población estimada para 1997⁶ de 119,768 habitantes, con una agrupación étnica del 64% indígena y un 36% ladina, de los cuales el 68% son varones y el 32% mujeres; con una densidad de población de 998 habitantes por Km²; de sus pobladores (población de quince años y más de edad) se tienen 58,365 alfabetos y 9,139 analfabetos, haciendo una relación analfabetos/alfabetos del 16%.

⁹ Fuente: Instituto Nacional de Estadística

La ciudad de Quetzaltenango esta constituida por 10 zonas urbanas y está catalogada como la segunda ciudad del país, después de la ciudad capital.

La población estimada para 1997⁶ de 86,435 habitantes, con una agrupación étnica del 64% indígena y un 36% ladina, de los cuales el 49% son varones y el 51% mujeres; de sus pobladores (población de quince años y más de edad) se tienen 45,565 alfabetos y 4,937 analfabetos, haciendo una relación analfabetos/alfabetos del 11%.

El número de viviendas según la oficina de Catastro Municipal es alrededor de 22,728 viviendas. La tasa de crecimiento del municipio máxima es de 7.19; la mínima de 1.17. La tasa de crecimiento del departamento es de 3.19.

i. Número y tipo de establecimientos con que cuenta el municipio

El municipio de Quetzaltenango cuenta con los siguientes establecimientos:

- i. 3 mercados municipales
- ii. establecimientos comerciales
- iii. industrias
- iv. centros educativos
- v. centros hospitalarios y clínicas médicas
- vi. centros recreativos y turísticos

Los establecimientos comerciales se dividen en: tiendas, negocios y supermercados.

Entre las industrias destacan,

- (a) Cervecería Nacional
- (b) Embotelladora Los Altos
- (c) Licorera Quetzalteca
- (d) Fábrica Rosmo
- (e) Italtex
- (f) Hilaturas Centro Americanas
- (g) Fábrica de tejidos de punto
- (h) Molino Excelsior
- (i) Xelapan, S.A.

2.2 Sistema de recolección y transporte actual de desechos

La composición de basura producida es diferente entre distintas ciudades, dependiendo de muchos factores, de los cuales el nivel de vida de los habitantes juega un papel importante; en las ciudades con nivel más elevado, la cantidad de basura estará compuesta fundamentalmente por materia inorgánica, mientras que para una ciudad con un nivel de vida inferior en su mayoría será materia orgánica.

En la ciudad de Quetzaltenango, del total de la basura producida, el mayor porcentaje consiste en materia orgánica, especialmente restos de verduras, frutas, etc., lo cual hace que el peso de basura producida por persona sea alrededor de 0.88 Lb/habitante/día (0.40 Kg/habitante/día). El total de producción diaria en la ciudad es de 45.6 toneladas/día¹⁰

¹⁰ Departamento de aseo y ornato, Municipalidad de Quetzaltenango,

El total de basura tiene una composición del 70% de basura orgánica y del 30% inorgánica. Con una densidad de alrededor de los 265 Kg/metro cúbico y una humedad del 53%¹¹.

El sistema de recolección de basura cubre en lo posible el casco urbano de la ciudad en un 90%, en lugares accesibles y que sea factible, esto debido a que en zonas suburbanas la gente entierra la basura orgánica en los terrenos que poseen o bien queman aquella que está compuesta por plásticos, hojas, ramas, etc., lo que conforma el restante 10%.

El sistema de recolección recoge los siguientes tipos de desechos sólidos:

- a) Basura doméstica, a través del sistema de recolección domiciliar.
- b) Basura de establecimientos comerciales, a través del sistema de recolección comercial.
- c) Basura de centros educativos, recreativos y comerciales municipales.
- d) Basura proveniente del barrido y limpieza de calles y avenidas.
- e) Otro tipo de basura que pudo ser evaluado como peligrosa es la de hospitales, clínicas, industrias, etc.

El servicio de extracción, tanto domiciliar como comercial, está a cargo de una empresa privada con supervisión de la municipalidad, en calidad de concesión. El servicio de recolección de basura de mercados, parques, calles, avenidas, establecimientos deportivos, etc., está a cargo de la municipalidad.

Se tienen diariamente 5 rutas domiciliarias y 3 comerciales que incluyen los hospitales, centros educativos, mercados; la recolección se realiza una vez

¹¹ Monzón Lopez, Edelman Candido. PROPUESTA DE RECOLECCION Y MANEJO DE LOS DESECHOS SOLIDOS EN LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO. 1998.

por semana y se realiza en la puerta de las viviendas, el horario es a partir de las 6:30 de la mañana hasta finalizar el recorrido, en la recolección domiciliar y la comercial en horas de la mañana para evitar molestias.

Los receptáculos utilizados para la recolección de basura domiciliar como comercial, consisten en bolsas de plástico negro y verde, negro para desechos orgánicos y verde para inorgánicos, la tarea asignada para la recolección entonces es limitada a colocar la bolsa en el camión recolector y transportarla al lugar de disposición final.

2.3 Disposición final actual de los desechos sólidos

La disposición final de los desechos sólidos en la ciudad de Quetzaltenango se realiza por medio de las técnicas de la elaboración del Compost, para la materia orgánica, la clasificación de los materiales susceptibles de reciclaje (pendiente de montaje), también el relleno sanitario para la disposición de aquellos materiales que no puedan o no se logren recuperar o convertir en Compost.

Actualmente no existe la recuperación de materiales susceptibles de ser reciclados de forma sistematizada; se está implementando una planta separadora de basura, cuyo objetivo fundamental es el de clasificar de la basura aquellos materiales que se puedan reciclar y el material orgánico para la elaboración del Compost.

Para la separación de la basura, se utilizará una banda transportadora de basura, accionada por motor eléctrico; una separadora electromagnética y de materiales de baja densidad, así como una prensa hidráulica para la reducción de latas y equipo necesario para enfardar los materiales. La clasificación se realiza en parte con operarios.

Mientras se implementa la planta clasificadora de desechos sólidos, la disposición final se realiza en el relleno sanitario, en donde se han mezclado cantidades considerables de material recuperable con materia orgánica, lo que ocasiona una pérdida de recursos, tanto económicos como ambientales.

Para los desechos de hospitales, aún no se toman las medidas para prevenir que estos vayan a parar indiscriminadamente a los rellenos sanitarios. Actualmente se encuentran desarrollando los mecanismos que ayuden a dar tratamiento a este tipo de residuos, empezando con el método de recolección que más se adecue a cada necesidad.

2.3.1 Compostaje

La composta o compost es un producto negro, homogéneo y por regla general, de forma granulada, sin restos gruesos. Es un producto húmico y cálcico, un fertilizante químico. Por su aportación de oligoelementos al suelo, su valor es muypreciado. Se obtiene a partir de la fermentación de basura orgánica, también se le conoce como "humus".

Con la excepción de componentes plásticos, de goma y de cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los DSU se puede considerar compuesta por proteínas, aminoácidos, lípidos, hidratos de carbono, celulosa, lignina y ceniza. Si se someten estos materiales orgánicos a descomposición aeróbica microbacteriana, el producto final después de cesar casi toda la actividad microbiológica es un material de humus comúnmente conocido como "composta".

Este proceso es conocido desde hace tiempo atrás, dando inicio en la India en donde le llamaron Indore. Este proceso constaba de una período de 6

meses o más, con dos sesiones de volteo de los materiales putrefactibles, lo que originaba un proceso anaerobio durante todo el tiempo. Se ha modificado extensamente el proceso Indore, la más importante innovación es que el volteo del material en fermentación es más frecuente, para mantener en condiciones aeróbicas o facultativas y para acelerar el período de compostaje.

La mayoría de las operaciones modernas de compostaje están constituidas por tres pasos básicos:

1. Preprocesamiento de los DSU
2. Descomposición de la fracción orgánica de los DSU
3. Preparación y venta de la composta final.

En el procesamiento de los DSU para el compostaje son pasos esenciales la recepción, la separación de materiales recuperables, la reducción en tamaño y ajuste de las propiedades de los residuos (por ejemplo, relación carbono-hidrógeno, adición de humedad y nutrientes). El grado de preprocesamiento depende de los procesos específicos de compostaje empleados y de las especificaciones para la composta final.

Para cumplir con el paso de descomposición se han desarrollado varias técnicas, incluyendo hileras, pilas estáticas y compostaje reactor. En el compostaje en hileras por ejemplo, se colocan los DSU separados en hileras dentro de un campo al aire libre. Se voltean las hileras una o dos veces por semana durante un período de compostaje de 4 a 5 semanas. Durante este tiempo, la porción biodegradable de la fracción orgánica de los DSU se descompone mediante diversos microorganismos que utilizan la materia orgánica como fuente de carbono (comida).

La actividad metabólica de los microorganismos altera la composición química de la materia orgánica prima, reduce el volumen y el peso de los residuos, e incrementa el calor del material que es fermentado. Volteando la pila del compost se proporciona oxígeno para el proceso de descomposición y se controla la temperatura de los residuos fermentados. Cuando se agota la materia orgánica fácilmente biodegradable, se reduce la actividad bacteriana, la temperatura del material fermentado empieza a bajar y se completa la primera etapa del proceso de compostaje.

El material fermentado normalmente se cura durante un período de 2 a 8 semanas más, en hileras abiertas para asegurar su total estabilización.

La preparación y la comercialización del compost, el tercer paso en el proceso del compostaje, tiene lugar una vez curada y estabilizada la composta. Actualmente no hay ninguna definición universalmente aceptada sobre lo que constituye una composta totalmente estabilizada. La preparación y comercialización del producto puede incluir trituración fina, cribado (limpiar de impurezas), poner en sacos, almacenar, transportar y en algunos casos, vender directamente.

Aunque es fácil comprender conceptualmente el proceso de compostaje, en la práctica, el diseño y el control del proceso son algo complejos. Existen importantes variables en el proceso que se deben considerar en el diseño y operación de las instalaciones de compostaje, incluyendo el tamaño de partícula y la distribución del tamaño de partícula en el material que se va a fermentar, las necesidades de siembra y mezcla, el horario necesario de mezcla/volteo, las necesidades totales de oxígeno, el contenido en humedad, la temperatura y control de temperatura, la relación carbono - nitrógeno de los

residuos que se van a fermentar, el pH, el grado de descomposición, la tasa de respiración y el control de patógenos.

Los dos métodos principales de compostaje utilizados actualmente pueden clasificarse como agitado y estático. En el método agitado, se mueve periódicamente el material que se va a fermentar para introducir oxígeno, controlar la temperatura y mezclar el material con el fin de obtener un producto más uniforme. En el método estático, el material que se va a fermentar permanece estático y el aire es inyectado a través del material fermentándose. Los métodos de compostaje agitado y estático más comunes son conocidos como métodos de hilera y pila estática, respectivamente. Los sistemas comerciales de compostaje en los que se lleva a cabo el compostaje en algún tipo de reactor son conocidos como sistemas de compostaje en reactor.

El compostaje es una opción cada vez más popular, de gestión de los desechos mientras las comunidades buscan formas de desviar porciones del flujo local de desechos fuera de vertederos. Las principales aplicaciones del compostaje son para:

1. Residuos de jardín
2. Fracción orgánica de los DSU
3. DSU no seleccionados parcialmente procesados
4. Co-compostaje de la fracción orgánica de los DSU con fangos de aguas residuales.

Principales ventajas

1. **Actividad física:** Da cuerpo a las tierras ligeras y muelle (ablanda) a las compactas, evita la formación de costras, facilita el laboreo, mejora la aireación de las raíces, incrementa la capacidad de retención del agua con la consiguiente economía de la misma y regula la permeabilidad y drenaje de los suelos.
2. **Actividad química:** Con arcilla, el humus forma un complejo arcilloso-húmico que funciona como regulador de la nutrición vegetal, aumenta la capacidad de intercambio de iones; economiza y hace más asimilables los abonos minerales; aminora la retrogradación del potasio; mantiene el fósforo en estado asimilable debido a la formación de complejos fosfo-húmicos; cura y previene la clorosis férrica; proporciona gas carbónico que fomenta la solubilidad de los elementos minerales; permite obtener productos de mejor sabor; con mayor capacidad de conservación y mayor resistencia al transporte.
3. **Actividad biológica:** El humus revitaliza el suelo al aportar microorganismos útiles; hace las veces de soporte de microorganismos que viven a sus expensas y lo transforman; aumenta la resistencia de las plantas a todo tipo de enfermedades; está exento de semillas y malas hierbas, por las altas temperaturas que soporta durante la fermentación, con lo que se elimina cualquier posibilidad de contaminación.

2.4 Leyes o reglamentos vigentes del tratamiento de los desechos sólidos urbanos en la ciudad de Quetzaltenango.

A nivel gubernamental no se ha dictado aún alguna disposición de carácter nacional , a excepción de la Ley de Protección y mejora del medio ambiente.

A nivel de la corporación Municipal ha aprobado el Reglamento para el manejo de los residuos sólidos del área urbana del Municipio de Quetzaltenango¹². Entre los aspectos de importancia recogidos en el reglamento en mención podemos citar.

1. La responsabilidad de la Municipalidad al propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico.
2. La delegación de funciones a empresas que sean capaces de poder prestar servicios de extracción, acopio, recuperación de materiales de los DSU, bajo la tutela de la Municipalidad.
3. Fomento de la clasificación de la basura desde el origen.
4. Establecimiento de categorías, que buscan mejorar el servicio y tener un sistema con un costo justo y eficaz.
5. Establecimientos de acopio y de recuperación de materiales.
6. Operación, manejo y supervisión de un relleno sanitario.

¹² Decreto No. 68-86 del Congreso de la República.

7. Sanciones, multas por infringir el reglamento, tanto a los usuarios como a las dependencias que prestan el servicio.

3. PROPUESTA DE DISEÑO

Actualmente en la ciudad de Quetzaltenango se ha implementado la recolección selectiva, es decir, se depositan en un recipiente los materiales orgánicos y en otro los inorgánicos, lo que ha dado como resultado una efectiva razón de tratamiento de los desechos sólidos.

Desafortunadamente, no en todos los recipientes de productos orgánicos o inorgánicos estos se encuentran solos, en algunos casos vienen mezclados, lo que dificulta la recuperación de los materiales reutilizables y la calidad de material que se emplearán en la preparación del compost, esto trae como consecuencia que muchos vayan a parar al relleno sanitario.

Para evitar esto la instalación de una banda transportadora brindó, en parte, una solución factible, debido a que se necesita aglomerar grandes cantidades de basura para hacerla económicamente rentable y además necesita de una cantidad de operarios considerable (24 operarios), a estos sumado la gente que realizaba el embalaje y la acumulación para su posterior venta; todo esto afectó la venta, por la suciedad de los productos, la combinación de distintas calidades que existía, como por ejemplo los distintos tipos de plástico, vidrio, papel, etc.. Y en la elaboración del compost, la mayoría de las veces el material está mezclado con trozos de plástico, metal, etc., materiales que no se descomponen lo que hacía necesario prescindir de éste y enviarlo al relleno.

Ahora el proceso está diseñado para que se mejore la calidad de los productos y además sea realizado de una forma segura y en el menor tiempo posible, agregándole al proceso existente componentes mecánicos.

3.1 Descripción general del proceso

El proceso está dividido en:

- i. Volteo
- ii. Rompimiento de las bolsas
- iii. Nivelación
- iv. Trampas magnéticas¹³ y selector magnético
- v. Selección de vidrio
- vi. Selección de papel y cartón
- vii. Selección de plástico
- viii. Selección otro tipo de materiales (baterías, metales no ferrosos, trapo)
- ix. Selector de materiales de baja densidad
- x. Embalaje de productos y traslado a bodega
- xi. Elaboración del compost.

El proceso inicia desde que el camión deja las bolsas en el suelo y los operarios se disponen a vaciarlas y colocar el contenido sobre una caída en un plano inclinado de aproximadamente tres metros (9.8 pies), que la conduce hasta la banda transportadora, en este punto dos operarios rompen todas las bolsas pequeñas que pudieran estar presentes, vaciando el contenido sobre la banda.

Al estar la basura fuera de los recipientes y mezclada y debido a la velocidad con que se rompen las bolsas, para evitar aglutinaciones en algunos espacios y en otros grandes vacíos, se coloca una barra de hierro a una altura de 7 pulgadas, sobre el nivel de la banda.

¹³ Las trampas magnéticas duplican el trabajo del selector, pero se encuentran instaladas si en algún momento llegara a fallar este y para aumentar la efectividad de la recuperación.

Después de ser nivelado los desechos pasan por el selector magnético y las trampas magnéticas, que su función es separar todos aquellos materiales ferrosos que se encuentran presentes de forma mecánica y continua, depositándolos en el recipiente que se encuentra fuera de la banda.

El vidrio, por el grado de peligrosidad que representa en las etapas anteriores de recolección, debería de recuperarse desde el inicio, pero el inconveniente que presenta es la poca visibilidad en la mayoría de los casos, lo que hace necesario que se realice en dos etapas: una al inicio, inmediatamente después de la recuperación de los metales ferrosos, y la otra después de la recuperación del plástico, que en igual caso que este se selecciona todo sin discriminar debido al tiempo que toma la clasificación. Esto se realiza con dos operarios en cada una de las etapas.

A continuación pasa a donde un operario se encarga de extraer todos los trozos o materiales metálicos no ferrosos, para poder realizar de una forma más segura los siguientes pasos. La selección de los trozos de papel y cartón la realizan entre tres parejas de operarios, uno a cada lado de la banda, la primera y la segunda de las cuales seleccionan el cartón y el papel con el mejor aspecto, en cuanto a calidad y limpieza, visual; y la tercera selecciona todos aquellos restos de papel y cartón que no hayan sido seleccionados aún. Las diferentes clases son depositadas en vagones para su posterior embalaje, acumulación y venta.

Para la recuperación del plástico, se utilizan dos parejas de operarios, dos de cada lado de la banda, la primera selecciona todo el plástico que contenga la basura y la segunda lo que no pudo ser recuperado por la primera, en esta parte del proceso no se hace una selección de acuerdo a calidades,

colores o clases debido a que es más complejos y necesita de una cantidad de tiempo mayor.

Luego de todo el proceso está casi completo, por lo que resta únicamente recuperar los materiales que deben ir directamente al relleno sanitario, debido a que por el momento no tienen un valor de recuperación considerable, realizado por dos operarios, uno a cada lado de la banda, los que deberán distribuir de una manera homogénea los restos, que debe ser materia orgánica, para la etapa posterior.

La siguiente etapa del proceso está diseñada para mejorar la calidad de los materiales¹⁴ que se van a utilizar para la elaboración del compost, esto se realiza continuando el proceso con una banda elevadora de hule, que los coloca a una altura de 6.5 pies dejándolos caer en donde con una capa de aire son impulsados fuera de estos los materiales de baja densidad, papel, plásticos, que por su tamaño, pequeño, no fueron seleccionados anteriormente, luego por gravedad los materiales pesados caen a los vagones en donde se rocían con acelerantes de descomposición y se trasladan a los patios en donde se elabora el compost, mientras los materiales de baja densidad caen en otro recipiente y se trasladan al relleno.

El embalaje y venta de los productos es de acuerdo a su calidad. La elaboración del compost se realiza de acuerdo al método descrito anteriormente.

¹⁴ Materia orgánica

3.1.1 Separación de metales ferrosos

Entre los desechos sólidos urbanos se encuentra una cantidad razonable de materiales ferrosos que inciden en la calidad y seguridad de clasificación en las demás etapas de recuperación. Los metales ferrosos tienen la ventaja que son atraídos por la fuerza magnética de un imán, esto da la pauta de la facilidad con que pueden ser recuperados los materiales con contenido férrico.

La forma actual que se tiene instalado en la banda transportadora de la clasificadora de desechos sólidos en la ciudad de Quetzaltenango, es utilizando trampas magnéticas en los costados de la misma, el inconveniente surge cuando se acumulan suficiente material y estas ya no son capaces de retenerlas, dejándolo pasar, además para poder acumularlo era necesario que a cierta cantidad de tiempo un operario recogiera lo ya recolectado y lo depositará en un recipiente. Este procedimiento no es nada práctico y además, al dejar pasar material, que en algunos casos es peligroso por causar heridas punzo cortantes, aumenta el riesgo de accidentes para los operarios y además queda mezclado entre el material que se utiliza para la elaboración del compost.

En el proceso propuesto la selección mecánica de materiales ferrosos utiliza una banda transportadora de 18 pulgadas de ancho por 60 pulgadas de largo, que corre perpendicularmente a la banda de 9 metros o principal, la cual está magnetizada por un electroimán que es capaz de atraer un objeto a 10 pulgadas de altura, con un peso no mayor de 1 libra, en un largo total de 44 pulgadas. La velocidad es de 10pies/minuto. Posteriormente a su atracción y debido a la velocidad de la banda es lanzado fuera de la misma, para caer en un recipiente preseleccionado y ser acumulado para su posterior embalaje y venta.

3.1.1.1 Análisis

La dificultad que presenta el proceso de selección mecánica de los materiales ferrosos en los desechos sólidos, es la de levantar los artículos en el tiempo preciso sin importar que tan oculta sea la posición en la que se encuentren, mantenerlo adherido durante el trayecto en lo que se ubica fuera de la banda de 9 metros y luego soltarlo en el momento propicio y con la debida velocidad para que no resbale en la faja de hule y permanezca adherido a ésta y en la misma posición, es por eso que se le dará una velocidad alta para aumentar la cantidad de movimiento y salga disparado al terminar el trayecto magnetizado y caiga en el recipiente, en donde se esté acumulando.

Todo el mecanismo está montado sobre una estructura de hierro en C, accionado con una banda de hule de 5/16 de pulgada de grosor, con una distancia entre ejes de 5 pies, con un ancho de 18 pulgadas, accionada con un motor de 0.5 hp, una velocidad de 800 rpm, unido a un reductor con una relación de velocidad de 51.4:1 y a dos sprockets y una cadena de tipo IS2570A, con un paso de una pulgada.(Ver transmisión de potencia).

Para lograr el movimiento, se consideró que la potencia del motor debía ser la mínima debido a que el peso de la banda y de los materiales impregnados en esta no serían de una magnitud considerable. Para los ejes de la banda de hule se utiliza el mismo diseño que para los ejes del clasificador de baja densidad esto es porque al maquinar los ejes con las mismas especificaciones baja los costos, además que el material nos garantiza un tiempo de vida prolongado.

I. Cálculo de la velocidad:

La banda tiene un ancho de 18"

La velocidad de la banda de 9 metros es de 5 pies/minuto

El diámetro del cilindro de la banda es de 3"

de donde,

La velocidad de la banda del clasificador se considera el doble de la de la banda de 9 metros es decir de 10 pies/ minuto = 120 pulgadas/ minuto.

n = revoluciones por minuto (rpm.)

$$\text{velocidad} = \pi * \text{diámetro} * n$$

$$n = \text{velocidad} / (\pi * \text{diámetro})$$

$$n = 120 / (\pi * 3) = 13 \text{ rpm}$$

I. Motor eléctrico

Se seleccionó un motor eléctrico debido a su constancia de trabajo con 0.5 hp, 800 rpm, 220- 460 voltios.

Para la reducción de la velocidad se acopla un reductor de 0.5 hp, con una relación de 51.4:1, para obtener una velocidad de salida de 15.7 rpm.

II. Transmisión de potencia

Para la transmisión de potencia se realiza por medio de cadenas, para lo cual se recurre al catalogo de la Jeffrey Chain¹⁵, según el método descrito así:

Paso 1: Determinar la combinación del factor de servicio multiplicado por el factor de servicio individual dado en la tabla 1. (anexo 2)

	factor
Para golpes moderados	1.3
Ambiente moderado sucio	1.2
Operación diaria (8-10 horas)	1.0

$$\text{factores combinados} = 1.3 * 1.2 * 1.0 = 1.56$$

Paso 2: Calcular la potencia de diseño con la combinación del factor de servicio y la potencia que se desea transmitir.

$$\text{Potencia que se desea transmitir} = 0.5 \text{ hp}$$

$$\text{Factor de servicio} = 1.56$$

$$\text{hp de diseño} = 0.5 * 1.56 = 0.78 \text{ hp}$$

Paso 3: Utilizando la potencia de diseño y la velocidad (rpm) del sprocket pequeño, establezca la intersección de ambas en la línea más próxima a un tipo de cadena, en la gráfica 1.(anexo 2)

Con $\text{hp} = 0.78$ y Velocidad de 13 rpm en la gráfica.

Se obtiene el tipo de cadena que es el IS2570A

¹⁵ Engineering Class Chain PT- 222A, Jeffrey Chain. Selecting chains and sprockets for drive chain service. Pp 10-23.

Paso 4: Con la potencia de diseño y la velocidad (rpm) refiérase a la tabla 2 (anexo 2), para el tipo de cadena previamente seleccionado en el inciso anterior, para obtener la cantidad de dientes del sprocket pequeño.

Con $hp = 0.78$ y velocidad = 13 rpm en la tabla para IS2570A

Se tiene un sprocket de 9 dientes.

Paso 5: En la misma tabla se observa el tipo de lubricación necesaria para el funcionamiento de la cadena.

Lubricación manual.

Paso 6: Determine el número de dientes del sprocket conducido. Multiplique el número de dientes en el sprocket pequeño por la relación de la velocidad a que se desea mover.

Velocidad en la salida del reductor = 15.7 rpm

Velocidad en la banda = 13 rpm

Relación = $15.7 / 13 = 1.2$

Número de dientes del sprocket conducido = $9 * 1.2 = 10.8 = 11$ dientes

Paso 7: Cálculo del largo de la cadena. Se utiliza la fórmula siguiente:

$$L = 2C + (N + n)/2 + (N - n)/2$$

donde

L= Largo de la cadena

C= distancia entre centros aproximadamente entre 30 y 40"

N= número de dientes del sprocket conducido

n= número de dientes del sprocket conductor

C= 30"

N= 11 dientes

n= 9 dientes

L = 70 eslabones

RESUMEN

Cadena tipo: IS2570A

Largo: 70 eslabones

Distancia entre centros: 30"

Sprocket conducido: 11 dientes

Sprocket conductor: 9 dientes

Potencia transmitida: 0.5 hp

III. Diseño de ejes y estructura¹⁶

En el diseño de los ejes y la estructura, para observar los cálculos se toma de modelo la banda del clasificador de baja densidad, únicamente se adapta a las medidas de 18 pulgadas de ancho por 5 pies de largo. (Ver figura 5,6 y 7).

3.1.1.2 Diseño final

El separador de materiales ferrosos está conformado por:

a) Información de la banda

Ancho de la banda: 18 "

Largo de la banda: 60" = 5' (distancia entre ejes)

Grosor de la banda: $\frac{5}{16}$ "

Velocidad de la banda: 13 rpm

b) Ejes

Material: acero 1020

Diámetro de los ejes: $1 \frac{3}{16}$ "

Largo eje motriz: $23 \frac{13}{16}$ "

Largo eje cola: $21 \frac{13}{16}$ "

c) Electroimán

Dimensiones de las placas: 18 x 44x $\frac{5}{16}$ "

Capacidad de carga: 1 libra

Altura máxima: 15"

d) Chaveta

Material: acero 1018

Medidas: $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$ "

e) Motor

Potencia: 0.5 hp

Velocidad: 800 rpm

Voltaje: 220-460 Voltios

Amperios: 11.90 amperios

f) Reductor

Potencia: 0.5 hp

Relación de velocidad: 51.4:1

Velocidad de entrada: 800 rpm

g) Cojinetes

Cojinete No. 106

Vida útil: 4,000 horas

Diámetro interior: $1 \frac{3}{16}$ "

Diámetro exterior: $2 \frac{5}{32}$ "

Ancho: $\frac{1}{2}$ "

No de rodamientos: 11

baja densidad para no redundar en los mismos.

h) Transmisión de potencia

Cadena tipo: IS2570A

Largo: 70 eslabones

Distancia entre centros: 30"

Sprocket conducido: 11 dientes

Sprocket conductor: 9 dientes

Potencia transmitida: 0.5 hp

i) Estructura

Viga en C. (Ver figura 5)

Figura No. 4 Separador de materiales ferrosos (plano general)

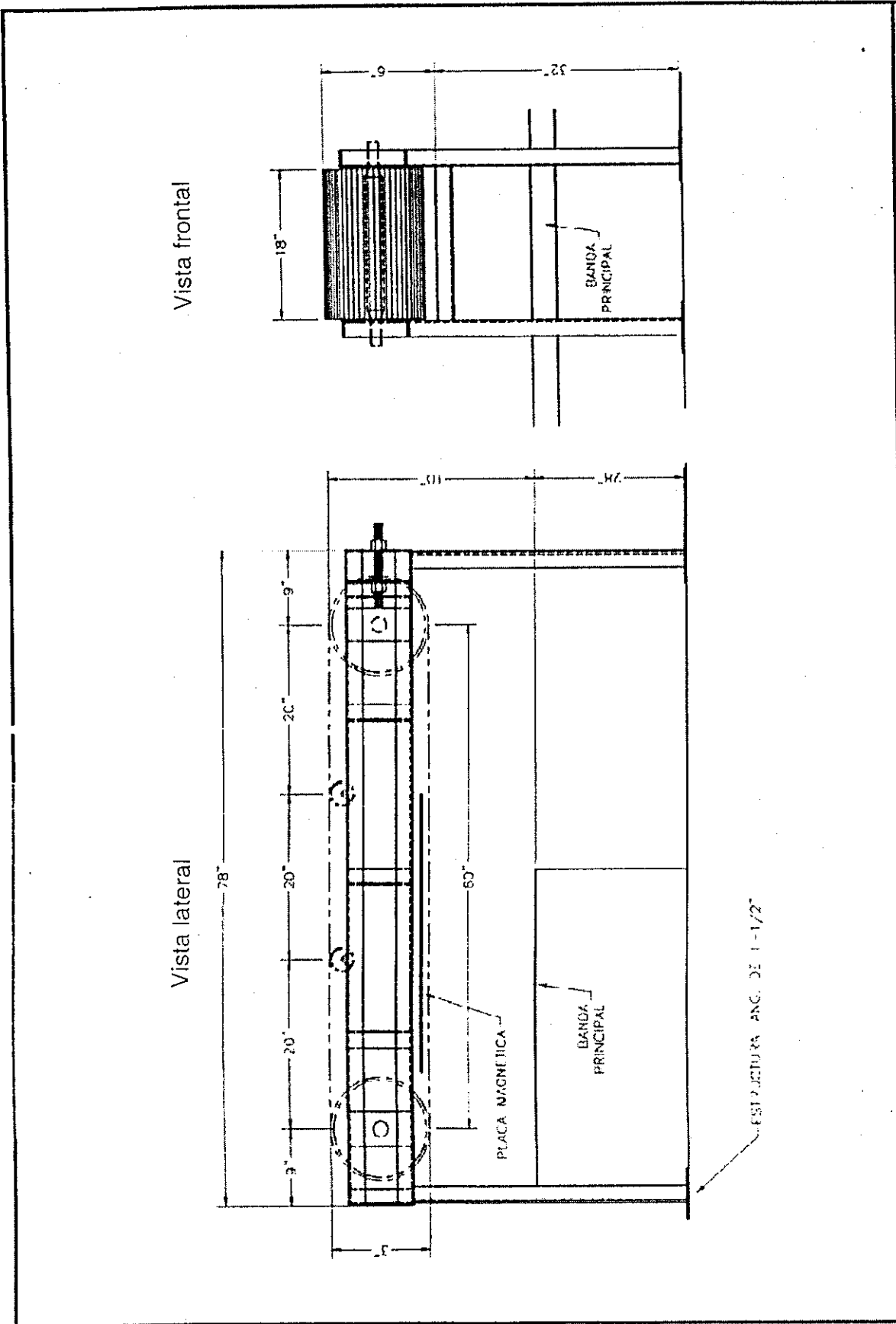
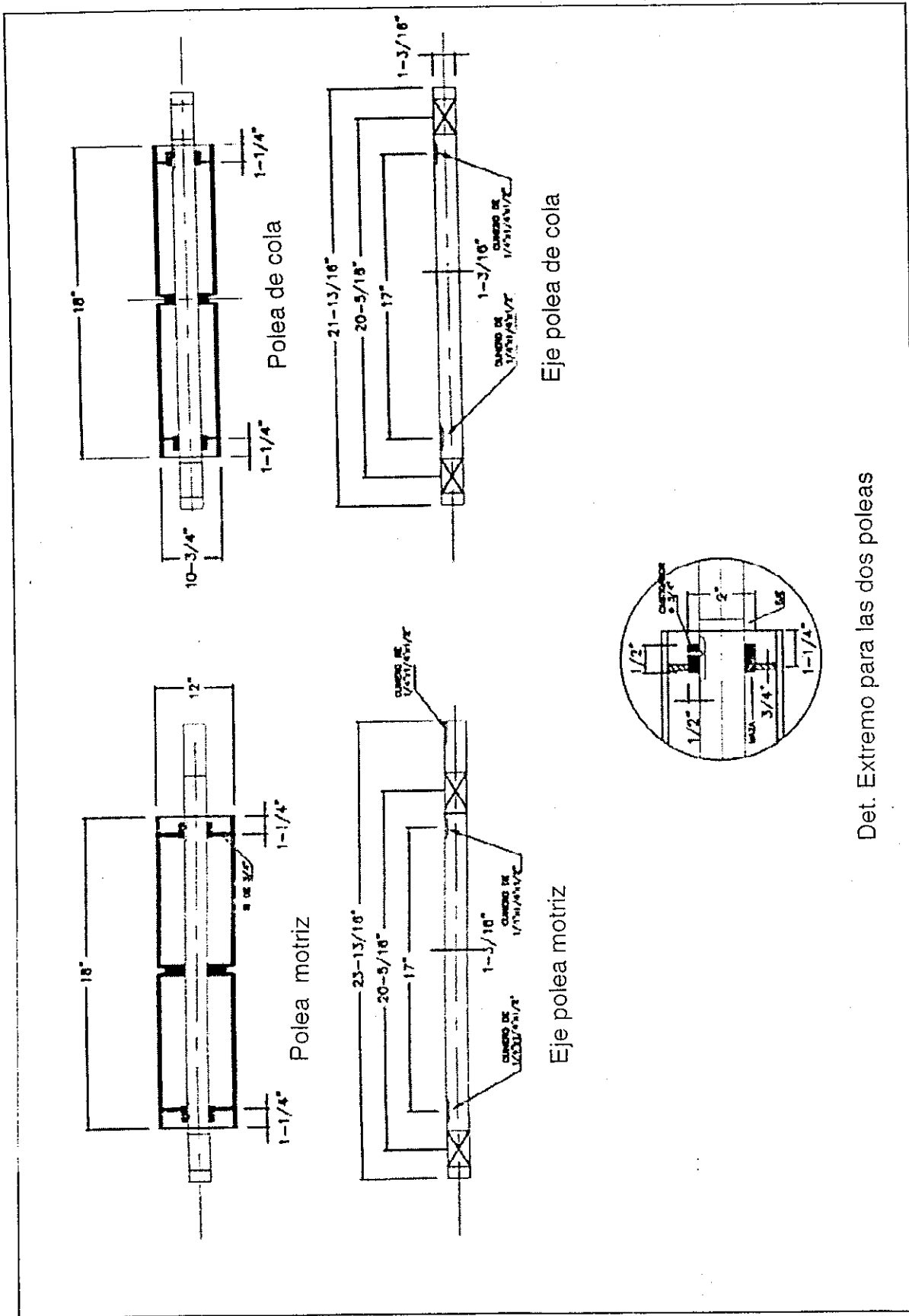


Figura No. 6 Separador de materiales ferrosos (rodillos)



Det. Extremo para las dos poleas

3.1.2. Separación de materiales de baja densidad

Para la separación de materiales de baja densidad (papel, plástico, cartón), únicamente se valora por la cantidad de material reutilizable que es posible recuperar y no como un contaminante, cuando se presenta en pequeños trozos, del material orgánico que se emplea para la fabricación del compost.

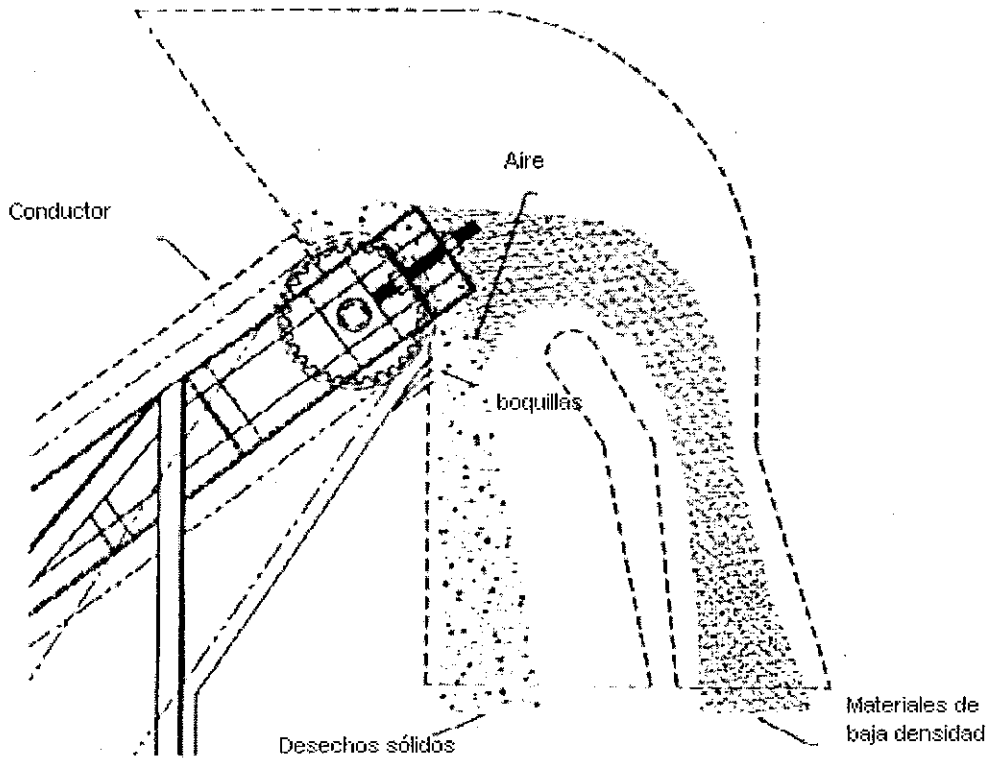
El proceso que se propone, lo realiza de forma mecánica, extrae los materiales de baja densidad cuyas dimensiones no sean mayores de $2 \times 2 \times \frac{1}{32}$ pulgadas, debido a que tamaños mayores que estos son percibibles al ojo humano fácilmente y se pueden recuperar en las etapas anteriores a esta de forma manual y garantizar así su reutilización.

El proceso inicia después de pasar por todas las etapas de recuperación, al caer en una banda transportadora de hule, por medio de un embudo que reduce a la mitad el caudal de material, la banda es accionada por un motor eléctrico, que eleva los materiales a una altura de dos metros (6.5 pies), necesaria para su posterior caída por gravedad, al estar en el punto máximo los desechos sólidos, en donde se encuentra ubicado un recipiente de forma semiesférica, en cuya base de la banda hay instaladas boquillas que dejan salir aire comprimido que al soplar una delgada película de aire, hacen que el material pesado caiga con una mínima variación angular, con respecto a la vertical que se forma entre el extremo superior de la banda y el suelo, mientras que , los materiales de baja densidad tienen una marcada variación angular (Ver Figura 8), porque tratan de seguir el recorrido del aire.

Al aprovechar el procedimiento antes descrito se instala un tabique de forma que separe la caída de los materiales. En el extremo pegado junto a la

base de la banda, se coloca el recipiente de los materiales pesados y en el extremo alejado a la base se coloca el recipiente de los materiales de baja densidad.

Figura 7 Separación de materiales de baja densidad



A los materiales recuperados de baja densidad se deben evaluar para ver si es factible mandarlos al centro de acopio para su venta o si conviene mandarlos al relleno sanitario. A los materiales pesados que en este caso serán desechos orgánicos solo resta mezclarles un acelerante de la descomposición y el posterior traslado al lugar en donde se acumula para su venta.

3.1.2.1 Análisis

La opción de diseño que se toma como etapa inicial da varios aspectos que influyen en la optimización del sistema, uno de ellos es la elevación de los materiales a la altura conveniente para la utilización de la cortina de aire, considerándose esto como el factor crítico del diseño. Por esta razón se tienen dos opciones de diseño, la utilización de cadenas elevadoras del tipo UNIÓN 698 con tablillas de madera y la otra con una banda transportadora de hule.

El modelo que se propone es con una banda de hule, la opción con la cadena elevadora se descarta debido a que con la elevación se aglomera en uno de los extremos el material y hace que a la hora de caer por gravedad la cortina de aire no cumple con su cometido. La banda transportadora debe de circular con una velocidad relativamente mayor, que la banda de 9 metros, debido a que esta es el doble de capacidad.

Para la homogeneización del material se instala una barra niveladora a una distancia de 5 pulgadas sobre la altura de la banda.

El largo propuesto esta basado en la altura que se desea, tomada desde el nivel del suelo, de 6.5 pies, medida que se requiere para poder instalar el equipo y por las limitaciones de espacio, ya que si se desea se puede elevar mucho más.(ver figura 9)

La cortina de aire, es producida por un compresor, un depósito y unas boquillas de aire colocadas de forma escalonada, tres escalones, ubicadas inmediatamente debajo de la banda, cada fila de las tres esta unida a una llave de paso para facilitar el recambio.

La estructura del separador es de lámina en C, soldada y atornillada. (Ver figura 10 y 11).

a) Velocidad de la banda

Ancho inicial del embudo: 36"

Ancho final del embudo: 18"

Ancho de la banda: 18"

Largo de la banda: 126" = 10.5'

Inclinación de la banda : 38.659°

Grosor de la banda: 5/16"

Altura propuesta de los materiales transportados: 2"

Cantidad de basura por día: 40 toneladas

Cantidad de basura orgánica: 70 %⁸

Cantidad total de basura orgánica: 28 toneladas

Tiempo de trabajo por día: 8 horas

Ritmo de línea: 1.94 libras de basura orgánica / segundo

Si la densidad de la basura es de 104.5 pulgadas³/libra, tendremos un flujo de volumen de,

libras/segundo * 104.5 pulgadas³/libra = 203.18 pulgadas³/libra

con un área transversal de 2 pulgadas de alto por 18 pulgadas de ancho y con un flujo de volumen igual a las 203.18 pulgadas ³/libra, tenemos una velocidad lineal

$$\text{Velocidad del conductor} = 203.18 / 2 * 18 = 5.64 \text{ pulgadas / segundo}$$

$$\text{Revoluciones por minuto} = V * 60 / \pi * d$$

donde

V = velocidad del conductor

d= Diámetro del eje conductor

así,

$$\text{rpm} = 5.64 * 60 / \pi * 12 = 8.98 = 9 \text{ rpm}$$

b) Diseño de ejes

IV. Longitud de los ejes

Hay dos ejes de diferentes longitudes, motriz y cola, la diferencia estriba en que al eje motriz lleva acoplado el sprocket para el movimiento. Además de esto lleva 4 rodillos para mantener la horizontalidad de la banda. Los datos de diseño de los rodillos únicamente se especifican el diámetro y largo al fabricante.¹⁷

¹⁷ Fabricante es LINK BELT, y la información está en los catálogos.

Por motivos de diseño los ejes extremos (motriz y cola) se tomarán de las mismas dimensiones aunque el diseño final presenta las cantidades reales (Ver figura 11). La longitud de los ejes está dada por la suma de las siguientes cantidades:

- i. Ancho de la banda: 18"
- ii. Dos holguras entre la banda y la estructura: $13/16$ "
- iii. La parte que se monta sobre la estructura: 3"

Longitud total: $21\ 13/16$ "

Para los rodillos se han previsto las siguientes especificaciones,

- i. Longitud del rodillo: 18"
- ii. Diámetro del rodillo: 3"

El eje motriz, que toma la potencia del motor lleva acoplado un sprocket, su longitud total es de $21\ 13/16$ pulgadas, más 2 pulgadas o sea de $23\ 13/16$ pulgadas en total.

II. Diámetro de los ejes

El cálculo del diámetro de los ejes se basa en los siguientes postulados:

Información disponible:

- i. Cargas de trabajo ligeras (lleno y vacío)
- ii. Longitud de luz entre cojinetes: 21"

Hipótesis de trabajo:

- i. Se utiliza acero 1020 con un límite de esfuerzo a la rotura S_{yp} de 42,000 Psi, con un límite a la fatiga para material mecanizado de 0.5 S_{yp} .
- ii. Se toma el efecto de la flexión y la torsión combinados
- iii. Un factor de concentración de esfuerzos de $K = 1.5$ (cargas variables).

Criterio de diseño

- i. El material no debe exceder el límite de esfuerzo a la tracción, ni aceptar una deformación igual o mayor del $0.002L$ en flexión y de $0.1^\circ L$ por torsión¹⁸.
- ii. Se utiliza la ecuación de esfuerzos combinados de Von Mises, flexión y torsión, sometidos a cargas fijas; y para cargas variables se utiliza la ecuación de Soderberg con la diferencia de carga cuando la banda esta llena y vacía.

Simplificaciones de diseño

- i. La carga está distribuída uniformemente en toda la longitud del eje.
- ii. No todos los ejes son del mismo largo, ni soportan las mismas cargas pero las variaciones no son considerables. La uniformidad en el diámetro de los ejes en cambio, reduce los costos de manufactura.

¹⁸ MACHINE DESIGN. Joseph E. Shigley and Charles E. Mischke. Mcgraw-Hill. United States Of America, 1986. Pp. 37.3 tabla 37-1.

Cálculo del diámetro

II. Utilizando la fórmula de esfuerzos combinados de Von Mises¹⁹ :

$$S_{smax} = \frac{0.5 S_{yp}}{CS}$$

$$S_{smax} = (S^2 + 3S_s^2)^{1/2}$$

de un eje circular macizo,

$$S = \frac{MC}{I} = \frac{32 M}{\pi D^3}$$

$$S_s = \frac{16 T}{\pi D^3}$$

de donde

$$D = \left[\frac{32 CS}{\pi S_{yp}} \left(M^2 + \frac{3 T^2}{4} \right) \right]^{1/3}$$

En donde,

S_{yp} = Límite de resistencia a la rotura

S_{smax} = Esfuerzo cortante máximo

S_s = Esfuerzo cortante por torsor

S = Esfuerzo cortante por flexión

CS = Coeficiente de seguridad

M = Momento flector

T= Torsor

D= Diámetro del eje

La carga que soporta el eje esta dada por:

Volumen de carga del conductor

$$\text{Volumen} = 2 \cdot 18 \cdot 126 = 4536 \text{ pulgadas}^3$$

por la densidad de la basura

$$\text{peso de la carga es} = 4536 \cdot 0.00957 = 43.40 \text{ libras} = 45 \text{ libras}$$

peso aproximado de la banda²⁰

peso total es de 125 libras

peso de los cilindros que se montan en el eje²⁰

peso total es de 63 libras

El peso total es de $= 45 + 125 + 63 = 233$ libras, que se distribuyen a lo largo del eje de 18 pulgadas por lo que la carga distribuida da,

$$\text{Carga distribuida} = W = 233 / 18 = 12.83 \text{ libras / pulgada}$$

¹⁹ El desarrollo de esta ecuación esta fuera de nuestro alcance, se encuentra en: MACHINE DESIGN. Joseph E. Shigley and Charles E. Mischke. McGraw-Hill. United States Of America, 1986. Pp. 13.39.

²⁰ Datos del fabricante. Catálogo de la Link belt para transportadores.

El momento máximo soportado por el eje es

$$M_{\max} = WL^2 / 12 = 12.83 \cdot 21^2 / 12 = 471.5 \text{ libras} \cdot \text{pulgada}$$

El torsor máximo soportado por el eje es

$$T_{\max} = \text{Fuerza} \cdot \text{distancia} = 70 \cdot 6 = 420 \text{ libras} \cdot \text{pulgada}$$

utilizando la fórmula:

$$D = \left[\frac{32 \text{ CS}}{\pi \text{ Syp}} \left(M^2 + \frac{3 T^2}{4} \right) \right]^{1/3}$$

Con,

Syp = Límite de resistencia a la rotura para acero 1020 es = 42000 psi

CS = Coeficiente de seguridad = 2

M = Momento flector = 471.5 libras * pulgada

T = Torsor = 420 libras * pulgada

D = Diámetro del eje

Tenemos que el *diámetro del eje es igual a* $a = 21/32''$

III. Utilizando la ecuación de Soderberg tenemos para esfuerzos variables:

$$\frac{S_{yp}}{CS} = S_{av} + K \frac{S_{yp}}{S_e} S_r$$

De donde,

$$S_{av} = (S + S_s) / 2 \quad S_r = (S - S_s) / 2$$

Si,

$$S = M C / I \quad ; \quad S_s = 16 T / \pi D^3$$

En donde,

S_{yp} = Límite de resistencia a la rotura

S_e = Límite de resistencia a la fatiga

S_{av} = Tensión cortante máxima promedio

S_r = Tensión cortante mínima promedio

S_s = Esfuerzo cortante por torsor

S = Esfuerzo cortante por flexión

CS = Coeficiente de seguridad

M = Momento flector

T = Torsor

D = Diámetro del eje

K = factor de concentración de tensiones

Resolviendo las ecuaciones para:

$$S_{yp} = 42000 \text{ psi}$$

$$S_e = 0.5 S_{yp}$$

$$S_{av} = 3470 / D^3$$

$$S_r = 1330 / D^3$$

$$S_s = 4,800 / D^3$$

$$S = 2140 / D^3$$

$$CS = 2$$

$$M = 471.5 \text{ libras} \cdot \text{pulgada}$$

$$T = 420 \text{ libras} \cdot \text{pulgada}$$

$$K = 1.5$$

D = Diámetro del eje

de donde:

$$D = \left[\frac{2}{42000} (3470 + 1.5(2)1330) \right]^{1/3}$$

Tenemos que el *diámetro del eje es igual a* $= 9/128''$

Por lo que debido a los dos análisis y por obtener un ahorro significativo en el maquinado se tendrá un eje de 1 pulgada con 3/16 pulgada de límite de especificación.

Cálculo de la deformación máxima

a) En flexión

$$Y = \frac{5WL^3}{384EI} = \frac{5 \cdot 12.83 \cdot 21^3 \cdot 64}{384 \cdot 28.5 \cdot 10^6 \cdot 1^4} = 1/32''$$

b) En torsión

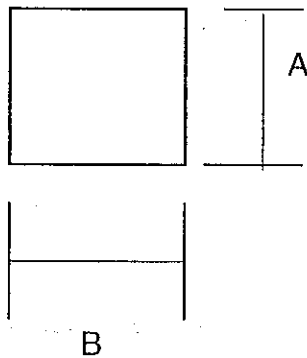
$$\theta = \frac{584 T L}{GD^4} = \frac{584 \cdot 420 \cdot 21}{11 \cdot 10^6 \cdot 1^4} = 0.468^\circ$$

Como la deformación aceptable es a flexión de $0.002L$ y a torsión de $0.1^\circ L$, lo que nos da $3/64"$ y 2.1° respectivamente, con un eje de 1 pulgada de diámetro y 21 pulgadas de luz, por lo que se acepta el diseño y el material.

c) Cálculo de la Chaveta

Información

- i. Material acero 1018 con un límite de resistencia a la rotura de $S_{yp} = 32000\text{psi}$, un límite último a la rotura de 49500psi .
- ii. Sección cuadrada
- iii. El diámetro del eje de 1 pulgada, que gira a 9 revoluciones por minuto, transmite una potencia de 10hp^{21} , mediante un engranaje. El material del eje es acero 1020 de $S_{yp} = 42000\text{psi}$.
- iv. El factor de seguridad es de 2.



$$A=B \quad A = \text{diámetro del eje} / 4$$

$$A = 1/4"$$

$$B = 1/4"$$

²¹ Ver diseño del motor eléctrico.

- Diseño

Cálculo del largo (L)

- de la potencia tenemos

$$hp = TN / 716$$

$$T = 10 \cdot 716 / 9 = 795 \text{ libras} \cdot \text{pulgada}$$

La fuerza es igual a

$$F = T / r = 795 / 0.5 = 1591. \text{ libras}$$

La tensión de trabajo de la chaveta y el eje es:

$$S_{\text{chaveta}} = S_{yp} / CS \quad S_{\text{eje}} = S_{yp} / CS$$

así,

$$S_{\text{chaveta}} = 32000 / 2 = 16000 \text{ psi}$$

$$S_{\text{eje}} = 42000 / 2 = 21000 \text{ psi}$$

La tensión de trabajo en la chaveta es a corte y a compresión, de donde

$$S_{\text{corte}} = F / BL \text{ de donde}$$

$$L = F / BS_{\text{corte}}$$

$$S_{\text{compresión}} = F / (A/2)L \quad L = F / 0.5A S_{\text{compresión}}$$

Utilizando el S_{chaveta} y el S_{eje} , en la fórmula tenemos

Syp	L con tensión a corte	L con tensión a compresión
Chaveta	3/128"	3/64"
Eje	5/32"	1/32"

Tomando como base que el largo no debe ser menor que $3/64$ pulgadas se selecciona el largo de $1/2$ pulgada. Por lo que las dimensiones de la chaveta a utilizar son $1/4 * 1/4 * 1/2$ pulgadas.

d) Selección y cálculo de cojinetes²²

Información

- i. Vida útil de diseño: 4000 horas (500 días de 8 horas/día).
- ii. Velocidad de trabajo: 5.64 pulgadas/ segundo; utilizando ejes de 1 pulgada $\pm 3/16$ de diámetro.
- iii. Carga radial = $F_r = 20$ libras (supuesto)
- iv. Carga axial = $F_a = 89.41$ libras (suponiendo que el peso de la banda y del cilindro actúan puntualmente)
- v. Condiciones de funcionamiento: choques moderados
- vi. Giro de anillo interior.
- vii. Diámetro interior: $1 \frac{3}{16}$ ".

²² Spotts, M.F. PROYECTO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. Trad. De Manuel Velázquez. Editorial Reverté, S.A. España. 1972.

Con estas especificaciones, según la clasificación existente, se selecciona entre los cojinetes No. 106, 206 y 306. La clasificación está basada en una medida a la que se llama la Carga Básica (c).

$$\text{Se tiene } Ne/10^6 = (c/Pe)^3 \quad \text{de donde } c = 10^{-2}PeNe^{1/3}$$

de donde,

Ne = vida de clasificación en revoluciones

Pe = Carga equivalente radial.

Para los cojinetes No. 106, 206 y 306 tenemos una carga básica de:

$$c_{106} = 1039 \quad c_{206} = 1574 \quad c_{306} = 2322$$

con los datos de la información

$$Ne = \text{vida promedio} * \text{velocidad (rpm)} * 60$$

$$Ne = 8000 * 9 * 60 = 4,320,000 \text{ revoluciones}$$

Para determinar la carga equivalente se tiene,

$$Pe = C_1 (XV_1Fr + Yfa)$$

de donde,

C_1 = Coeficiente de servicio

F_a = Componente axial de la carga

X = Coeficiente radial

F_r = Componente radial de la carga

Y = Coeficiente axial o de empuje

V_1 = Coeficiente de rotación de pista

Se tiene:

$C_1 = 2$ (choques moderados)

$F_a = 89.41$ libras

$X = 0.56$

$F_r = 20$ libras

$Y = 2.22$

$V_1 = 1$ (rotación del anillo interior)

Así tenemos:

$$P_e = 2 \cdot (0.56 \cdot 1 \cdot 91 + 2.22 \cdot 40.69)$$

$$P_e = 190.63 \text{ libras}$$

con la fórmula de $c = 10^{-2} P_e N_e^{1/3}$, tenemos

$$c = 10^{-2} \cdot 190.63 \cdot 4,320,000^{1/3}$$

$$c = 310.47$$

Por lo que elegimos el cojinete No. 106, cuyas dimensiones son:

diámetro interior: $1 \frac{3}{16}$ "

diámetro exterior: $2 \frac{5}{32}$ "

No. de rodamientos: 11

Ancho: $\frac{1}{2}$ pulgada

e) Potencia disipada por cojinetes²³

Se asume que la fuerza de fricción está aplicada sobre un círculo cuyo diámetro (d) es el diámetro medio del cojinete y que el coeficiente de fricción (μ) es aproximadamente 0.0015 (para rodamientos No. 106, con bolas de una sola fila con camino profundo)²².

Energía disipada por cada cojinete, por minuto $U_f = \mu W (\pi d n)$,

donde,

W = carga axial sobre el cojinete = 89.41 libras

n = revoluciones por minuto = 9 rpm

d = Diámetro medio = 1 ½"

$U_f = \mu W (\pi d n) = 4 * 0.0015 * 89.41 * 3.1415 * 1.5 * 9 = 22.75$ libras * pulgadas/minuto

$= 1.89$ libras * pie/minuto / 33 = 0.057 hp

Potencia disipada por cojinetes es igual a 0.057 hp.

f) Selección del motor

El tiempo que tarda la banda, desde que recibe el material en llevarlo al extremo superior, con una velocidad = 5.64 pulgadas/segundo y la distancia de

²³ Faires, V.M. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. Traducción de Francisco Paniagua. 1a. edición, Montaner y Simon, S.A. España, 1972.

= 126 pulgadas es de 22.54 segundos, durante este tiempo la banda tendrá un peso de material que transportar de la misma forma con:

un ritmo de línea: 1.94 libras de basura orgánica / segundo
un tiempo de 22.54 segundos

Peso $W = 43.93$ libras ± 50 libras

La potencia esta determinada por $hp = W * velocidad$

de donde,

La velocidad es $= \pi dn = 3.1415 * .125 * 9 = 3.53$ pies/minuto

considerando que d es el diámetro medio (1.5 pulgadas), para poder sumar la potencia disipada por cojinetes.

Por lo que,

$hp = 50 * 3.53 = 176$ libras * pie/ minuto

176 libras * pie / minuto / $33 = 5.35$ hp * factor de servicio de $1.75 = 9.36$ hp

La potencia necesaria para el motor es de 10 hp.

Datos necesarios del motor

Potencia: 10 hp

velocidad: 1750 rpm

Voltaje : 460 voltios

Amperaje: 11.90 amperios

g) Transmisión de potencia

Para la transmisión de potencia se realiza por medio de cadenas, para lo cual se recurre al catalogo de la Jeffrey Chain²⁴, según el método descrito así:

Paso 1: Determinar la combinación del factor de servicio multiplicado por el factor de servicio individual dado en la tabla 1. (Anexo2)

	factor
Para golpes moderados	1.3
ambiente moderado sucio	1.2
operación diaria (8-10 horas)	1.0

$$\text{factores combinados} = 1.3 * 1.2 * 1.0 = 1.56$$

Paso 2: Calcular la potencia de diseño con la combinación del factor de servicio y la potencia que se desea transmitir.

Potencia que se desea transmitir = 10. hp

Factor de servicio = 1.56

hp de diseño = 10. * 1.56 = 15.6 hp

Paso 3: Utilizando la potencia de diseño y la velocidad (rpm) del sprocket pequeño, establezca la intersección de ambas en la línea más próxima a un tipo de cadena, en la gráfica 1.(Anexo 2)

Con $hp = 15.6$ y Velocidad de 34 rpm en la gráfica.

Se obtiene el tipo de cadena que es el JS3011

Paso 4: Con la potencia de diseño y la velocidad (rpm) refiérase a la tabla 2 (anexo 2), para el tipo de cadena previamente seleccionado en el inciso anterior, para obtener la cantidad de dientes del sprocket pequeño.

Con $hp = 15.6$ y velocidad = 34 rpm *en la tabla para JS3011

Se tiene un sprocket de 15 dientes.

Paso 5: En la misma tabla se observa el tipo de lubricación necesaria para el funcionamiento de la cadena.

Lubricación manual.

Paso 6: Determine el número de dientes del sprocket conducido. Multiplique el número de dientes en el sprocket pequeño por la relación de la velocidad a que se desea mover.

Velocidad en la salida del reductor = 34 rpm

Velocidad en la banda = 9 rpm

²⁴ Engineering Class Chain PT- 222A, Jeffrey Chain. Selecting chains and sprockets for drive

$$\text{Relación} = 34 / 9 = 3.78$$

$$\text{Número de dientes del sprocket conducido} = 15 \cdot 3.78 = 56.7 = 57 \text{ dientes}$$

Paso 7: Cálculo del largo de la cadena. Se utiliza la fórmula siguiente:

$$L = 2C + (N + n)/2 + (N - n)/2$$

donde

L= largo de la cadena

C= distancia entre centros aproximadamente entre 30" y 40"

N= número de dientes del sprocket conducido

n= número de dientes del sprocket conductor

$$C = 30''$$

$$N = 57 \text{ dientes}$$

$$n = 15 \text{ dientes}$$

$$L = 98 \text{ eslabones}$$

RESUMEN

Cadena tipo: JS3011

Largo: 98 eslabones

Distancia entre centros: 30"

Sprocket conducido: 57 dientes

Sprocket conductor: 15 dientes

Potencia transmitida: 10 hp

h) Cálculo del compresor de aire

Considerando que son 28 toneladas de materiales que tienen un contenido mínimo de materiales de baja densidad, por lo que es necesario que todo pase por la cortina de aire, se tiene que para

$$28 \text{ toneladas} = 56,000 \text{ libras/ día} = 116 \text{ libras / minuto}$$

de donde, se tiene con el volumen específico del aire de 13.26 libras / pie³, tenemos, sí por cada libra de material a mover necesitamos una libra de aire, tenemos un flujo de aire de;

$$\text{Flujo de aire de } 116 / 13.26 = 8.75 \text{ pies}^3 / \text{minuto}$$

Teniendo un área de aplicación igual a la suma del área de los orificios de expulsión, se tiene

$$\text{Área total} = 18 \times \frac{1}{4} = 4.5 \text{ pulgadas}^2$$

Para el cálculo de la presión se tiene que cada libra de material necesitamos aplicarle una libra de aire, de ahí se obtiene:

$$\text{Presión} = \text{Fuerza} / \text{área}$$

$$\text{Presión} = 116 / 4.5 = 25 \text{ psi}$$

Datos del compresor:

Presión: 25 psi

Flujo de masa: 8.75 pies³ / minuto

3.1.2.2 Diseño final

En base a la información :

Cantidad de basura por día: 40 toneladas

Cantidad de basura orgánica: 70 %⁸

Cantidad total de basura orgánica: 28 toneladas

el clasificador de materiales de baja densidad esta compuesto por:

a) Embudo:

Ancho inicial del embudo: 36"

Ancho final del embudo: 18"

Material: lámina de ¼"

b) Banda de hule

Ancho de la banda: 18"

Largo de la banda: 126" = 10.5' (distancia entre ejes)

Inclinación de la banda : 38.659°

Grosor de la banda: 5/16"

Altura propuesta de los materiales transportados: 2"

Velocidad de la banda: 9 rpm

c) Ejes

Material: acero 1020

Diámetro de los ejes: $1 \frac{3}{16}$ "

Largo eje motriz: $23 \frac{13}{16}$ "

Largo eje cola: $21 \frac{13}{16}$ "

d) Rodillos

Cantidad: 4 rodillos

Diámetro: 3"

Largo: 18"

e) Chaveta

Material: acero 1018

Medidas: $\frac{1}{4} * \frac{1}{4} * \frac{1}{2}$ "

f) Motor

Potencia: 10 hp

Velocidad: 1750 rpm

Voltaje: 460-230 Voltios

Amperios: 11.90 amperios

g) Reductor

Potencia: 10 hp

Relación de velocidad: 51.4:1

Velocidad de entrada: 1750 rpm

h) Cojinetes

Cojinete No. 106

Vida útil: 4,000 horas

Diámetro interior: $1 \frac{3}{16}$ "

Diámetro exterior: $2 \frac{5}{32}$ "

Ancho: $\frac{1}{2}$ "

No de rodamientos: 11

i) Transmisión de potencia

Cadena tipo: JS3011

Largo: 98 eslabones

Distancia entre centros: 30"

Sprocket conducido: 57 dientes

Sprocket conductor: 15 dientes

Potencia transmitida: 10 hp

j) Compresor

Presión: 25 psi

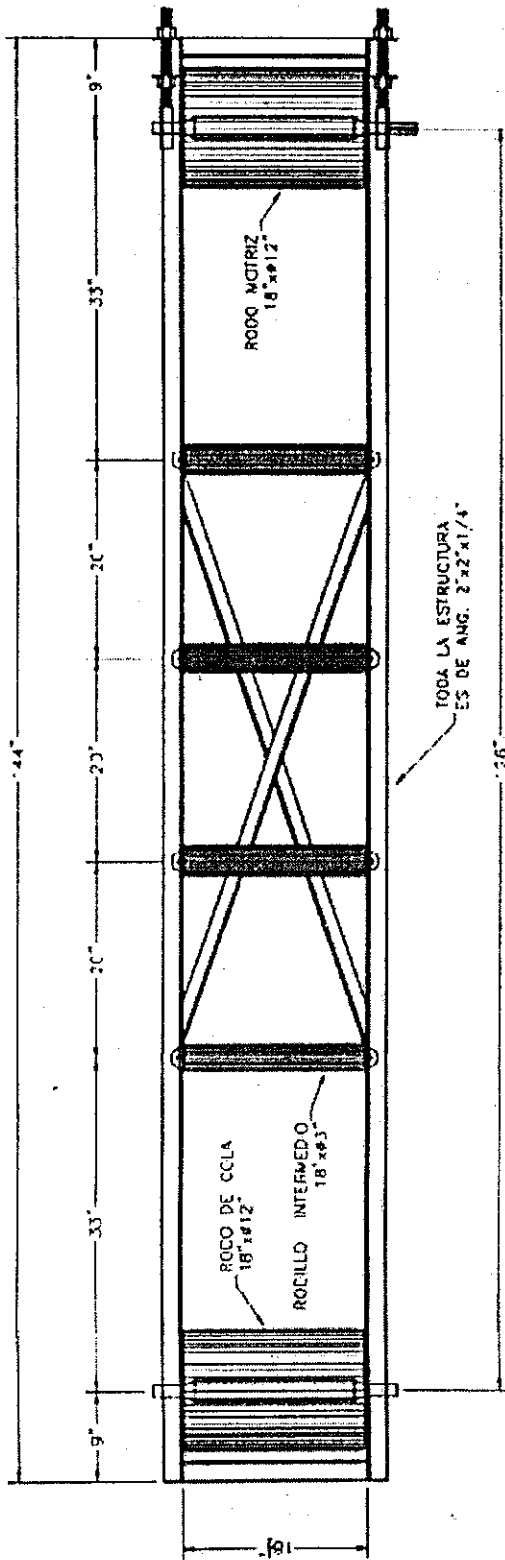
Flujo: $8.75 \text{ pies}^3/\text{minuto}$

k) Estructura

Viga en C. (Ver figura 10 y 11)

Figura No. 9 Separador de materiales de baja densidad (estructura)

Vista en planta



Vista lateral

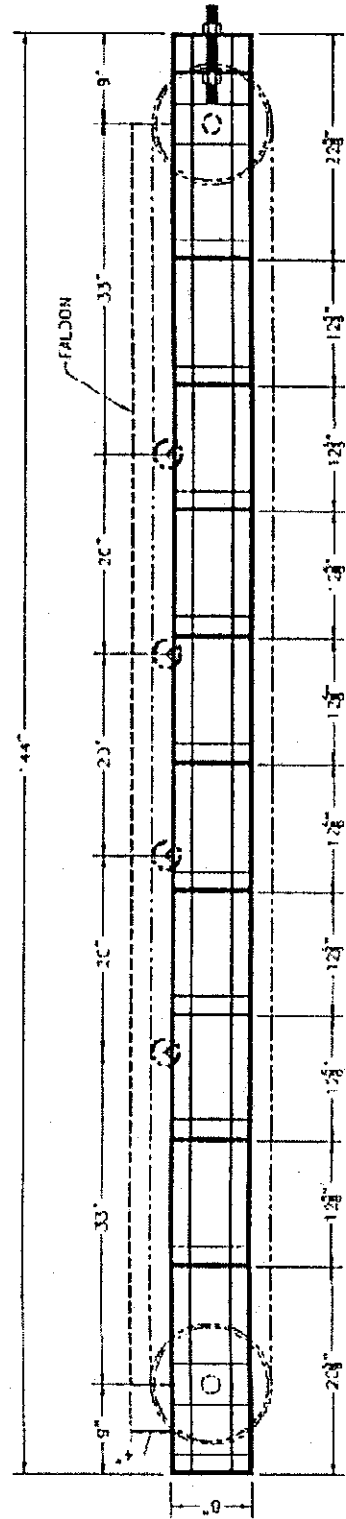
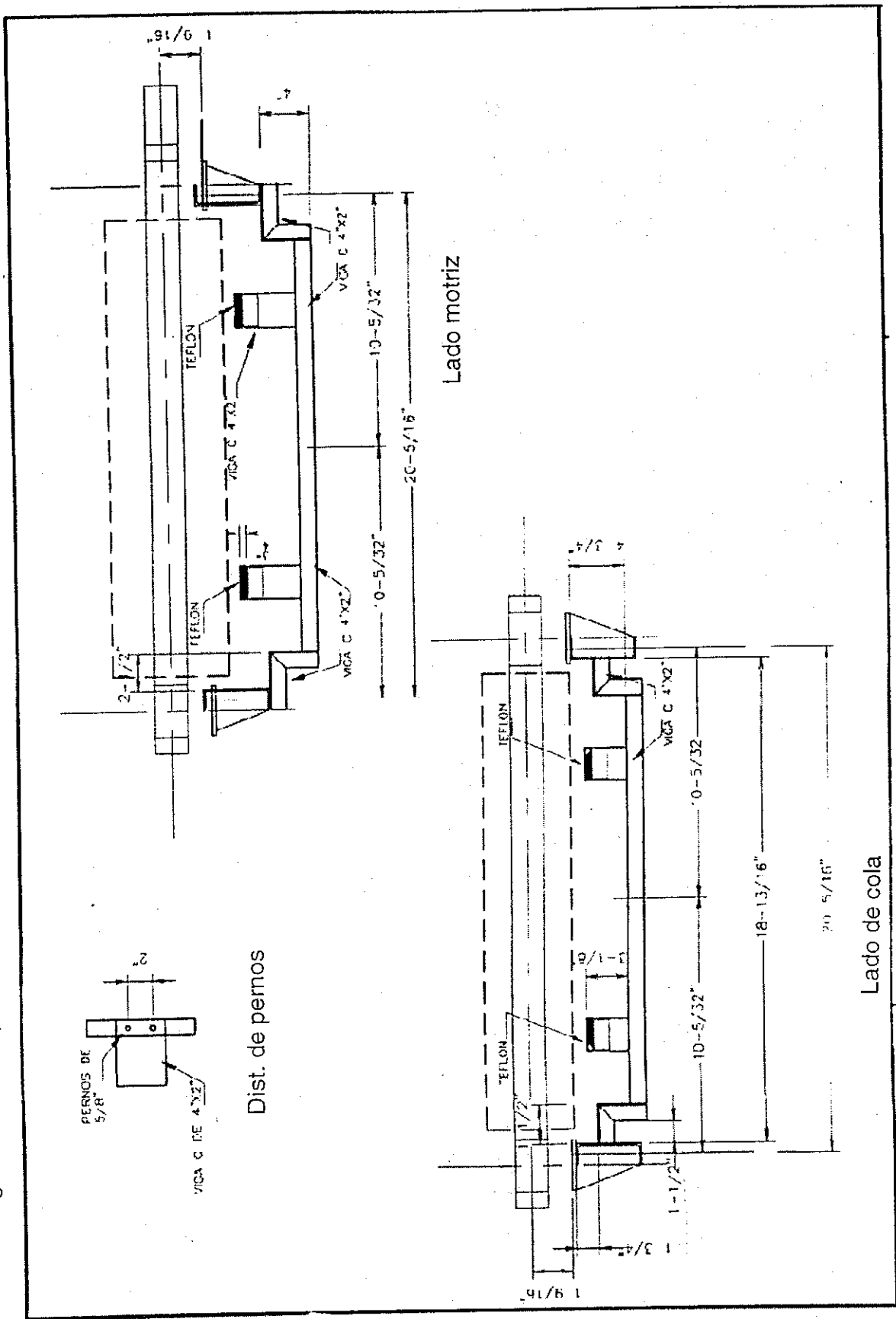


Figura No. 10 Separador de materiales de baja densidad (ejes)



3.2 Beneficio social y ambiental del proyecto

a) Social

Al evaluar los porqués del reciclaje, encontramos tres razones básicas: razones altruistas, imperativos económicos y consideraciones legales. En la primera de ellas es evidente que la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos responde a los intereses generales de todo el mundo. En la segunda, el coste evitado para una evacuación de residuos ambientalmente aceptable se ha incrementado tanto que, cuando se combina con otros costes asociados al reciclaje, adquiere sentido, desde el punto de vista económico, el reciclaje de muchos materiales. Finalmente, en respuesta a las exigencias del público y a la creciente falta de métodos alternativos para la evacuación, el Gobierno está obligando a reciclar y posibilitando una amplia diversidad de penalizaciones económicas y civiles, además de establecer incentivos para estimular el reciclaje.

Desde un punto de vista social, el proyecto, además de generar fuentes de empleos y por lo mismo un ingreso económico para un sector que por diversas circunstancias debe de laborar en áreas que no necesitan de una capacitación exigente y un nivel escolar alto, genera entre las cosas principales, limpieza, orden y salud.

Además de beneficios económicos, al no concentrar grandes extensiones para depositar la basura, como lo exige los rellenos sanitarios y que el contenido de esta es mínimo o nulo en materiales que se puedan recuperar y por consiguiente acumular y vender, se evita la aglomeración de personas que practican el "cachurreo", que son todas aquellas personas que se dedican a buscar materiales recuperables en los basureros, que lo hacen de

una forma insegura y desordenadamente; además de esto, evita la proliferación de cinturones de pobreza, ya que al evitar el cachurreo, no hay necesidad de que hayan personas en el relleno sanitario, más que las encargadas del manejo.

Actualmente, el proceso de extracción y clasificación se maneja como un proyecto de desarrollo, por lo que algunos costos son subsidiados y aún no ha pasado a su fase de comercialización empresarial, etapa que debe desarrollarse debido a que es necesario ser autosuficientes para poder ofrecer la continuidad del servicio que tenga calidad y que sea efectivo; esta etapa podrá alcanzarse con el mejoramiento de los resultados obtenidos en la recuperación de los materiales y el grado de comercialización que estos puedan tener.

Una parte importante, es la participación ciudadana, que se logra con la clasificación domiciliar de la basura, así, la familia, conoce, aprende y se hace responsable de velar y proteger el medio ambiente.

b) Ambiental

La creciente influencia de preservación de las riquezas naturales, ha impulsado corrientes industriales, cuyo objetivo es la preservación del medio ambiente. Actualmente es raro encontrar industrias que no estén estimando la manera de hacer efectivas las prácticas de manufactura que minimicen la contaminación del medio ambiente.

Si consideramos que uno de los factores que más preocupan no solo a las industrias, sino que también a cualquier población, es la cantidad de

desechos sólidos que las actividades diarias nos ocasionan, pero, no solo es la cantidad sino el ¿Qué hacemos con los desechos?.

El proyecto de la recolección de los desechos sólidos urbanos en la Ciudad de Quetzaltenango, es una solución, de muchas, a la problemática de la contaminación ambiental, ¿Porqué?, porque ofrece una solución integral.

La forma en que se afronta el problema, es desde el inicio del mismo, es decir desde que el productor de desechos deposita en un recipiente de forma clasificada, en nuestro caso en una bolsa verde los desechos inorgánicos y en una negra lo orgánico; después de esto se lleva a los centros de acopio en donde se acumulan, para después clasificarlos y vender los productos que son reutilizables y los que necesitan tratamiento como el compost son enviados a donde se trabajan y los que no se recuperan son enviados al relleno sanitario.

La forma del manejo del relleno sanitario, se ha adaptado para que este no se convierta en un tiradero a cielo abierto y que en lugar de representar una solución sea un problema.

La aportación de esta investigación para el beneficio ambiental es la rapidez con la que se pueden clasificar los desechos y la calidad de los mismos, logrando con esto un conveniente incremento en los beneficios económicos de la venta de los materiales, lo que redundará en una aprobación y aceptación del plan de recolección, transporte y selección de los desechos sólidos urbanos.

Un beneficio ambiental directo no se tiene, pero las implicaciones de tener una recuperación efectiva y eficaz, logran el sostenimiento del proyecto de una forma integral y el apoyo de los usuarios así como de las autoridades a cargo para la continuidad del proyecto.

4. NORMAS DE USO Y MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA DE CLASIFICACIÓN

4.1 Reglamentación del uso de la maquinaria

Antes de hablar de la reglamentación del uso de la maquinaria vamos a dar algunas sugerencias de protección de la maquinaria para evitar accidentes en los operarios.

a) Protección de maquinaria

A principios de la revolución industrial, las maquinarias produjeron en las fábricas accidentes espectaculares. Aún hoy en día, la maquinaria sigue siendo un aspecto importante de la prevención de accidentes.

La práctica de instaurar resguardos en las máquinas es común, pero a veces estos no resultan satisfactorios. De modo que a menudo se retiran y el trabajo se efectúa con máquinas no protegidas. En la práctica, por lo común, el trabajador quita la guarda de la maquinaria y la vuelve a colocar, cuando viene un inspector o supervisor de la empresa y la retira nuevamente cuando el sale. La mejor práctica es cuando, si la guarda molesta poner aviso al superior, indicando las causas por las que considere poco satisfactorio el uso de la guarda.

¿Dónde colocar las guardas? Una pregunta que tiene tres respuestas:

- a) En las transmisiones: El dispositivo de transmisión de fuerza motriz, sprocket, cadenas, ejes.
- b) Piezas móviles: se considera a las piezas que están en movimiento durante el funcionamiento de la misma, pero que no transmiten energía de ninguna especie, borde de la banda, niveladores.
- c) Puntos de operación: Es la parte de la máquina que hace el trabajo.

A su vez, se deben de instalar topes en los lugares en donde los materiales salgan expulsados o con una velocidad relativamente alta para evitar rebotes o golpes directos a los operarios que utilizan el equipo.

Una norma importante es colocar botones de emergencia que detengan el movimiento de las máquinas o que mantengan ésta fija en los momentos en que se realiza el mantenimiento sin el inconveniente que pueda accionarse accidentalmente.

Tomando como base la protección de la maquinaria, las normas de uso de la maquinaria son:

- V. Utilice su equipo de protección personal completo.
- VI. Antes de encender los conductores, verifique que no haya nadie sobre o debajo de estos.

- VII. No realice bromas o actos inseguros durante la operación de las máquinas.
- VIII. Mantenga los equipos de emergencia limpios y libres de obstáculos.
- IX. Si detecta una falla mecánica, dé aviso prontamente y nunca trate de arreglarla cuando esté en movimiento el equipo.
- X. Mantenga su equipo de protección personal en buenas condiciones, si ya no lo está cámbielo inmediatamente.
- XI. Si tiene algún accidente mantenga la calma y recurra a la enfermería.
- XII. No maneje los equipos en estado de ebriedad o cuando no esté en condiciones físicas normales.
- XIII. No maneje los equipos si está ingiriendo medicamentos que alteren el sistema nervioso o estimulantes.
- XIV. Recuerde que el único responsable de su seguridad es **USTED MISMO**.

4.2 Equipo de protección personal

En el departamento de Aseo y Ornato de la Municipalidad de Quetzaltenango, no se cuenta con valores estadísticos de las enfermedades y accidentes más comunes en la planta de recuperación de materiales de los desechos sólidos, pero según la experiencia del personal podemos enumerar las siguientes como las más relevantes:

- a) Enfermedades estomacales
- b) Enfermedades respiratorias
- c) Cortaduras en las manos
- d) Enfermedades dermatológicas
- e) Presencia de objetos extraños en los ojos
- f) Pérdida poco perceptible de la audición

Estas enfermedades o accidentes solo nos reflejan el grado de atención que se tiene al personal, porque las enfermedades estomacales son debidas a malos hábitos de limpieza después de estar tocando la basura.

Las enfermedades respiratorias son consecuencia de la respiración continúa de los gases que expelen los desechos y por las condiciones de humedad, por la filtración de líquidos que hay en el ambiente.

Como parte del aporte de esta investigación está el de eliminar los agentes causantes de las heridas punzo cortantes, que como vemos es una de las principales causas de accidentes. Esto se logra al mejorar las técnicas de manejo y recuperación de material, así como, el uso del equipo de protección personal.

Al no tener protegidos los ojos, estos están propensos a que en cualquier momento, debido a una salpicadura o al esparcir el material, este llegue a alcanzar los ojos y cause una lesión, evidentemente no se tiene ningún tipo de protección ni medidas para cuando sucedan accidentes.

Como podemos ver, las causas de estas enfermedades y accidentes son previsibles debido a que en su mayoría de veces se deben a la falta de equipo de protección personal.

El equipo de protección que se enumera no es el único que se puede utilizar sino más bien es el equipamiento mínimo que deben contar las personas que trabajen en la planta de recuperación.

Para la cabeza:

- a) Lentes claros para evitar salpicaduras y que objetos extraños se alojen en los ojos.
- b) Casco de material plástico clase B, tipo 1, aprobado por OSHA.
- c) Mascarilla de filtros, evita la respiración de olores desagradables, de vapores y microorganismos que nos puedan causar lesiones o enfermedades. Se recomienda respiradores de cartuchos reemplazables serie 6000, aprobados por la OSHA/MSHA.
- d) Tapones para oídos, debido a que se trabaja con maquinaria está provoca ruido que no es molesto al oído humano pero que con el tiempo causa la pérdida de la audición. Se recomienda de uso desechable, serie 6300, tapón de material de silicón, normal ICONTEC 2272.

Para las manos:

- a) Guantes de cuero flexible, para permitir movimientos y evitar las cortaduras con objetos punzo cortantes. Además, se pueden utilizar de gamuzón o de hule #10.

Para los pies:

- a) Utilizar botas industriales, para evitar lesiones con objetos pesados que puedan caer y resbalones con líquidos o derrames de aceite.

Para el abdomen:

- a) Gabacha de hule, para evitar que el escurrimiento de líquidos tenga contacto con el operario. Se recomienda utilizar gabacha de cuero o de permatron.

Como medidas de seguridad la planta debe aportar, además del equipo personal, como mínimo lo siguiente:

- I. Equipo para el lavado de ojos
- II. Duchas
- III. Lavamanos y jabón
- IV. Pláticas preventivas de limpieza y salud a todos los trabajadores
- V. Equipo de prevención contra incendio.

Las medidas de seguridad e higiene, que se mencionaron con anterioridad son solo sugerencias mínimas para proteger a los operarios de la maquinaria de recuperación de material, el beneficio de estas medidas no es

solo para la maquinaria sino que para todo el proceso por que nos evita pérdidas de tiempo y económicas, lo que redunda en un mayor beneficio del proyecto y por ende de su aceptación y continuidad del mismo.

4.3 Mantenimiento

El uso y el tipo de materiales que se utiliza causan desgaste. Es por eso que se recomienda mantener un control diario, semanal y mensual, antes de tener un mantenimiento correctivo.

I. Mantenimiento diario

<p>Control Cada 4 horas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura en chumaceras • Temperatura en cojinetes • Ruidos anormales • Alineamiento de bandas
<p>Limpieza Cada 4 horas y cuando sea necesario</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bandas • Lugares donde se acumule el material • Niveladores • Estructura
<p>Lubricación Horario recomendado por el fabricante, normalmente es a cada 8 horas de uso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cadena motriz • Cojinetes y chumaceras • Nivel del compresor • Rodillos
<p>Aire Cada 4 horas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Boquillas de aire (destapar) • Revisión de fugas • Presión

II. Mantenimiento semanal

<p>Control</p> <p>Revisión de partes en base a los resultados de los datos de la temperatura tomados diariamente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Chumaceras • Cojinetes • Ruidos anormales • Alineamiento de bandas • Mecanismos de seguridad • Motor eléctrico
<p>Limpieza</p> <p>Limpieza y revisión de partes con corrosión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bandas • Lugares donde se acumule el material • Niveladores • Estructura
<p>Lubricación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cadena motriz • Cojinetes y Chumaceras • Nivel del compresor • Rodillos
<p>Aire</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Boquillas de aire (destapar) • Revisión de fugas • Presión • Revisar partes con corrosión • Revisar mecanismos de seguridad

III. Mantenimiento mensual

<p>Revisión Revisión y mantenimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Chumaceras • Cojinetes • Cadena RC • Alineamiento de bandas • Rodillos • Ejes • Motor eléctrico • Arrancadores • Mecanismos de seguridad • Sprocket
<p>Limpieza y revisión de desgaste Limpieza y revisión de partes con corrosión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bandas • Lugares donde se acumule el material • Niveladores • Estructura
<p>Lubricación y limpieza</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cadena motriz • Cojinetes y chumaceras • Nivel del compresor • Rodillos
<p>Aire</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Boquillas de aire (destapar) • Revisión de fugas • Presión • Revisar partes con corrosión • Revisar motor eléctrico • Revisar arrancadores • Revisar mecanismos de seguridad

CONCLUSIONES

1. El método que mejor resultado ha dado, para evitar la contaminación ambiental a causa de los desechos sólidos urbanos, es la combinación complementaria de métodos como: uso de centros de acopio, para la recuperación de materiales susceptibles de reciclaje, los rellenos sanitarios controlados y la utilización de materiales orgánicos en la elaboración del compost.
2. Debido a la gran cantidad de materia orgánica (70%) presente en los desechos sólidos urbanos de la ciudad de Quetzaltenango, se tienen que establecer los mecanismos que benefician la elaboración del compost, como lo es la selección mecánica de los materiales.
3. Para realizar de manera efectiva la recolección de los desechos urbanos y además, fortalecer las acciones de cooperación encaminadas a detener la contaminación ambiental, es importante la participación ciudadana de una manera activa.
4. Al utilizar un selector de materiales ferrosos durante el proceso de recuperación de materiales, se asegura que el proceso va a realizarse de una manera segura y eficaz para el personal.
5. La elaboración del compost en la ciudad de Quetzaltenango, ha generado ingresos económicos (aproximadamente Q.35.00 por quintal) para aquellas empresas que se encargan de procesar los desechos orgánicos. Esto fortalece el proyecto que autoridades y pobladores están implementando. El siguiente paso es la recuperación de materiales con fines empresariales lucrativos; además del beneficio social.

6. Un producto de desechos orgánicos con cantidad menor de agentes contaminantes, es el aporte principal en la implementación de un selector de material de baja densidad.
7. Si se eliminan los materiales contaminantes en la clasificación de materiales orgánicos se producirá material de mayor calidad.

RECOMENDACIONES

1. Además de la implementación de las nuevas técnicas, como lo son los centros de acopio, que aportan de una manera integral, solución para reducir el impacto que se tiene en el ambiente por los desechos sólidos urbanos, se debe de establecer, en la ciudad de Quetzaltenango, los mecanismos que fortalezcan el aprovechamiento de estos y evitar que sean depositados de una manera indiscriminada. Además, esto genera nuevas fuentes de empleo de algo que antes se consideraba un desperdicio.
2. Fortalecer la participación de la población, estableciendo un proceso de educación sanitaria permanente a través de los medios de comunicación social.
3. Las trampas magnéticas deben mantenerse libres de objetos pesados, para retener el material ferroso. Al utilizar un clasificador mecánico de materiales ferrosos, se asegura que el personal no tendrá contacto con materiales peligrosos contaminados, objetos punzantes y se facilite la extracción de otros materiales.
4. El no utilizar el equipo adecuado y no cumplir las normativas de seguridad industrial, son las causas de accidentes, lesiones o enfermedades. Para hacer efectivas, tales medidas, la empresa debe aportar soluciones y tomar la responsabilidad de implementar acciones preventivas en conjunto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Engineering Class Chain PT-222A, Jeffrey Chain, **Selecting chains and sprockets for drive chain services. 1995.**
2. GRIMALDI, John y Rollin H. Simonds. La seguridad industrial, su administración. México; editorial Alfaomega, S.A. 1991.
3. LUND, Herbert. **Manual Mcgraw-Hill de reciclaje volumen I y II. México; editorial McGraw-Hill. 1997.**
4. Manual del ciudadano. GREENPEACE. Guatemala 1998.
5. MONZÓN López, Edelman Candido. **Propuesta de recolección y manejo de los desechos sólidos en la ciudad de Quetzaltenango. Guatemala 1998.**
6. OACA-IDMA. **Manual de tecnología apropiada para el manejo de residuos sólidos. Oficina de Asesoría y Consultoría Ambiental, Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente con la cooperación de la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), Lima 1992.**
7. SHIGLEY, Joseph E. y Larry D. Mitchell. Diseño de ingeniería mecánica. 4ta. Edición, México: editorial Mcgraw-Hill. 1994.
8. Warmer Bulletin. Journal of the world resource foundation. Canada 1998.

9. World resource Found . <http://www.wrf.org.uk>

ANEXO

Tabla I Factor de servicio manual Jeffrey chain

Impacto al conducir la carga		Tipo de generación de potencia		
		Motores de combustión interna con acoplamiento hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con acoplamiento mecánico
Cadena conductora	Suave	1.0	1.0	1.2
	Golpes moderados	1.2	1.3	1.4
	Golpes fuertes	1.4	1.5	1.7
Conductor y cadena	Condiciones atmosféricas	Relativamente limpias y temperatura moderada		1.0
		Moderadamente sucias y temperatura moderada		1.2
Expuesta a agua, muy sucio, abrasivo, medianamente corrosivo y altas temperaturas		1.4		
	Rango de operación diario	8-10 horas 10-24 horas	1.0 1.2	

Tabla II Rangos de potencia para cadena IS2570A y JS3011STR

CADENA No. IS2570A

No. de dientes	CAPACIDAD DE POTENCIA												
	RPM												
	2	3	7	10	20	30	40	100	200	250	350	450	600
9	1.1	1.4	2.7	3.9	7.7	11.6	15.4	38.6	77.2	96.5	135.1	100.1	65
10	1.1	1.5	3	4.3	8.6	12.9	17.2	42.9	85.8	107.3	150.2	117.2	76.1
11	1.2	1.6	3.3	4.7	9.4	14.2	18.9	47.2	94.4	118	165.2	135.2	87.8
12	1.3	1.7	3.6	5.1	10.3	15.4	20.6	51.5	103	128.7	180.2	154.1	100
13	1.4	1.8	3.9	5.6	11.2	16.7	22.3	55.8	11.5	139.4	195.2	173.7	112
14	1.5	1.9	4.2	6	12	18	24	60.1	120.1	150.2	210.2	184.2	126
15	1.6	2	4.5	6.4	12.9	19.3	25.7	64.4	128.7	160.9	225.2	215.3	139.9
16	1.7	2.1	4.8	6.9	13.7	20.6	27.5	68.6	137.3	171.6	240.3	237.2	154.1
17	1.8	2.2	5.1	7.3	14.6	21.9	29.2	72.9	145.9	182.3	255.3	259.8	168.8
18	1.9	2.3	5.4	7.7	15.4	23.2	30.9	77.2	154.5	193.1	270.3	283.1	183.9
19	2	2.4	5.7	8.2	16.3	24.5	32.6	81.5	163	203.8	285.3	307	
20	2.1	2.5	6	8.6	17.2	25.7	34.3	85.8	171.6	214.5	300.3	331.5	
21	2.2	2.6	6.6	9	18	27	36	90.1	180.2	225.2	315.2	356.7	
22	2.3	2.7	6.6	9.4	18.9	28.3	37.8	94.4	188.8	236	330.4	387.5	
23	2.4	2.8	6.9	9.9	19.7	29.6	39.5	98.7	197.4	246.7	345.3	405.3	
24	2.5	2.9	7.2	10.3	20.3	30.9	41.2	103	205.9	257.4	360.2	414.4	
	LUBRICACION MANUAL												
	BANO DE ACEITE												
	ROCIADO CON ACEITE												

CADENA No. JS3011 STR

No. de dientes	CAPACIDAD DE POTENCIA												
	RPM												
	1	3	6	10	20	40	100	150	200	250	300	350	400
9	1	2.4	4	6	12.7	25.5	63.5	95.6	127	159	191	171	140
10	1.1	2.6	4.3	7.1	14.2	28.3	70.8	106.2	141	177	212	198	164
11	1.2	2.7	4.7	7.8	15.6	31.1	77.9	116.2	155	194	231	215	190
12	1.3	2.9	5	8.5	17	34	85	127.4	159	212	248	231	216
13	1.4	3.1	5.5	9.2	18.4	36.8	92	138	184	230	265	248	232
14	1.4	3.3	5.9	9.9	19.8	39.6	99	148	198	247	281	262	240
15	1.5	3.5	6.4	10.6	21.2	42.5	106.2	159	212	265	296	276	260
16	1.6	3.7	6.8	11.3	22.7	45.3	113.2	169	226	283	312	290	273
17	1.7	3.8	7.2	12	24.1	48.1	120.3	180	240	300	326	304	285
18	1.7	4	7.6	12.7	25.5	51	127.4	191	245	318	340	317	
19	1.8	4.2	8.1	13.5	26.9	53.8	134.5	201	269	336	354	329	
20	1.9	4.3	8.5	14.2	28.3	56.6	141.6	212	283.2	354	367	341	
21	1.9	4.5	8.6	14.9	29.7	59.5	148.5	223	297	371	379	353	
22	2	4.7	6.3	15.6	31.1	62.3	155.6	233	311	389	391	364	
23	2.1	4.9	6.8	16.3	32.6	65.1	162.8	244	325	407	403	375	
24	2.2	5.1	7.2	17	34	68	169.9	254	339	424	414	386	
	LUBRICACION MANUAL												
	BANO DE ACEITE												
	ROCIADO CON ACEITE												

Figura No. 11 Gráfica selección de cadena en base a la potencia de diseño

