

- copia 53-A  
- 613266

30



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL,  
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA



## INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

### ÍNDICE GENERAL

*Ingeniería Sanitaria Aplicada a:*

# *Control, Aprovechamiento y Disposición Final de Los Residuos Sólidos Municipales*

*Rafael López Ruiz*

1. CARACTERÍSTICAS Y PROBLEMAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
2. MANEJO Y NORMATIVIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS.
3. GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.
4. ALMACENAMIENTO Y LIMPIEZA DE CALLES.
5. RECOLECCIÓN.
6. TRANSPORTE Y TRANSFERENCIA.
7. ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.
8. REDUCCIÓN Y SEPARACIÓN.
9. RECICLAJE.
10. TRATAMIENTO.
11. DISPOSICIÓN FINAL.
12. ANEXOS.

APUNTE  
53-A

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.



613266

G.- 613266

## PRESENTACIÓN

La Facultad de Ingeniería ha decidido realizar una serie de ediciones provisionales de obras recientemente elaboradas por académicos de la institución, como material de apoyo para sus clases, de manera que puedan ser aprovechadas de inmediato por alumnos y profesores. Tal es el caso de la obra *Ingeniería sanitaria aplicada al control, aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos municipales*, del profesor Rafael López Ruiz.

Se invita a los estudiantes y profesores a que comuniquen a los autores las observaciones y sugerencias que mejoren el contenido de la obra, con el fin de que se incorporen en una futura edición definitiva.



FACULTAD DE INGENIERIA

## INTRODUCCIÓN

El manejo, el reciclaje y la disposición final de las **basuras** (residuos sólidos municipales, RSM) es un problema mundial que se acentúa en los países con bajo desarrollo como el nuestro, se ha notado que los habitantes (generadores de las basuras), en general perciben o consideran que la solución a este problema corresponde exclusivamente a las autoridades, por ello no participan o participan muy poco en la solución; por otra parte las autoridades municipales o sus concesionarios que son, los responsables de la recolección, transporte y disposición final, generalmente no cuentan con presupuesto suficiente para proporcionar todos los servicios que son de su responsabilidad como lo establece la Constitución, o que aún contando con presupuesto, no le dan prioridad al servicio de limpia (Servicio de Aseo Urbano, SAU), por no considerarlo importante, debido a ello procuran no contratar a profesionistas que están en la posibilidad de dar adecuadas soluciones técnicas, económicas, sociales y administrativas que son consecuencia de su preparación específica y por otro lado no se preparan los profesionistas en este campo por que no se tienen muchas oportunidades de trabajo, lo que cierra un círculo vicioso que es necesario romper.

Sabemos que en nuestro país el problema de los residuos sólidos en complejo, pues entre otros matices se tienen los culturales, económicos y administrativos, además no se cuenta con personal profesional y técnico suficientemente preparado, situación que es necesario tomar en cuenta, puesto que la solución adecuada en cada población o zona conurbada debe contemplar estas y otras situaciones, las que también se tienen a nivel nacional, razón por la cual nuestra Facultad ha considerado la importancia de impartir esta asignatura y preparar en esta área de la Ingeniería Sanitaria a nuestros alumnos de la carrera de Ingeniero Civil. Se ha considerado que no se debe dejar abandonado este campo de trabajo propio de los ingenieros civiles ya que se manejan diversos campos, entre otros los siguientes: movimiento de tierras, geotecnia, hidrología, transporte, manejo de maquinaria, Ingeniería de tránsito, impacto ambiental y estructuras.

Se debe comprender la importancia que representa este apoyo al **saneamiento básico** que es necesario llevar a cabo en todas las comunidades, además la protección que debemos hacer al ambiente. Consideramos importante la participación de nuestros egresados para las soluciones específicas y adecuadas de este problema.

# INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

## CAPITULO I CARACTERÍSTICAS Y PROBLEMAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

- 1.1 ORIGEN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
- 1.2 MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
- 1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
- 1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
- 1.5 POBLACIONES EXPUESTAS
- 1.6 EFECTOS EN LA SALUD HUMANA
- 1.7 EFECTOS EN EL AMBIENTE
- 1.8 PROTECCIÓN DE LA SALUD PÚBLICA Y EL AMBIENTE
- 1.9 RECURSOS Y FINANCIAMIENTO
- 1.10 SITUACION EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

G.-

## 1.1 ORIGEN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El aumento de la población mundial fue poco en un lapso de tiempo relativamente amplio, debido a las frecuentes epidemias, hambrunas y guerras. El acceso a los recursos que constituyen la base material para la subsistencia y el funcionamiento de una sociedad ha sido preocupación inherente a la raza humana, en todo ese tiempo los instrumentos y tecnologías disponibles eran muy primitivos, por lo que la economía de estas culturas era básicamente de subsistencia, la presión sobre el ambiente era mínima y el hombre vivía en equilibrio con la naturaleza.

El desarrollo de la civilización occidental hizo que este equilibrio se rompiera de manera paulatina. Con las innovaciones científicas y tecnológicas del último siglo y la estructura social que permitió alcanzar una mayor productividad, se incrementó notablemente la presión sobre el ambiente y los recursos naturales, esto ha llegado a situaciones extremas en donde la sobreexplotación de los recursos y la alteración ambiental han puesto en peligro la subsistencia de los recursos naturales y del propio ser humano, previéndose que el actual desarrollo desordenado no será sostenible en un futuro mediano.

Paralelamente a esto se inició el proceso de contaminación ambiental, cuando la tecnología empleada por la sociedad produce sustancias y materiales en una cantidad tal que supera la capacidad de la naturaleza para reciclarlos, por lo que se acumulan en el aire, el agua y el suelo.

En los ecosistemas no se genera "basura", puesto que los desechos y cadáveres de unos organismos son aprovechados por otros, en cambio el ser humano a través de su evolución y gracias a la "Revolución Industrial", ha permitido que las sociedades actuales desarrollen procesos productivos que consumen grandes cantidades de recursos naturales (energía y materia) que por su volumen y componentes no pueden ser integrados en los ecosistemas, el hombre ha perdido la capacidad de manejarlos adecuadamente sin afectar a su entorno.

Las actividades humanas para la utilización y manejo de productos naturales tienen tres etapas:

1. El insumo de materias primas y su procesamiento.
2. La salida de productos.
3. Los desechos del proceso de producción.

Esto sucede tanto en el hogar como en la industria, llámese el producto un plato de comida o un automóvil. Cuando la actividad humana incluye únicamente la "modificación" de productos de la naturaleza, los desechos de la producción pueden regresar a ella sin

ninguna alteración notable. No así cuando incluye la "transformación" de los productos de la naturaleza.

Los modos de producción modernos requieren de una estructura organizada y compleja de captación, transformación primaria, transporte, transformación secundaria, empaque, transporte final, desempaque y consumo, que en todas sus etapas genera algún tipo de desecho ya sea a manera de producto colateral ineficiente o programado (ejem. empaques para el transporte). A diferencia de la modernización en la producción, la sociedad no ha acelerado su capacidad para manejar los desechos de sus actividades. En su manejo únicamente emplea dos metodologías de disposición final: incineración y depósito en suelo.

En las ciudades se introducen grandes cantidades de productos para uso y consumo de los habitantes de acuerdo a la demanda de cada una de ellas, posteriormente, lo que no es aprovechado o ya no es útil se desecha y es considerado como "basura", estos desechos son muy variados y actualmente contienen entre otros componentes, materia orgánica, telas, papel, cartón, hueso, metales, vidrio, plástico y otros materiales que ya fueron utilizados como son: útiles personales y familiares, envases, material de propaganda y lectura, vestido, adorno, etc.

Considerando que esta "basura" sigue un camino desde su origen hasta su destino final, es decir de la cuna a la tumba, llamado ciclo de vida, puesto que primero fué materia prima de un origen renovable o no renovable, después transportada, procesada, industrializada, envasada, comercializada, en parte utilizada y después desechada. Se puede decir que una fracción de los desechos al ser separada, reciclada, procesada y utilizada, permite ahorrar algunos pasos del citado camino, además con ahorro de energía; se protege al ambiente que ya no sufrirá el impacto por la extracción, por los procesos que se realizan en el sitio y por su traslado; por otra parte se amplía la vida de los lugares de disposición final al llegar a ellos menor cantidad de "basura" (residuos sólidos municipales).

Por eso en una ciudad al aprovechar estos recursos acumulados, mediante una recuperación racional con la participación de la comunidad, autoridades e industriales se puede considerar con razón, que las ciudades son unas minas en potencia.

## 1.2 MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

La revolución industrial del siglo XVIII estuvo marcada por una creciente demanda de energía, hacia mediados del siglo XIX comenzó a explotarse el petróleo a escala comercial. Este periodo se caracterizó por una forma de vida altamente dependiente de la energía no renovable y un gran proceso de urbanización lo que actualmente se manifiesta en una población urbana de hasta el 80% del total de los habitantes.

La propia condición gregaria del ser humano, la cultura consumista propiciada por los medios de comunicación y la explosión demográfica han sido los principales determinantes en el proceso de concentración urbana. Estos procesos traen consigo grandes problemas ambientales propios de las ciudades como son: la provisión de agua potable, la tala para la construcción de muebles, vivienda y calor para las viviendas, problemas relacionados con los efluentes de aguas residuales y la generación, recolección y disposición final de residuos sólidos, entre otros.

La producción de residuos, propia de la actividad del hombre, no es un problema en sí mismo, siempre que sean devueltos al ambiente a tasas y en concentraciones que permitan ser absorbidas en los sistemas ecológicos. Realmente el problema ambiental se origina cuando la concentración de desperdicios alcanza niveles que no pueden absorberse en el ambiente y comienzan a causar efectos nocivos en los organismos vivos. La calidad y la cantidad de residuos que se generan afectan al sistema integral de gestión, que incluye: recolección, transporte y disposición final de los mismos.

Las escasas políticas ambientales de muchos países repercuten entre otros aspectos, en el servicio, lo que se nota a la hora de almacenarlos y presentarlos para su recolección, probablemente esta situación no sea reconocida por quienes en lo cotidiano resuelven la cuestión poniendo en juego usos y costumbres estereotipados, muchas veces no basadas en conocimientos técnicos. Lo que en lo individual no constituye un problema grave, cobra otra dimensión mirándolo desde el punto de vista integral de las comunidades.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), celebrada en Río de Janeiro en 1992 (Conocida como Cumbre de Río), brindó una oportunidad única a la humanidad para colocar a nuestro planeta en el camino hacia un futuro más seguro y sostenible. Entre los principales acuerdos logrados por los países participantes esta la denominada Agenda 21 que consiste en un plan detallado e integral para realizar acciones globales que permitan la transición hacia un desarrollo ambientalmente sostenible.

La **AGENDA 21** tiene cuarenta capítulos, cada uno de los cuales propone un conjunto de acciones que deben ser llevadas a cabo por las naciones y las comunidades en cada una de las áreas ambientales afectadas por el desarrollo. **Sus capítulos 20 y 21 se refieren al manejo ambientalmente adecuado de residuos sólidos industriales y municipales respectivamente.** En el capítulo 21 se refiere a los residuos domésticos y a otros residuos no peligrosos, tales como los comerciales, institucionales, de barrido y limpieza de calles y escombros de la construcción, la intención principal es tratar el manejo de estos residuos no solo en sus aspectos de recolección y disposición sino bajo un concepto de **manejo integral que contempla el ciclo de vida de la producción y el consumo de bienes y servicios.**

El enfoque integral mencionado consiste en diseñar programas de manejo de residuos sólidos que contemplen la jerarquización de objetivos de cuatro áreas de acción que deben ser consideradas en un programa:

- Expansión de la **cobertura de recolección**
- Minimización de la **generación de residuos**
- Maximización del **reuso y el reciclaje ambientalmente adecuado**
- Promoción del **tratamiento y disposición final**

Los residuos sólidos en México, se definen como "aquellos desperdicios que no son transportados por agua y que han sido rechazados porque ya no van a ser utilizados por el que los generó, incluye todos los materiales sólidos desechados de actividades municipales, industriales, agrícolas y de construcción".

En la Reunión de Río (1992), se definen los RSM como: "Aquellos que incluyen la basura doméstica y otros residuos urbanos no peligrosos, tales como los residuos comerciales e institucionales y los residuos de la limpieza de calles y escombros de la construcción".

Es conveniente considerar una jerarquía a las prácticas de administración de los residuos sólidos:

1. Reusar
2. Reducir
3. Reparar
4. Recuperar
5. Reciclar
6. Recolectar
7. Replantear problemas y soluciones
8. Rellenar sanitariamente

Lo anterior nos muestra las famosas "R", que son características en la gestión integral de los residuos.

### 1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Los residuos sólidos pueden clasificarse de acuerdo a:

- Su origen (domiliario, industrial, comercial, institucional, de barrido, etc.),
- Su composición (orgánicos e inorgánicos),
- Su peligrosidad (inertes, tóxicos, reactivos, inflamables, corrosivos, infecciosos, explosivos, radioactivos, etc.).

Para los fines de este documento los residuos sólidos se clasifican como:

- **Municipales o Urbanos** (se usarán ambos términos como sinónimos), aquellos que normalmente recolectan los servicios municipales ya sea en su servicio normal o mediante servicios especiales y que comprende: Domiciliarios, institucionales,

comerciales, de servicios y los de áreas y vías públicas (mayor detalle en el cuadro 3.1 del Capítulo 3). Los servicios de recolección municipal pueden ser municipales propiamente dichos o contratados a empresas privadas.

- **Municipales Especiales** los que se recolectan mediante servicios especiales generalmente en forma periódica o extraordinaria. Se incluyen en estos la recolección de muebles, ramas grandes, refrigeradores, automóviles, campañas de limpieza, y en ocasiones algunos peligrosos de origen domiciliario como pinturas solventes y otros artículos del hogar y en ciertas poblaciones los servicios especiales municipales recolectan los residuos peligrosos de hospitales.
- **Peligrosos**, aquellos que se les ha aplicado la prueba CRETIB y por sus características y efectos potenciales sobre la salud o el ambiente, se consideran de responsabilidad federal, por lo que no está permitida su recolección por parte de los servicios municipales. Las fuentes generadoras son diversas, la principal es de origen industrial derivada de los procesos de producción (no se considera en esta categoría los residuos de sus oficinas, cafeterías y otras fuentes cuyos desechos se asemejan a los municipales). Los residuos de hospitales en su fracción peligrosa está considerada como residuos biológicos-infecciosos.

#### 1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

La caracterización de los residuos o desechos sólidos municipales (RSM) es difícil a causa de la diversidad de sus componentes, muchos de los cuales no se deberían desperdiciar, los objetivos de una buena administración de los residuos sólidos son controlar, recolectar, procesar, utilizar y eliminar estos residuos de la manera más económica y congruente con la protección de la salud pública y del ambiente, además con las necesidades y la demanda de los habitantes a quienes el sistema les dará el servicio.

En su composición los residuos sólidos municipales (RSM) se tienen términos más específicos: 1° residuos de alimentos putrescibles (orgánicos o biodegradables) y 2° residuos sólidos no putrescibles (no biodegradables) que incluyen diversos materiales combustibles (papel, plástico, textiles, etc) y no combustibles (vidrio, metal, mampostería, etc)

En los residuos sólidos municipales no se incluyen los sólidos que no son responsabilidad del municipio tales como: cenizas de calderas, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, residuos de granjas, industrias, minas, hospitales y radioactivos, ya que estos requieren un manejo por separado.

El cambio de población rural a urbana en los últimos decenios, el cambio de hábitos y costumbres, así como el consumismo han modificado la cantidad de residuos sólidos, en México, su producción se ha incrementado recientemente de 0.8 kg/hab/día a 1.2

kg./hab/día en promedio, además se han modificado sus componentes disminuyendo la materia orgánica putrescible y aumentando los plásticos.

El problema de los residuos sólidos, en la gran mayoría de los países, y particularmente en determinadas regiones, se viene agravando como consecuencia de: 1° acelerado crecimiento de la población; 2° la concentración en las áreas urbanas; 3° el desarrollo industrial; 4° los cambios de hábitos de consumo, 5° un mejor nivel de vida y 6° otra serie de factores que llevan a riesgos para la salud humana, a la contaminación del medio ambiente y al deterioro de los recursos naturales.

El desarrollo de cualquier región viene acompañado de una mayor producción de residuos sólidos, lo que ocupa un papel importante entre los distintos factores que afectan la salud de la comunidad, esto es un motivo más para que se implanten las soluciones adecuadas para resolver los problemas de su manejo y disposición final.

#### 1.5 POBLACIONES EXPUESTAS

Una de las dificultades para definir a las poblaciones expuestas a los efectos directos o indirectos del manejo inadecuado de residuos sólidos municipales reside en el hecho de que los sistemas de información y monitoreo sobre salud y ambiente no contemplan este aspecto colectivo de las poblaciones ni se dispone de datos epidemiológicos suficientes y confiables. Sin embargo, algunas poblaciones o grupos en riesgo se pueden identificar como susceptibles de ser afectados con la consecuente reducción de calidad de vida y aumento en los problemas de salud, así tenemos:

1° Aquella población que no dispone de un servicio regular de recolección domiciliaria, ya que los residuos producidos son tirados en su propio entorno, lo que genera un ambiente deteriorado con presencia de vectores, humos, malos olores y animales que se alimentan de los desperdicios. Por esto se considera que la población más expuesta es la de los asentamientos pobres de las áreas marginadas urbanas.

2° La población que vive en la vecindad de los sitios de tratamiento y disposición final de desechos.

3° Los pepenadores y sus familias, en especial aquellos que trasladan sus precarias viviendas alrededor de los tiraderos de RSM, porque además de convivir con vectores y animales domésticos y sufrir los efectos de la contaminación de los residuos descargados, generalmente no cuentan con ningún servicio de saneamiento básico. Además, estas poblaciones sirven a su vez como "vectores" para la transmisión de enfermedades causadas por los residuos.

4° Los trabajadores formales o informales involucrados en la recolección, transporte y disposición final de RSM, constituyen otra población expuesta.

5º Los impactos de los RSM se pueden extender a la población en general por un inadecuado manejo intradomiciliario, además a través de la contaminación causada por depositarlos en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos y por el consumo de carne de animales criados en basureros, ya que pueden transmitir enfermedades a los humanos.

Cuando se trata de poblaciones expuestas, no se puede dejar a un lado el tópico de equidad ambiental, este concepto implica que la pobreza y la marginación son factores que favorecen la exposición a las sustancias químicas y posiblemente aumenten su efecto, otro factor asociado a la pobreza y que debe tomarse en cuenta para la evaluación del riesgo, es la prevalencia de infecciones, es común encontrar en las zonas marginadas índices más altos de infecciones gastrointestinales y respiratorias. Resulta evidente entonces, que no debe considerarse solamente a los grupos de riesgo en cuanto a si son mujeres, niños o ancianos, sino también en cuanto a su pobreza, prevalencia de infecciones y estado nutricional.

En cuanto a los residuos peligrosos, toda la población urbana debe ser considerada como susceptible de exposición, sin embargo, particularmente los niños y las mujeres deben ser tomados como grupos de alto riesgo. Entre los niños se incluye a los lactantes (aquellos cuya única fuente nutricional es la leche materna), a los infantes (menores de 24 meses) y a los niños de 2 a 12 años, Como ejemplo tenemos el plomo que es absorbido más fácilmente por los niños que por los adultos.

### 1.6 EFECTOS EN LA SALUD HUMANA

Comparadas con las emisiones directas de materiales al agua o al aire, la contaminación del suelo presenta un problema más complejo. Los riesgos para la salud que representan los depósitos de desechos constituyen una amplia serie de vías y mecanismos para llegar al hombre:

- Exposición directa (contacto físico con los desechos).
- Dispersión de partículas a través de la atmósfera.
- Utilización de aguas de mantos freáticos contaminados por la infiltración de sustancias y materiales tóxicos de los tiraderos de desechos.
- Consumo (por el hombre o por animales domésticos) de productos comestibles cultivados o alimentados en tierras aledañas a los depósitos, ya que son muy buenos concentradores de sustancias y agentes.
- Sitio propicio para el desarrollo de agentes biológicos nocivos.

Por lo señalado anteriormente, el hombre se encuentra expuesto en general y en este caso específico por múltiples vías como se muestra en la figura 1.1.

Los residuos sólidos municipales debido a su origen, en especial los domiciliarios, no se pueden considerar únicamente como no peligrosos, ya que es muy común que los

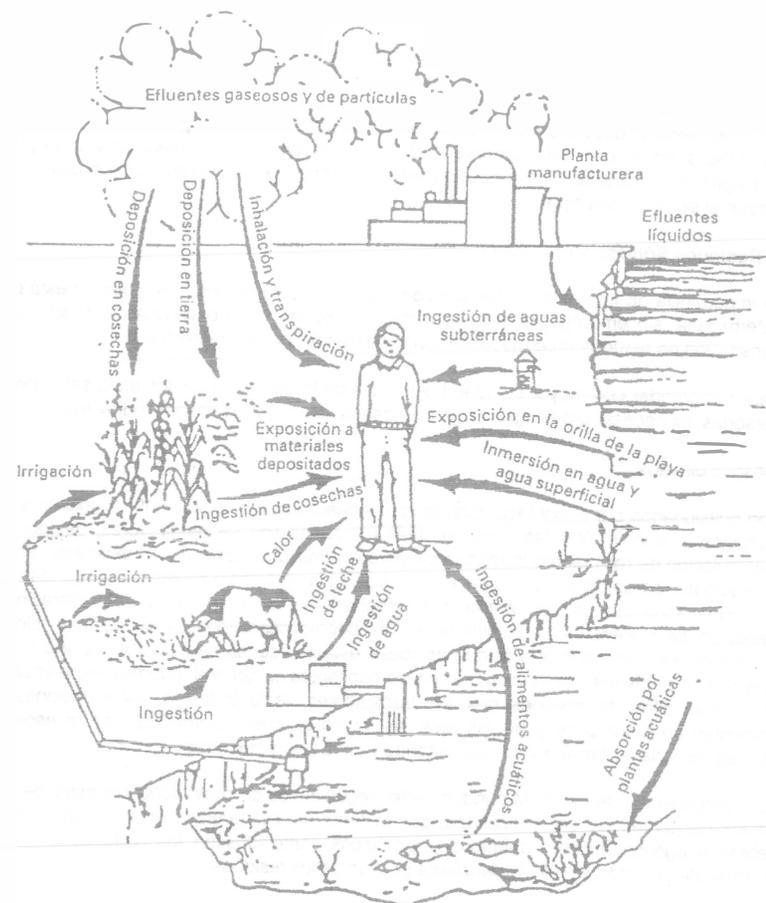


FIG 1.1 SENDAS DE EXPOSICIÓN MÚLTIPLE. (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, "FRONTERAS EN LA EVALUACIÓN HUMANA", 1991.)

generadores los junten con residuos peligrosos en los hospitales, talleres y otros establecimientos, estos residuos pueden ser: medicinas, solventes, baterías, sustancias químicas, insecticidas, etc. En ocasiones industrias, hospitales y clínicas, entre otros establecimientos, depositan sus residuos peligrosos en forma clandestina junto con los domésticos, por lo que debe tenerse cuidado en el proceso de recolección y se requiere una vigilancia constante para que estos establecimientos resuelvan su propio problema sin afectar al servicio municipal.

### a) Residuos Sólidos Municipales

La importancia de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades no está bien determinada, sin embargo, al lado de otros factores se les atribuye una incidencia en la transmisión de algunas enfermedades, principalmente por vías indirectas.

Para comprender con mayor claridad los efectos de los residuos sólidos en la salud de las personas, es necesario distinguir entre los riesgos directos y los riesgos indirectos.

#### Riesgos directos

Son ocasionados por el contacto directo con la basura, que a veces contiene excrementos humanos y de animales; las personas más expuestas son los recolectores, debido a la manipulación de recipientes inadecuados para el almacenamiento de los desechos, al uso de equipos inapropiados y por carecer de ropa limpia, guantes y zapatos de seguridad. En la misma situación se encuentran los pepenadores, cuya actividad de separación y selección de materiales es realizada en las peores condiciones y sin la más mínima protección; es necesario anotar que en todas estas personas se muestra una incidencia más alta de parásitos intestinales que en los habitantes en general, además, experimentan tasas más altas de lesiones que los trabajadores de la industria; estas lesiones se presentan en las manos y en los pies, así como también lastimaduras en la espalda, hernias, heridas, enfermedades respiratorias y en la piel, entre otras.

Los componentes de los RSM pueden variar según el tipo de comunidad y el estilo de vida de los habitantes de cada localidad, por lo tanto, la interferencia en la salud humana debido a agentes físicos, químicos y biológicos contenidos en los RSM es el efecto principal de una inadecuada y deficiente gestión de los residuos.

Los agentes típicos relacionados a los RSM que afectan la salud de los trabajadores y a la población expuesta son:

- Olor: puede causar malestar, cefaleas y náuseas
- Ruido: puede provocar la pérdida parcial o permanente de la audición, cefalea, tensión nerviosa, estrés e hipertensión arterial.
- Polvo: responsable de molestias y pérdida momentánea de la visión, además problemas respiratorios y pulmonares.
- Estética: la visión desagradable de los residuos puede causar además molestias y

náuseas

- Vibración: puede provocar lumbalgia, dolores en el cuerpo y estrés.
- Objetos cortantes y punzantes: pueden provocar heridas y cortes.

#### Riesgos Indirectos

- Proliferación de vectores. Los riesgos causados por el manejo inadecuado de basuras, afectan al público en general, se originan por la proliferación de vectores de enfermedades, como son moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que encuentran en los residuos sólidos su alimento y las condiciones adecuadas para su reproducción, como ejemplo tenemos el ciclo vital de la mosca ( Fig. 1.2)
- Algunos ejemplos de vectores transmisores de organismos causantes de enfermedades (patógenos) se mencionan en el cuadro 1.1
- Alimentación de animales con basura orgánica no tratada adecuadamente (cerdos, aves, etc.), esta práctica no es recomendable como disposición final, puesto que se corre el riesgo de deteriorar la salud pública. El consumo de cerdos alimentados con basura puede causar triquinosis y cisticercosis entre otras enfermedades
- Accidentes aéreos y terrestres, por la disminución de la visibilidad debido a los humos y por la presencia de aves en los tiraderos de basura cercanos a los aeropuertos y a las carreteras.

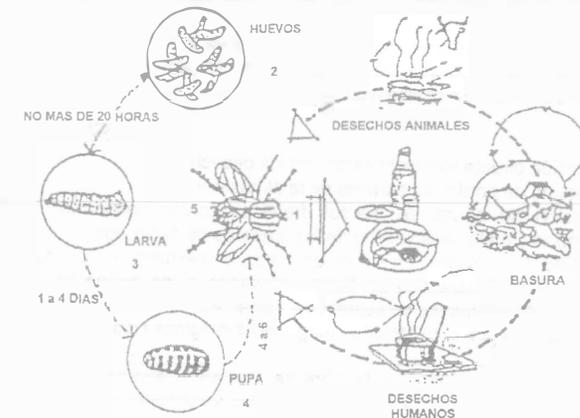


Figura 1.2 Ciclo vital de la mosca y su importancia en la transmisión de enfermedades

Cuadro 1.1

Enfermedades relacionadas con residuos sólidos municipales transmitidas por vectores

Vectores	Forma de transmisión	Principales enfermedades
Ratas	A través de mordisco, orina y heces A través de las pulgas que viven en el cuerpo de la rata	Rabia Leptospirosis Diarreas Peste bubónica Tifus murino
Moscas	Por vía mecánica (a través de las alas, patas y cuerpo) A través de las heces y la saliva al regurgitar	Fiebre tifoidea Salmonelosis Cólera Amebiasis Disentería Giardiasis Diarreas
Mosquitos	A través de picadura del mosquito hembra	Malaria (paludismo) Leishmaniasis Fiebre amarilla Dengue Filariasis Encefalitis
Cucarachas	Por vía mecánica (a través de alas, patas y cuerpo) y por las heces	Fiebre tifoidea Cólera Giardiasis Lepra Intoxicación
Cerdos	Por ingestión de carne contaminada	Cisticercosis Toxoplasmosis Triquinosis Teniasis
Aves	A través de las heces	Toxoplasmosis

**b) Residuos Industriales Peligrosos y especiales**

En los RSM se puede encontrar una gran variedad de residuos peligrosos, entre ellos: 1º químicos, especialmente pilas y baterías; 2º aceites y grasas; 3º plaguicidas; 4º solventes, pinturas y tintes; 5º productos de limpieza; 6º cosméticos; 7º medicinas con sustancias todavía activas y 8º aerosoles.

En los países desarrollados existe gran preocupación por estos componentes de los RSM y se establecen reglas y procedimientos para su manejo. Pocos países de América Latina tienen legislación al respecto y los que la tienen no la aplican ni la cumplen, en México ya se cuenta con alguna legislación sobre el tema.

Cada vez hay mayor preocupación y atención de parte de la población y de los poderes públicos por los residuos de los establecimientos de salud, existiendo normas al respecto.

En cuanto a los residuos peligrosos, para establecer una relación de causa y efecto entre contaminación y salud, es necesario definir la ruta de exposición, según la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades del Departamento de Salud Pública de los Estados Unidos (ATSDR), las rutas de exposición se componen de cinco elementos:

- Fuentes de contaminación o sitios de residuos peligrosos. En México principalmente son los basureros y rellenos no controlados.
- Medios ambientales para el transporte de contaminantes: aire, agua, suelo, polvos y alimentos.
- Puntos de exposición o lugares donde ocurre el contacto del hombre con el contaminante, por ejemplo, el tiradero donde los pepenadores recuperan residuos o el camión recolector en donde los trabajadores no tienen equipo de protección personal.
- Vías de exposición. Para el aire es la inhalatoria; para el agua, suelo, polvo y alimento es oral; por la piel (vía dérmica) pueden entrar al cuerpo humano algunos contaminantes orgánicos y metalúrgicos; por todas las vías puede penetrar la radiactividad cuando se tiene exposición a ella
- Población receptora: Grupos humanos afectados, el tiempo de exposición y la cantidad de residuos peligrosos son los factores que más influyen en los efectos a la salud humana.

Los estudios preliminares de San Luis Potosí, México, donde hasta el año 2000 existe el único confinamiento controlado, indican que la proporción de sitios peligrosos con presencia de contaminantes orgánicos fué superior a la de los sitios con contaminantes inorgánicos. En Estados Unidos se obtuvo un resultado semejante al analizar los tipos de contaminantes de los sitios peligrosos que conforman la lista de prioridades nacionales. Los compuestos orgánicos volátiles se encontraron en 66% de los sitios, los inorgánicos

en 65% de los sitios y los orgánicos halogenados (plaguicidas y bifenilos policlorados) en 34% de los sitios.

Al hacer una lista preliminar de contaminantes prioritarios debería incluirse también sustancias de reconocida toxicidad que se han usado ampliamente en distintas naciones del mundo, como son los bifenilos policlorados, los ftalatos y el cloruro de vinilo, en cuanto a los contaminantes biológicos, que contienen agentes patógenos, están comprendidos dentro de los residuos especiales. En el cuadro 1.2 se resumen los datos sobre algunos contaminantes de reconocida toxicidad que pudieran estar asociados con sitios peligrosos.

Considerando los efectos de cada uno de ellos, prácticamente todos los órganos y sistemas del cuerpo humano podrían estar afectados por estos residuos peligrosos, no obstante, para la ATSDR, la siguiente es la lista, en orden alfabético, de los siete principales problemas de salud asociadas a las sustancias contaminantes en sitios peligrosos.

1. Anomalías inmunológicas;
2. Cáncer;
3. Daño reproductivo y defectos del nacimiento;
4. Enfermedades respiratorias y del pulmón;
5. Problemas de funcionamiento hepático;
6. Problemas de funcionamiento neurológico; y
7. Problemas de funcionamiento renal

Desde el punto de vista social y cultural, el listado también, mediante encuestas, puede organizarse de acuerdo a la preocupación de la comunidad. Las tres condiciones de salud que más preocupación generan entre las poblaciones con riesgo por residuos peligrosos son: cáncer (53% del total de las preocupaciones declaradas), efectos neurotóxicos (19%) y defectos de nacimiento (11%).

En relación a otros efectos, a pesar de que el número de sustancias asociadas a sitios peligrosos es grande, algunos efectos como los inmunológicos, los reproductivos e inclusive los neurológicos, pudieran no haberse registrado en los estudios epidemiológicos que hasta la fecha se han realizado entre las comunidades vecinas a estos sitios, por la simple razón de que la literatura científica sobre el tema es escasa para un gran número de dichos contaminantes.

**c). Accidentes y riesgos ocupacionales**

La salud de los trabajadores involucrados en los procesos de operación de los sistemas de residuos sólidos municipales, está relacionada no sólo a los riesgos ocupacionales inherentes a los procesos, sino también a sus condiciones de vida.

Algunos de los accidentes más frecuentes en América Latina y el Caribe entre los trabajadores que manejan directamente los RSM son:

- Cortes con vidrio: es el accidente más común entre los trabajadores de recolección domiciliaria, en los trabajadores de plantas de recuperación y reciclaje y entre los pepenadores informales. la causa principal de estos accidentes se debe a la falta de información y educación de la población en general que no se preocupa de aislar o separar los vidrios rotos de los otros residuos, el uso de guantes atenúa la incidencia de cortes pero no impide la mayor parte de estos accidentes.
- Cortes y perforaciones con objetos puntiagudos como agujas de jeringas, clavos, espinas y otros
- Caídas del vehículo: principalmente en la recolección domiciliaria y en la limpieza de vías, debido a que los trabajadores viajan en el estribo trasero del vehículo sin ninguna protección, otro factor relacionado es la elevada incidencia de alcoholismo entre los trabajadores de aseo urbano, lo que aumenta los riesgos de accidentes.
- Atropellamiento: están expuestos los trabajadores de recolección, de estaciones de transferencia de barrido de calles y los de disposición final de residuos. Además con igual o mayor riesgo están los pepenadores informales de los tiraderos de basura y de rellenos no controlados.
- Otros: también ocurren accidentes, algunos fatales o mutilaciones por aplastamiento o presión de equipos de compactación y otras máquinas; mordedura de animales (perros, ratas) y picadura de insectos venenosos.

Cuadro 1.2 Algunos contaminantes prioritarios para América Latina y el Caribe que pudieran estar asociados con sitios peligrosos

Plaguicidas	Endosulfán lindano DDT paratión metil paratión, matamidofós pemetrina paraquat 2,4D, organometálicos pentaclorofenol	Disolventes	Benceno tolueno glicol éteres Tricloroetileno tetracloroetileno disulfuro de carbón hexano formaldehído tetracloruro de carbono xileno
Metales	Plomo arsénico mercurio cadmio cromo níquel flúor	Otros	PCB* ftalatos cloruro de vinilo contaminantes biológicos

\* (PCB) bifenilos policlorados

Los trabajadores de limpieza urbana también están expuestos a peleas y violencia, al frío, al calor, a los humos, al monóxido de carbono, a la adopción de posturas forzadas, a levantar cargas excesivamente pesadas y a los microorganismos patógenos presentes en los residuos municipales. Las micosis son comunes en los trabajadores que manejan RSM y aparecen frecuentemente (más no exclusivamente) en manos y pies, donde los guantes y calzados establecen condiciones favorables para el desarrollo de estos microorganismos.

También se han detectado índices relativamente altos de dolencias coronarias e hipertensión arterial, principalmente entre los trabajadores de recolección domiciliaria se ha encontrado 46% con algún grado de hipertensión arterial, de los cuales 20% tenían síntomas moderados o severos. En Dinamarca, en una planta de separación de residuos, 53% de los trabajadores desarrollaron dolencias pulmonares durante los 8 primeros meses de operación.

Finalmente, debe hacerse referencia al estrés que soportan los trabajadores por largos períodos de transporte y los problemas de sobrevivencia y de nutrición resultantes de sus bajos salarios y desgaste físico, el estrés puede ser causa de muchos accidentes de trabajo, de dolencias ocupacionales y reducción de la inmunidad.

Los escenarios de emergencias ambientales son completamente diferentes a los escenarios de la contaminación en sitios peligrosos, en las emergencias ambientales, por lo general se presenta la exposición a una sola sustancia y no a mezclas complejas como es el caso de los lugares contaminados con residuos. La exposición es aguda y no crónica y las concentraciones ambientales pueden llegar a ser muy altas.

México tiene un amplio historial en materia de accidentes ambientales. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de México ha efectuado un inventario de los accidentes químicos ocurridos en el país de 1990 a 1993; este inventario incluye 370 incidentes, de los cuales 70% ocurrieron en el interior de instalaciones que manejan o almacenan sustancias químicas peligrosas.

En el "Análisis sectorial de residuos sólidos en Colombia", (OPS, 1996), se presentó el cuadro 1.3 que muestra datos suministrados por el instituto privado de salud "La Bergerie" de Bogotá, con los 10 diagnósticos más frecuentes en los 2.341 recicladores que acudieron durante 1993 a dicho establecimiento de salud.

Los cuadros 1.3, 1.4 y 1.5 muestran la estrecha relación del ambiente de trabajo con las condiciones sanitarias en que viven los pepenadores de Bogotá y Lima, mismas que se repiten en otras ciudades de América Latina y el Caribe.

Cuadro 1.3 Accidentes de los pepenadores - Lima, Perú, 1995

Accidentes	Relleno	De la calle
Heridas	68%	46%
Caídas y golpes	11%	25%
Atropellos y choques	4%	12%
Inhalaciones nocivas	11%	3%
Otros	8%	14%
Total	100%	100%

Fuente: IPES, Rescatando vida. Lima, 1995.

Cuadro 1.4 Diagnósticos más frecuentes en recicladores de Bogotá, Colombia, 1993

Diagnósticos	No.	%
IRA (infección respiratoria aguda) leve	321	18
IRA moderada, grave o asma	287	16
Diarrea y parasitismo intestinal	199	11
Problemas gineco-obstétricos	190	10
Transtornos prenatales	187	10
Heridas y traumatismos	148	8
Enfermedades de la piel	142	8
Otros	140	8
Transtornos osteomusculares	110	6
Transtornos oftalmológicos	83	5
Total	1,807	100

Fuente: OPS. Análisis sectorial de residuos sólidos en Colombia. OPS. 1996

Cuadro 1.5 Enfermedades de los pepenadores -Lima, Perú, 1995

Enfermedades	Relleno	De la calle
Infección a los riñones	17%	49%
Estomacales	29%	14%
Vista y sistema respiratorio	22%	9%
Piel	20%	6%
Otros	12%	22%
Total	100%	100%

Fuente: IPES. Rescatando vida. Lima, Perú 1995.

## 1.7 EFECTOS EN EL AMBIENTE

El impacto ambiental negativo se presenta en el siguiente orden decreciente de riesgo: 1º sitios de disposición final; 2º sitios de almacenamiento temporal; 3º estaciones de transferencia, plantas de tratamiento y recuperación; y 4º en el proceso de recolección y transporte, este impacto está relacionado con la contaminación de los recursos agua, aire, suelo y paisaje, y con la falta de participación activa de la comunidad.

La protección del ambiente tiene limitaciones de falta de concientización y de participación ciudadana, de orden institucional, de legislación ambiental, financieros y sobre todo de vigilancia para el cumplimiento de las regulaciones, por otra parte, las políticas actuales para reducir la generación de residuos municipales, especiales y peligrosos, en general aun no han dado resultados; y la reducción de la peligrosidad de los residuos en la fuente mediante procesos productivos más limpios, es aun incipiente.

En la figura 1.3 se muestran aspectos negativos de los desechos en general.

Los residuos sólidos municipales y peligrosos son causa de problemas ambientales importantes, especialmente en las áreas urbanas y en las zonas industrializadas, el impacto de la generación y manejo de los residuos sólidos también amenaza la sustentabilidad ambiental. El consumo y la contaminación fueron símbolos de la industrialización y, a partir de la década de los 70's, los cambios en el ambiente comenzaron a ser muy notorios y a causar preocupación mundial por la preservación de la vida en el futuro.

### a) Contaminación del aire

En los tiraderos a cielo abierto, es evidente la contaminación atmosférica por la presencia de malos olores y la generación de humos, gases y partículas en suspensión por incendios, ya sea provocados o espontáneos y el arrastre de los vientos (ver figura 1.3). Los incineradores de edificios multifamiliares fueron prohibidos en ciudades tales como México y Buenos Aires debido a que incrementaban la contaminación atmosférica.

La quema en basureros y el uso de incineradores sin sistemas de control de la contaminación, presentan un riesgo mayor debido a la presencia de plásticos, compuestos órgano-clorados, órgano-fosforados y otros productos químicos de significativa peligrosidad, en general los países de América Latina y el Caribe tienen problemas de contaminación atmosférica por estas causas.

Los humos procedentes de la quema o incendios reducen la visibilidad y son causa de irritaciones nasales y de la vista, participan también en el incremento de las afecciones pulmonares, además de las molestias originadas por malos olores.

Otros impactos negativos asociados al aire son los malos olores causados por el inadecuado manejo de los recipientes y contenedores, el deficiente almacenamiento de los residuos sólidos, el poco cuidado en su recolección y transporte, la operación ineficiente de estaciones de transferencia o plantas de tratamiento, y de recuperación para reciclaje.

### b) Contaminación del agua

El efecto ambiental más serio, pero menos reconocido, es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, por el vertimiento de las basuras a los ríos y cañadas, también por el líquido percolado (lixiviado) procedente de los tiraderos a cielo abierto.

La descarga de las basuras a las corrientes de agua, incrementa la carga orgánica y disminuye el oxígeno disuelto; aumenta los nutrientes que dan lugar a la eutroficación; causa la muerte de peces; genera malos olores y deteriora su aspecto estético. A causa de esta circunstancia, en muchas ocasiones se ha perdido este recurso tan importante para el abastecimiento o para la recreación.

La descarga de las basuras en las corrientes de agua o su abandono en las vías públicas, traen consigo la disminución de los cauces y canales, y la obstrucción de las coladeras y tuberías de los alcantarillados. En época de lluvias, esto provoca inundaciones que en algunos casos ocasionan la pérdida de cultivos, de bienes materiales, daños a la salud y, más grave aún, pérdida de vidas humanas.

#### Agua Superficial

Uno de los efectos ambientales más serios provocados por el manejo inadecuado de los residuos sólidos, en ocasiones arrojados directamente, es la contaminación de las aguas superficiales que muchas veces son fuentes de abastecimiento de agua potable. Por una parte, la materia orgánica de los residuos disminuye el oxígeno disuelto y aumenta los nutrientes, N y P, lo que ocasiona el aumento descontrolado de algas y acelera procesos

## de eutroficación

Los RSM frecuentemente están mezclados con residuos peligrosos industriales, lo que origina contaminación química, como consecuencia, se produce la pérdida del recurso para consumo humano o para recreación, se destruye o modifica la flora y la fauna acuática, se deteriora el paisaje, además implica altas inversiones si se quiere recuperar el recurso.

Estudios hechos en México indican que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de la basura es ocho veces mayor que la producida por sus aguas residuales o "negras", en general en todos los países en desarrollo, por falta de educación y de conciencia, existe contaminación de las aguas superficiales por vertimiento directo de residuos sólidos municipales.

## Agua Subterránea

Los acuíferos confinados o libres, pueden contaminarse por la inadecuada disposición final de residuos sólidos, en la mayoría de las situaciones se subestima el problema, aún cuando la contaminación por nitratos y otras sustancias químicas en el agua subterránea utilizada para consumo humano la hace peligrosa para la salud.

En Uruguay, por ejemplo, donde 58.000 viviendas se abastecen de acuíferos subterráneos mediante pozos, la inadecuada disposición de residuos sólidos reviste especial impacto ambiental negativo. En Bogotá, los lixiviados generados en los tiraderos contaminaron las aguas subterráneas con plomo, cromo y mercurio.

## Costas Marinas

La disposición de residuos sólidos en las orillas del mar ha causado problemas de deterioro ambiental de costas y playas, del paisaje natural, así como de la flora y fauna marina, lo cual afecta el turismo. Problemas de este tipo se han presentado en las diferentes playas del mundo.

## c) Contaminación del suelo

Posiblemente la erosión, el crecimiento urbano y el depósito de desechos sean tres de los fenómenos que más alteran los suelos.

El crecimiento de las áreas urbanas incide directamente sobre el recurso suelo, tanto por la pérdida de tierras productivas como por la contaminación del suelo por residuos sólidos municipales, especiales y peligrosos. Se hace uso inapropiado del suelo y se vierte los residuos sobre depresiones naturales del terreno, muchas de ellas derivadas de la erosión siendo actualmente la solución adoptada por muchos municipios. En general el enterramiento de residuos industriales carece de control e investigación, lo que significa un peligro a mediano y largo plazo.

Deterioro estético y desvalorización tanto del terreno como de las áreas vecinas, por el abandono y acumulación de los desechos sólidos a cielo abierto, por otro lado, se contamina el suelo debido a las distintas sustancias depositadas allí sin ningún control, volviéndolo criadero de diversos animales que pueden transmitir enfermedades, producir picaduras o mordeduras a las personas.

## d) Impacto sobre el paisaje

El manejo inadecuado y la deficiente disposición de residuos sólidos afecta significativamente el paisaje. Por otro lado, es preciso aclarar que un relleno sanitario bien construido, una vez concluido, puede llegar a tener un impacto positivo sobre el ambiente por la recuperación de terrenos y el mejoramiento del paisaje.

El creciente desarrollo urbano de México ha generado un continuo deterioro del paisaje, el cual en última instancia recibe los desechos de todas las actividades del ser humano y por lo tanto su inadecuado manejo no sólo afecta la salud y el ambiente, sino que disminuye la calidad de vida en términos del espacio y del horizonte. No es raro ver como en Pasto, Colombia, que por falta de planificación y ordenamiento del uso del suelo, se haya localizado un tiradero municipal en la cima de una montaña que define los límites de la ciudad o que antes de llegar por carretera a alguna población, la basura tirada en el camino indique su proximidad.



Figura 1.3  
Abandono de los desechos sólidos a "cielo abierto"

La deficiente recolección de los residuos sólidos y la carencia de conciencia colectiva, agravan esta situación por la disposición de los desechos en calles, parques, áreas verdes, márgenes de ríos, playas y cualquier otro espacio público, lo que limita el esparcimiento y disfrute de estas áreas, porque el paisaje queda afectado e inclusive se compromete la afluencia turística, vital para la economía de varias ciudades y países,

además se afecta psicológica y socialmente a los habitantes al perderse paisajes atractivos y lugares para recreo.

## 1.8 PROTECCIÓN DE LA SALUD PÚBLICA Y EL AMBIENTE

### a) Planteamiento Internacional

En el capítulo 21 de la Agenda XXI se indican las prioridades para proteger la salud, la ecología y el ambiente, lo que se representa en la figura 1.4

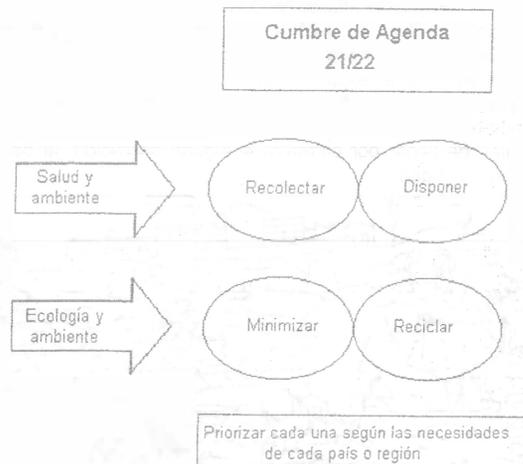


Figura 1.4 Acciones para proteger la salud y el ambiente

Es importante destacar que, para los países en desarrollo, las áreas de recolección y disposición son muy importantes pues aún no se ha logrado una cobertura universal a pesar de tener influencia directa sobre la salud pública y la contaminación ambiental, los países desarrollados en cambio, tienen una cobertura casi universal de recolección y de tratamiento y/o disposición final por lo que ellos sólo deben concentrarse en mantener la cobertura y mejorar la calidad de estos servicios.

En las áreas de minimización de residuos y maximización del reuso y reciclaje, los países en desarrollo comienzan algunas actividades generalmente a nivel local y sólo en unas pocas ciudades o en algunos sectores de las ciudades, estas dos áreas se relacionan directamente con la conservación de los recursos naturales y energía, en cambio, los

países industrializados, al tener ya resueltos los problemas de los servicios de recolección y disposición final, tienen programas de minimización y reciclaje, que han iniciado hace varios años con metas definidas y recursos financieros apropiados.

En la figura 1.5 se muestra un factor importante que influye en el ambiente, lo que puede deberse en parte al crecimiento demográfico y al consumismo, por lo que es necesario se adopte mundialmente "el desarrollo sustentable o sostenible".



Fig. 1.5 Producción vs afectación al ambiente

### b) Problemas y acciones básicas

En condiciones de calor y humedad los residuos orgánicos se convierten en lugares ideales para la multiplicación de organismos causantes de enfermedades, los organismos patógenos aun estando ausentes al principio tienen fácil acceso a los residuos por intermedio de vectores. En el caso de los residuos sólidos los vectores (portadores) y los medios usuales para la transmisión de enfermedades (agua, aire y alimentos) no son tan importantes como las moscas, los roedores y los mosquitos que son los vectores primarios. Las enfermedades principales que son motivo de preocupación y que se asocian con las moscas y mosquitos que se reproducen en los predios donde no se controlan adecuadamente los residuos son gastroenteritis, disentería, hepatitis, encefalitis, fiebre amarilla y dengue. Se han sugerido las siguientes medidas en el manejo de los residuos para reducir los peligros para la salud relacionados con la fauna nociva y con otros vectores.

- Uso de recipientes bien cerrados para los residuos orgánicos
- Compactación de los residuos hasta al menos  $600 \text{ kg/m}^3$  ( $1,000 \text{ lb/yd}^3$ ) para reducir los lugares que favorecen la reproducción de insectos y el acceso de roedores.

- Procesamiento antes de 2 días (las larvas de mosca eclosionan en unos pocos días)
- Desmenuzamiento de los residuos para favorecer la descomposición aerobia, la cual es un proceso productor de calor y por tanto poco atractivo para insectos y bichos.

La existencia y multiplicación de organismos nocivos y su transmisión no es la única preocupación relacionada con la salud, muchos materiales potencialmente peligrosos como recipientes de disolventes y plaguicidas, residuos médicos y partículas de asbesto, aunque están prohibidos, pueden estar presentes en los residuos municipales cuando éstos se recolectan. La contaminación del aire que causan las partículas y los contaminantes gaseosos de predios destinados a rellenos de tierras e incineración es otro problema ambiental relacionado con la eliminación de residuos sólidos.

El entierro de residuos sólidos o de los restos de su incineración puede poner en peligro la calidad de las fuentes de aguas subterráneas o superficiales, por ello son necesarios diseños apropiados y una operación cuidadosa de los rellenos para reducir al mínimo el riesgo asociado con el líquido contaminado drenado (llamado lixiviado) que proviene de los desechos en descomposición.

### c) Reducción de las fuentes

La reducción de las fuentes, definida como una reducción en la cantidad o toxicidad de los residuos que entran en la corriente residual, se distingue del reciclaje, la conversión en abono y otras prácticas de recuperación, en que todas ellas se verifican después de la generación de los residuos. La reducción de las fuentes es el componente de mayor categoría en la jerarquía de la administración de los residuos sólidos porque representa el medio más eficaz para reducir los costos económicos y los efectos ambientales asociados con el manejo de los residuos.

Se han identificado cuatro requisitos fundamentales para implantar un programa de reducción de las fuentes:

1. Adopción de estándares industriales para la manufactura y empaquetado de los productos con un menor uso de materiales.
2. Aprobación de leyes que reduzcan al mínimo el uso de materiales vírgenes en productos de consumo.
3. Adopción, por parte de las comunidades, de tarifas por servicios de administración de residuos. Dichas tarifas deben sancionar a los generadores por aumentar las cantidades de residuos.
4. Rechazo de los consumidores al exceso de empaque y al uso de materiales no

degradables o no reciclables.

Los ahorros potenciales derivados de la reducción de las fuentes son considerables. Por ejemplo en la ciudad de Nueva York se estimó que una reducción del 7 % en las fuentes daría lugar a un ahorro de 90 millones de dólares en costos evitados para el año 2000, y costos acumulativos evitados entre 1992 y 2010 de \$ 700 a \$ 800 millones (NYC. Dept. of Sanitation, 1992). La disminución en la contaminación del aire y del agua como consecuencia del manejo de menos residuos sólidos sería un beneficio adicional para la sociedad.

### d) Reciclaje

Después de la reducción de las fuentes, el reciclaje es la práctica más importante dentro de la jerarquía de la administración de residuos sólidos, por ejemplo a lo largo de los últimos 250 años en Estados Unidos la proporción de residuos domésticos reciclados ha disminuido continuamente, desde más del 90% hasta alrededor del 7% en 1970. A partir de entonces el interés en el reciclaje ha renacido, y en 1987 el estado de Nueva Jersey aprobó la primera legislación de alcance estatal sobre reciclaje obligatorio, de acuerdo con esta ley, los residentes de las 567 comunidades del estado tenían obligación de reciclar, para 1989, el 25% de los residuos sólidos generados, y todas las poblaciones estaban obligadas a transformar las hojas en abono.

La presión por la disminución de la capacidad de los rellenos sanitarios, los efectos ambientales, la mejoría en los mercados, los incentivos económicos y el apoyo político contribuyen a la tendencia hacia el aumento del reciclaje. Para 1990 la recuperación de materiales reciclados en Estados Unidos había ascendido al 17% del total de RSM generados, cifra que incluye alrededor del 2% de residuos que presentan una conversión en abono (U.S. EPA, 1992).

Para un programa de reciclaje satisfactorio es necesaria la existencia de un mercado para el material reciclable, que sea confiable y esté cercano a los materiales recuperados. Aunque la recuperación de ciertos componentes como latas de aluminio y botellas de plástico grandes puede ser rentable, no sucede lo mismo en la mayor parte de otros programas que contemplan el reciclaje de otros materiales, los cuales requieren subsidios o legislación por parte de los gobiernos.

El costo neto de la recolección en las aceras y el procesamiento de materiales reciclables (tomando en cuenta los ingresos por materiales vendidos) se ha estimado entre 110 y 176 dólares por tonelada métrica, en comparación con un costo representativo de \$ 100 por tonelada para la recolección, acarreo y entierro de RSM. Si el costo neto del reciclaje es de \$ 165 por tonelada y el 25% del flujo de RSM se recicla, la incorporación de un programa de reciclaje aumentaría el costo total del sistema de \$ 100 por tonelada a cerca de \$ 120 por tonelada, con base en costos de recolección de \$ 55 por tonelada y cargos por acarreo y entierro de \$ 44 por tonelada para residuos no reciclados.

El desarrollo de mercados depende de la calidad y la cantidad de los materiales recuperados, la capacidad global de la industria y el costo de las materias primas en competencia. La contaminación del material recuperado o los cambios en su composición química debidos a los procesos de recuperación, significan que éstos productos por lo general son de calidad inferior y por tanto de menor precio que los materiales vírgenes.

Además de mercados confiables, los programas de reciclaje requieren una infraestructura de recolección y procesamiento que permita la disponibilidad de un abasto confiable y consistente de material recuperado para los fabricantes. Los productos que se recuperan de los RSM se pueden reutilizar como "recursos" sólo cuando existe un mercado para ellos. El reciclaje de algunos de estos materiales recuperados que tienen mercado son: aluminio, papel, cartón, vidrio, plásticos y metales ferrosos.

#### e) Recuperación de energía

Las tres formas principales de utilizar la energía que contienen los residuos sólidos municipales son (1) emplear el material como combustible, (2) recuperar el material para reutilizarlo, con lo cual se ahorra la energía necesaria para procesar y transportar el material virgen y (3) la producción de biogas con el material biodegradable.

1. Combustibles derivados de residuos sólidos. Los residuos sólidos se pueden quemar directamente en incineradores (un proceso que se conoce como quema en masa) o convertirse en Combustible Derivado de Desechos (CDD) que es más eficiente. La quema controlada de residuos sólidos municipales o CDD produce agua caliente o vapor de agua para calefacción, o también vapor de agua para impulsar turbinas que generan energía eléctrica. La quema en masa de residuos sólidos con el propósito de producir vapor de agua para calefacción o para generar electricidad ha sido común en Europa occidental y en Japón desde hace muchos años, no obstante, hasta que los precios de los combustibles aumentó a lo largo de la década de 1970 y principios de los años ochenta, hizo económicamente atractiva la recuperación de energía, esta práctica era poco común en Estados Unidos y Canadá. En 1992, el 93% de los RSM quemados en Estados Unidos fué incinerado en plantas convertidoras de residuos en energía (de las cuales había 142), con la consecuente producción del equivalente a 2,300 MW de electricidad, suficiente para 1.3 millones de hogares.

El CDD se elabora a partir del papel y el plástico que se extrae de residuos sólidos municipales previamente desmenuzados (casi siempre) por medio de clasificadores de aire normales. El CDD se puede transformar en gránulos de combustible sólido (de 1 a 1.5 cm) o quemarse directamente en calderas de servicio consumidoras de carbón en una proporción de 15% de la alimentación térmica total. Sin el granulado u otras medidas de conservación, el almacenamiento de CDD constituye un problema debido a cambios en el contenido de humedad, mohos y descomposición.

2. Reutilización de materiales. La reutilización de materiales recuperados es otro medio importante para aplicar la conservación de energía a la eliminación de

residuos sólidos, como ya hemos señalado, la reutilización, al menos desde un punto de vista energético, se justifica sin dificultad para los metales ferrosos, el aluminio y otros metales no ferrosos, porque la extracción de material virgen de las minas consume mucha energía, en el caso del vidrio sólo es posible conseguir ahorros significativos de energía por reutilización del recipiente.

3. Producción de biogas. Otra reutilización de la energía procedente de los materiales recuperados es el aprovechamiento de la materia orgánica que contiene energía biológica, misma que puede ser recuperada mediante procesos anaerobios para la descomposición de esta materia al presentarse una digestión que la degrada a través de bacterias anaerobias y facultativas con producción de gases principalmente metano (CH<sub>4</sub>), también llamado biogas o gas natural, que puede ser aprovechado como combustible.

## 1.9 RECURSOS Y FINANCIAMIENTO

### Organismos cooperadores

#### a) Organismos internacionales y bilaterales

Los organismos internacionales de crédito que han venido otorgando apoyo financiero a proyectos de saneamiento básico, ambiente y desarrollo urbano, dentro de los cuales se incluye el manejo de los residuos, son el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Hasta el presente los créditos bancarios otorgados al sector Residuos sólidos todavía son limitados. El financiamiento a título de donación está dirigido a apoyar actividades de investigación, asistencia técnica, estudios, planes maestros, proyectos de preinversión y provisión de equipo, siendo las principales fuentes bilaterales la Agencia Alemana para la Cooperación Técnica, (GTZ); la Agencia de Cooperación Internacional del Japón, (JICA); la Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos, (AID); la Agencia Española de Cooperación Internacional, (AECI); y los gobiernos de Canadá, Italia y Bélgica. En algunos casos, estas agencias canalizan sus recursos a través del BIRF o BID, que actúan como fideicomiso.

Los recursos provenientes de fuentes externas frecuentemente se distribuyen en los países a través de organismos nacionales que actúan como agentes financieros, por ejemplo, en México el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, (BANOBRAS); el Fondo de Infraestructura, (FINFRA); y Nacional Financiera, (NAFIN), dirigen los recursos externos hacia los estados y municipios para financiar proyectos de residuos sólidos urbanos.

Desde hace varias décadas, todos los países de la Región cuentan con la asistencia técnica de la OPS/OMS en la administración de residuos sólidos. En forma ocasional, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, (CEPAL), el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, (PNUD), y la Organización de Estados Americanos, (OEA), también prestan asistencia técnica a los países.

La dificultad que tienen gran número de ciudades intermedias y pequeñas para recurrir a créditos internacionales se ha identificado como un aspecto crítico. Sin un sector de residuos sólidos formalmente constituido y sin un organismo nacional líder, es difícil canalizar donaciones y asistencia técnica de agencias bilaterales e internacionales hacia las ciudades intermedias y menores.

Por otra parte, sólo en raros casos el financiamiento externo directo le da identidad propia a los proyectos de residuos sólidos pues aún continúa siendo componente de otros programas o proyectos, lo que no ocurre con los servicios de agua potable y alcantarillado.

#### b) Cooperación financiera y préstamos del BID

EL BID otorgó préstamos para inversión social a Colombia, Bolivia y tenía propuesto para el trienio 1996-1998, 30 préstamos, donaciones y otras formas de cooperación financiera para el área de residuos sólidos como componente de proyectos de desarrollo urbano, saneamiento básico o ambiente en Argentina, Bahamas, Barbados, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Costa Rica Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Jamaica, México, Paraguay, Trinidad y Tobago y Uruguay. El monto de los préstamos asciende a 4,530 millones de dólares para 3 años, correspondiendo 7% (US\$ 317 millones) al componente de residuos sólidos. Este último monto representa menos del 2% del presupuesto promedio anual del BID.

#### Microempresas

En cuanto a las Microempresas, la estrategia del BID consiste en promover la adopción de un marco normativo favorable, en crear instituciones sólidas y sostenibles capaces de proporcionar los servicios que las microempresas necesitan, en ofrecer mayor acceso a servicios financieros y no financieros a los microempresarios más pobres, y en mantener una corriente de recursos para invertir en el desarrollo de microempresas. El banco ha previsto más de US\$500 millones para el financiamiento de programas de microempresas durante los próximos cinco años. En 1995 el Banco aprobó un programa global de crédito para microempresas por un total de US\$ 25 millones para Perú, así como 32 operaciones de pequeños proyectos por un total de US\$ 15 millones. El programa global en Perú, donde existen más de 150 microempresas de aseo urbano, ofrece a las microempresas la obtención de créditos y cuenta además con el componente de cooperación técnica que se financia con recursos del Organismo Suizo de Desarrollo y fondos locales

#### Inversiones en el sector y privatización

Hasta el presente, el monto de las inversiones en el sector de residuos sólidos por parte de las administraciones públicas nacionales, estatales y municipales no ha sido significativo porque la prioridad del servicio de aseo urbano no se reconoce debidamente. Generalmente es un componente menor de los proyectos de saneamiento básico y otras veces es el "furgón de cola" de proyectos de desarrollo urbano. Raros son los proyectos específicos de residuos sólidos como, por ejemplo, el "Proyecto piloto de residuos sólidos" de México, por US\$ 50 millones, cofinanciado por el BIRF, o el "Segundo proyecto de

residuos sólidos" también de México, por US\$ 120 millones cofinanciado 50% por el BIRF.

En algunos países, los recursos financieros para inversiones provienen parcial o totalmente de los bancos nacionales de desarrollo o entidades financieras del gobierno destinados a proveer recursos para servicios públicos. Por ejemplo en Brasil, algunas de las fuentes son el Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social, (BNDES), que tiene un fondo social para inversiones en equipo de recolección y transferencia y una Financiadora de Estudios y Proyectos, (FINEP); y el "Banco de Brasil" que cuenta con el Fondo de Incentivos para Investigaciones Técnico-Científicas, (FIPIC). Igualmente, México cuenta con BANOBRAS, NAFIN y el Fondo de Infraestructura, (FINFRA)

Con las inversiones que se realizan no es posible siquiera renovar los equipos de recolección y disposición final, y menos pretender ampliar las instalaciones y el equipo para cubrir las nuevas demandas que el crecimiento poblacional urbano exige. Por ello, si no hay recursos para invertir, la alternativa es la privatización de los servicios.

#### Costos del servicio

En el cuadro 5.7 del capítulo 5 se muestra una columna que refleja la relación de ingresos y egresos de los servicios de aseo en América Latina que pudieron proporcionar esta información, aunque no es totalmente confiable; se observa que sólo 47% de las ciudades tienen ingresos satisfactorios por el cobro del servicio; 20% los tienen regulares y 33% tienen un servicio casi totalmente subvencionado. Es conveniente notar que el estado financiero no guarda necesariamente una correlación con el tipo de institución, ni con el carácter municipal o privado del servicio (en el cuadro 5.7 se califica como "bueno" a la relación ingreso/costo mayor de 67% y "malo" a la de 33% o menos). Así por ejemplo, los datos contenidos en los informes de expertos locales para el presente diagnóstico (1996) indican que los servicios de aseo urbano no son autofinanciables en la mayoría de municipios de Venezuela, México, Perú, Costa Rica, Uruguay, Chile, Argentina, Trinidad y Tobago y Brasil.

Por otra parte, la escasez de recursos financieros ha obligado a los servicios a tomar algunas de las siguientes medidas:

- Prolongar la vida útil de los vehículos a costa de un mayor mantenimiento.
- Usar los vehículos durante dos turnos a pesar de disminuir su vida útil
- Buscar métodos no convencionales de recolección que requieran menos capital inicial
- Contratar la prestación de servicios al sector privado que aporta las inversiones de capital.

El control presupuestal de los servicios municipales está centralizado en la contabilidad general del municipio y los responsables del aseo urbano no tienen fácil acceso a ella, ni tampoco tienen claro el concepto de control de la eficiencia a través de los costos. En las

empresas municipales se lleva una contabilidad exclusiva para los servicios de aseo pero muchas veces se hace esta tarea como un requisito contable sin ver su uso potencial para el control de los indicadores de eficiencia.

Problema común es que la contabilidad municipal sólo tiene en cuenta el gasto corriente y el servicio de aseo no tiene acceso a sus costos de inversión y amortización. Por lo general los municipios manejan un presupuesto global con partidas clasificadas según la naturaleza del ingreso (ingresos tributarios, ingresos no tributarios, ingresos de capital) o del gasto (programa de funcionamiento, de inversiones y de deuda). En consecuencia, no es posible conocer en forma directa los ingresos y gastos clasificados por tipo de servicio ni tampoco los costos de los servicios de aseo urbano. Por otro lado, los indicadores de costos son ampliamente manejados en las empresas privadas por constituir elementos básicos de la gestión gerencial.

Los costos aproximados de los servicios en algunas ciudades de la Región, fluctúan entre US\$ 29 y US\$ 111 por tonelada. Los costos anuales por habitante fluctúan entre US\$ 13 y US\$ 146, siendo los costos mayores en las ciudades pequeñas de Uruguay. En Trinidad y Tabago el costo anual del servicio de aseo alcanzó a 10.9 millones de dólares, los que fueron financiados por 1,3 millones provenientes de ingresos de los 3 rellenos y el saldo por transferencia del gobierno nacional. Las estimaciones en Brasil indican que el presupuesto que se destina a la atención del manejo de residuos sólidos municipales alcanza un promedio anual de US\$ 19 por habitante servido.

En la ciudad de Guatemala donde 90% de la recolección domiciliaria lo hacen individuos y grupos privados, la municipalidad tiene a su cargo la recolección domiciliaria del 10% restante, la recolección de mercados y barrido de calles, con un presupuesto anual que no llega a 5% del presupuesto total del municipio, lo que significa además que el costo por habitante/año es menor de US\$ 1.00. Por lo general, en las ciudades donde la municipalidad es la encargada de operar los servicios de aseo, el presupuesto del departamento de limpieza representa de 20 a 50% del presupuesto municipal.

Por otra parte, se estima que los costos de capital en ALC no alcanzan a 10% de los costos totales de los servicios de aseo urbano. En la ciudad de Montevideo el costo de las remuneraciones es 73% del costo total, de los combustibles el 2%, los otros gastos de operación, mantenimiento y administración representan 20%, y los costos de capital solamente 5%. Las otras ciudades de la Región deben tener una distribución similar del gasto, especialmente cuando el barrido de calles y áreas públicas son manuales.

Los costos típicos estimados de los servicios de manejo de RSM se descomponen así:

Recolección	43 - 45%	(US\$15-40 por t)
Transferencia	0 - 15%	(US\$ 0-10 por t)
Disposición final	0 - 10%	(US\$ 0-10 por t)
Total (sin barrido)	100%	(US\$35-70 por t)

### Tasas y tarifas

Los municipios, responsables del manejo de los residuos sólidos, cuentan con recursos provenientes de transferencias del gobierno nacional, ingresos municipales (impuestos prediales, comerciales, industriales) y otros ingresos como tasas y tarifas por la prestación de los servicios de barrido público, recolección y disposición final de residuos sólidos municipales. Lo justo sería que estos últimos ingresos cubrieran los costos corrientes y los costos de capital de los servicios de aseo urbano, pero no es así puesto que la relación de este tipo de ingresos con los egresos por limpieza pública son deficitarios en la mayoría de los municipios. En algunas ciudades no se cobra ni tasa ni tarifa por razones políticas, en otras este ingreso es muy bajo por lo difícil de la cobranza, por falta de educación comunitaria o por que el servicio es de tan baja calidad que los usuarios se niegan a pagarlo.

El cobro de las tasas de limpieza pública, que son impuestos que fija el municipio, es la forma más utilizada para recaudar este ingreso en la mayoría de los países de ALC. Generalmente estas tasas se fijan tomando como base el valor de la propiedad predial, el consumo de electricidad o el de agua potable. En algunas ciudades este impuesto se fija con criterio técnico, pero en otras es totalmente arbitrario.

En Río de Janeiro, la COMLURP hasta 1980 cobraba una tarifa de recolección de basura directamente a los usuarios pero en septiembre de 1980, El Supremo Tribunal Federal decidió que este servicio, por su relación con la salud pública, era un servicio público esencial que no podía financiarse mediante el cobro de una tarifa, sino por medio de tasas e impuestos. Esta decisión se mantiene hasta ahora.

La aplicación de una tasa real y socialmente justa que efectivamente cubra los costos de los servicios y que además concilie el principio de "quien puede más, paga más", implica decisiones políticas que las autoridades municipales no siempre están dispuestas a asumir. La obtención de menores ingresos que los necesarios, determina que los municipios subsidien al servicio de aseo en detrimento de otros programas prioritarios o que el servicio de limpieza sea totalmente deficiente.

En Chile, la política financiera y tarifaria del sector está determinada por leyes recientes, las que establecen procedimientos para el cálculo de la tarifa y que consiste básicamente en dividir el costo real del servicio por el número de usuarios, incluido un cobro adicional a los usuarios que exceden los 200 litros diarios. Sin embargo, por falta de mecanismos para hacer efectiva la tarifa, los municipios, que en su conjunto erogaron 75 millones de dólares al año en la prestación del servicio de aseo urbano, solo logran cobrar un 30% de ese monto.

### Comercialización

La facturación y recaudación por aseo urbano tiene muchas formas. Cuando la cobranza se incluye en el impuesto predial, el sistema no es eficiente por que requiere que la municipalidad tenga un catastro predial actualizado, que los predios no estén

subvaluados, que la facturación se emita oportunamente y que no haya morosidad en el pago. Todas estas condiciones no se cumplen y hay usuarios que nunca pagan, por que además las cobranzas coactivas son muy lentas. Bajo este sistema los ingresos raramente cubren los costos del servicio, especialmente en los sectores más pobres de la ciudad y consecuentemente el servicio es subsidiado por la municipalidad. Este sistema se utiliza en gran número de países de América Latina, la situación mejora un poco cuando la tasa de aseo se incluye dentro del predial pero en forma etiquetada.

Otra forma de cobro es la facturación conjunta con otros servicios públicos, como agua potable o electricidad; se fija el monto como un porcentaje del servicio primario, lo que implica una diferencia social de la tarifa (se supone que el agua potable o la electricidad ya la han tomado en cuenta). Desde hace varios años Bogotá y otras ciudades colombianas, así como Panamá, efectúan el cobro conjuntamente con el agua potable. Las Empresas Varias de Medellín, encargadas del aseo urbano, cobran conjuntamente con los cargos de agua potable, alcantarillado y teléfonos.

El cobro directo al usuario casi no se acostumbra en la Región salvo algunas ciudades como Guatemala y Quetzaltenango (Guatemala), donde los recolectores privados cobran directamente a sus usuarios. En los países industrializados, como Estados Unidos, no es raro el cobro directo y el pago normalmente se hace por correo.

La comercialización es un aspecto crítico en la privatización de los servicios de aseo urbano en ALC puesto que para las empresas privadas el cobro directo de tarifas de aseo es muy riesgoso.

#### **Financiamiento del sector privado**

Las inversiones de las empresas privadas que actúan en el manejo de residuos sólidos municipales y residuos peligrosos son financiadas por entidades del propio sector privado, lo que supone por una parte trámites ágiles, pero por otra parte recursos financieros más caros que al final inciden sobre los costos del servicio prestado.

Los costos corrientes y las amortizaciones se financian con los pagos que reciben de la municipalidad por la prestación de los servicios contratados. Inclusive en los servicios de recolección dados en concesión, las empresas privadas prefieren que el sistema comercial lo maneje el municipio. En las plantas de tratamiento y rellenos sanitarios operados por el sector privado se practica el cobro en forma directa a los usuarios, aunque debe reconocerse que el principal usuario es el municipio. También se practica el cobro directo a los grandes generadores de residuos sólidos municipales y residuos industriales cuando los precios son acordados entre las partes.

Un aspecto crítico es que el sector privado contratista o concesionario de servicio de RSM, tal vez por desconocimiento no acude a los créditos de organismos internacionales que podrían reducir los costos de capital y consecuentemente los cargos a los usuarios, a pesar de las facilidades dadas por los bancos internacionales.

## INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

### CAPÍTULO 2 MANEJO Y NORMATIVIDAD DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

- 2.1 SERVICIO PÚBLICO DE ASEO URBANO (SAU)
- 2.2 ETAPAS DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS
- 2.3 CARACTERÍSTICAS Y SITUACIÓN GENERAL EN AMÉRICA LATINA
- 2.4 NORMATIVIDAD AMBIENTAL NACIONAL

#### 2.1 SERVICIO PÚBLICO DE ASEO URBANO (SAU)

El aseo urbano consta fundamentalmente de las siguientes actividades: separación, almacenamiento, presentación para su recolección, recolección, barrido, transporte (primario y transferencia), tratamiento y disposición sanitaria final de los residuos sólidos municipales, siendo esta última imprescindible en el manejo de los residuos (Figura 2.1). Las primeras tres actividades son generalmente responsabilidad del usuario o generador de los residuos sólidos, las demás son competencia del municipio o de la empresa encargada de este servicio. En los países en desarrollo, el aseo urbano es uno de los problemas de saneamiento del medio que está requiriendo una mayor atención por parte de las autoridades gubernamentales, así como de las entidades de financiamiento y de investigación y donde debe aplicarse la Ingeniería sanitaria.

La mala calidad de los servicios de aseo urbano se debe principalmente a que:

- El servicio, considerado como solución al problema, frecuentemente ha sido entregado a personal sin capacitación o a políticos que no tienen la debida preparación técnica.
- No se ha tomado en consideración que éste es un problema que requiere conocimientos, investigaciones, estudios, proyectos y construcciones o instalaciones adecuadas, bien diseñadas, operadas y mantenidas.
- Existe la creencia común de que los residuos sólidos encierran una cierta riqueza.
- Existen limitaciones económicas por parte de los municipios, ya que cuentan con reducidos recursos financieros destinados a la limpieza pública.
- Tradicionalmente las autoridades, en todas las instancias de gobierno, no le han dado la importancia que requiere este servicio público, ni se le asigna un presupuesto suficiente.

El manejo adecuado de los residuos depende de estudios y proyectos, en los que las condiciones locales y regionales deben ser debidamente evaluadas y encaradas como un problema de ingeniería -particularmente de ingeniería sanitaria- requiriéndose además la colaboración de otras profesiones. Es conveniente señalar el papel preponderante que juegan técnicos de nivel medio, operadores, supervisores del aseo, tecnólogos y los promotores de saneamiento, para la solución del problema que representan los residuos sólidos.

El primer paso para un manejo integral de los residuos sólidos está en manos de todas las instancias de Gobierno (Federal, Estatal y Municipal); también resulta importante la acción por parte de los organismos internacionales.

A nivel nacional, se requiere tomar medidas, no sólo en lo concerniente a la reglamentación para el manejo adecuado de los residuos sólidos, sino también en promover la conformación de un sistema nacional de aseo urbano y apoyar la preparación o especialización de profesionales en esta área, así como contar con recursos federales.

A nivel estatal y municipal, dentro de las políticas de saneamiento básico y en concordancia con el sistema nacional de aseo urbano, se deben elaborar planes, programas y proyectos para prestar la debida asesoría técnica a los municipios y brindarles su máximo apoyo, así como pugnar porque sea personal profesional quien se responsabilice de los servicios de aseo urbano (SAU).

## 2.2 ETAPAS DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

En la figura 2.1 se muestran los diferentes etapas del manejo de los Residuos Sólidos Municipales (RSM), donde deben participar los generadores de residuos y los Servicios de Aseo Urbano (SAU); este manejo comprende desde el origen hasta su disposición final, es decir "de la cuna a la tumba".

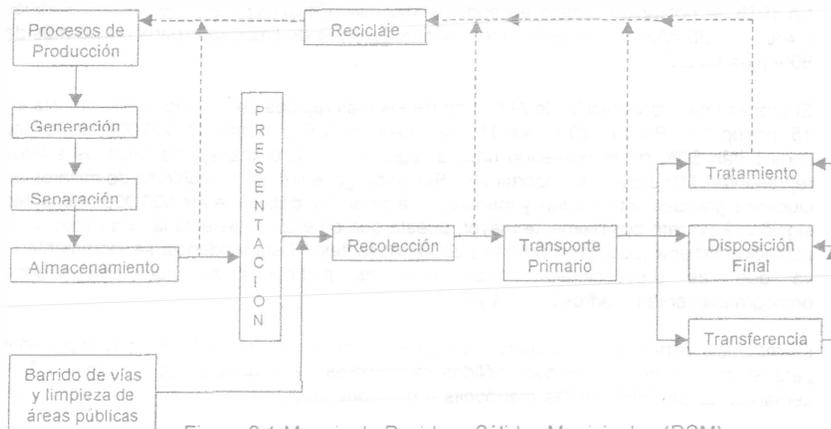


Figura 2.1 Manejo de Residuos Sólidos Municipales (RSM) en un Sistema de Aseo Urbano (SAU)

La población y las autoridades municipales interactúan de manera estrecha en el manejo de los residuos sólidos, la primera participa en las etapas de comercialización, generación y almacenamiento, las cuales establecen la demanda de los servicios de aseo urbano, por ello, limitan su participación exclusivamente al almacenamiento temporal en las diversas fuentes generadoras, posteriormente entregan residuos sólidos a los vehículos recolectores. La participación ciudadana debe iniciar una nueva etapa en el manejo de los residuos sólidos mediante programas concretos de participación en la separación y reciclaje que complementen una operación conjunta con las autoridades.

Las autoridades deben prestar los servicios que la población demanda, como son, la recolección, barrido manual, barrido mecánico, estaciones de transferencia, transporte, sitios de disposición final, también deben fortalecer los sistemas de reciclaje y tratamiento de residuos sólidos, en los que una alternativa atractiva, sería la concesión de este tipo de infraestructura, debido a los altos costos de la operación que requieren.

La creciente demanda del servicio origina un constante incremento en la infraestructura; una variable que afecta considerablemente a los servicios consiste en que con el tiempo, la ubicación de la infraestructura requerida tiende a alejarse, por lo que es conveniente realizar una planeación regional integral con perspectivas a largo plazo que posibilite el fortalecimiento de la infraestructura para el manejo de los residuos sólidos en todas sus etapas, principalmente en las zonas conurbadas y en las grandes ciudades.

El manejo de los residuos sólidos (Figura 2.1) considera todas las etapas de los mismos y define el ámbito de competencia de la población y las autoridades; todas las etapas se encuentran estrechamente vinculadas, lo cual hace imprescindible realizar una planeación en conjunto, pero involucrando cada una de ellas.

A continuación se presenta la descripción de cada una de sus etapas:

- Generación**  
Es la acción de producir una cierta cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos, en un intervalo de tiempo.
- Separación inicial**  
El proceso de separación que sufren los residuos sólidos en la misma fuente generadora, antes de ser almacenados.
- Almacenamiento**  
La acción de retener temporalmente los residuos sólidos en un recipiente en un lugar adecuado, hasta que son recolectados para su posterior transporte a los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final.

### 2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES EN AMÉRICA LATINA

Es importante conocer la situación actual que existe respecto a los RSU en diferentes países del mundo, pero principalmente en nuestro continente ya que podemos aprovechar sus experiencias y proporcionarles las nuestras, además, quien hace estos estudios es la Organización Panamericana de la Salud que cuenta con expertos que pueden asesorar a nuestros Municipios con asesorías, estudios y otros apoyos para resolver problemas específicos, además de apoyar ante el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco Mundial (BM) en los financiamientos requeridos para llevar a cabo planes nacionales y regionales en la materia

Según estadísticas de las Naciones Unidas, América Latina y el Caribe (ALC) tenía 283 millones de habitantes en 1970 y 482 millones en 1995. Para el año 2000 se estimó una población de 524 millones y de 604 millones para el año 2010. Casi 80% de la población habita en los siete países más poblados de la Región (cuadros 2.1 y 2.2).

Los programas de educación y planificación familiar emprendidos en la mayoría de los países han permitido que la tasa media de crecimiento anual en ALC, que en el período 1970-1975 era de 2.44, haya descendido a 1.84 en el quinquenio 1990-1995. Aún así, se proyecta una población de 524 millones de habitantes para el año 2000 (cuadro 2.1)

La generación de residuos sólidos municipales se presenta principalmente en las poblaciones urbanas, por ello, el proceso de urbanización de ALC requiere ser analizado. En 1975, la población urbana ascendía a 196 millones (61%) y en 1995 a 358 millones (74%). En 20 años la población que requería servicios de limpieza urbana creció más de 80% (cuadro 2.3).

El proceso de urbanización de ALC, uno de los más rápidos del mundo, se manifiesta en 15 metrópolis. Para el 2000, las 110 ciudades de ALC con más de 500.000 habitantes constituirán 50% de la población urbana regional. Para el manejo de residuos sólidos representan 110 proyectos importantes. Sin embargo, enfrentar el problema de millares de ciudades grandes, intermedias y menores que están por debajo de los 500.000 habitantes significará un reto posiblemente mayor, puesto que en ellas se asienta la otra mitad de la población urbana (población urbana  $\geq$  2500 habitantes). Esta tendencia se incrementará, ya que las proyecciones indican que las metrópolis se irán estabilizando demográficamente (cuadros 2.3, 2.4 y 2.5).

En resumen, esta creciente urbanización de América Latina y el Caribe es muy importante para el manejo de los residuos sólidos municipales. Por un lado se incrementará la demanda de servicios en las metrópolis y ciudades mayores, incluida la satisfacción de

#### d) Presentación:

Relaciona al contenedor, recipiente o depósito que deberá ser presentado y posteriormente vaciado en los camiones recolectores.

#### e) Recolección

La acción de tomar los depósitos contenedores de residuos sólidos presentados o de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos dentro de los equipos destinados a conducirlos a los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final.

#### f) Transporte primario

La acción de trasladar directamente los residuos sólidos recolectados en las fuentes de generación hasta los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final.

#### g) Transferencia

Acción de transferir los residuos sólidos de los camiones recolectores a los vehículos de transferencia, con el propósito de transportar una mayor cantidad de los mismos a un menor costo, obteniendo con esto, una mejor eficiencia global del sistema.

#### h) Tratamiento

Proceso que sufren los residuos sólidos para hacerlos reutilizables, darles algún aprovechamiento, eliminar su peligrosidad o adaptarlos para su almacenamiento traslado o disposición final.

La transformación puede implicar una simple separación de subproductos reciclables, o bien, un cambio en las propiedades físicas y/o químicas de los residuos.

#### i) Disposición final

Es el confinamiento permanente de los residuos sólidos en sitios y condiciones adecuadas, para evitar daños a la salud y a los ecosistemas propiciando su adecuada estabilización.

#### j) Reciclado

Separación que se realiza exclusivamente de los materiales reciclables, para darles un valor agregado que incremente el precio de su venta, o bien que se les acondicione para un aprovechamiento posterior, lo que puede darse en todas las etapas del proceso

#### k) Otros tratamientos intermedios y avanzados

Son procesos que permiten darle un aprovechamiento a los residuos sólidos, principalmente para producir diferentes tipos de energéticos e insumos comerciales.

servicios en las áreas marginadas y periurbanas, y por el otro, miles de ciudades intermedias y menores requerirán asistencia técnica financiera y gerencial, lo que constituirá un gran reto para los gobiernos nacionales y municipales, y también para los organismos internacionales de crédito y de asistencia técnica.

Cuadro 2.1  
Población total y tasa de crecimiento en América Latina y el Caribe

AÑO	Población total y proyecciones (miles de personas a mitad de año)	Tasa media de crecimiento anual
1970	283.214	2,44
1975	319.883	2,28
1980	358.437	2,11
1985	298.416	1,97
1990	439.716	1,84
1995	482.005	1,67
2000	523.875	1,50
2005	564.637	1,34
2010	603.843	

Fuente: Naciones Unidas. World urbanization prospects: the 1994 revision.

Cuadro 2.2  
Agrupación de países de América Latina y el Caribe según su población total (1995)

Población total (en millones)	Países
Menos de 0,5	Antigua y Barbuda, Antillas Neerlandesas, Bahamas, Barbados, Belice, Dominica, Granada, Guadalupe, Saint Kitts y Nevis, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Suriname
Entre 0,5 y 1,0	Guyana
Entre 1,0 y 5,0	Costa Rica, Jamaica, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Trinidad y Tobago, Uruguay
Entre 5,0 y 10,0	Bolivia, El Salvador, Haití, Honduras, República Dominicana
Entre 10,0 y 20,0	Chile, Cuba, Ecuador, Guatemala
Entre 20,0 y 50,0	Argentina, Colombia, Perú y Venezuela
Entre 50,0 y 100,0	México
Más de 100,0	Brasil

Fuente: CEPAL. Anuario estadístico de América Latina y el Caribe, 1995.

Cuadro 2.3  
Población urbana, porcentaje respecto al total y tasa de crecimiento en América Latina y el Caribe

Año	Población Urbana (miles)	Población urbana respecto al total (%)	Tasa media de crecimiento anual (%)
1970	162.674	57,4	3,74
1975	196.172	61,3	3,47
1980	233.342	65,1	3,11
1985	272.534	68,4	2,84
1990	314.161	71,4	2,60
1995	357.689	74,2	2,30
2000	401.361	76,6	2,04
2005	444.374	78,7	1,80
2010	486.141	80,5	

Fuente: Naciones Unidas World urbanization prospects. The 1994 revision

Cuadro 2.4  
Ciudades de América Latina que figuran entre las 100 ciudades mayores del mundo

Ciudad o A.M.	Población (millones)		Tasa de Crecimiento	No. orden mundial
	1995	2000		
1. A.M. Sao Paulo, Brasil	16,4	17,8	1,6	2
2. A.M. Ciudad de México, México	15,6	16,4	0,9	4
3. A.M. Buenos Aires, Argentina	11,0	11,4	0,7	12
4. A.M. Río de Janeiro, Brasil	9,9	10,2	0,7	16
5. A.M. Lima Perú	7,5	8,4	2,4	25
6. Bogotá, Colombia	5,6	6,3	2,4	32
7. Santiago, Chile	5,1	5,4	1,4	38
8. Belo Horizonte, Brasil	3,9	4,4	2,6	50
9. Porto Alegre, Brasil	3,3	3,8	2,3	66
10. Recife, Brasil	3,2	3,5	2,2	74
11. Guadalajara, México	3,2	3,5	1,8	76
12. Caracas, Venezuela	3,0	3,2	1,4	85
13. Salvador, Brasil	2,8	3,2	2,8	91
14. Monterrey, México	2,8	3,1	1,8	94
15. Fortaleza, Brasil	2,7	3,1	3,2	100

A.M.=Área metropolitana Fuente: Naciones Unidas Compendium of human settlements statistics. 1995.

Cuadro 2.5  
Agrupación de países de América Latina y el Caribe según proporción de población urbana (1995)

Porcentaje de población urbana	Países
Entre 90% y 100%	Guadalupe, Martinica, Islas Cayman, Uruguay, Venezuela
Entre 80% y 90%	Argentina, Bahamas, Chile
Entre 70% y 80%	Brasil, Colombia, Cuba, Guayana Francesa, México, Perú, Trinidad y Tobago
Entre 60% y 70%	República Dominicana, Antillas Neerlandesa, Nicaragua, Bolivia
Entre 50% y 60%	Jamaica, Panamá, Ecuador, Suriname, Paraguay
Entre 40% y 50%	Barbados, San Kitts y Nevis, Santa Lucía, San Vicente y Granadinas, Islas Turcas y Caicos, Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras
Entre 30% y 40%	Guyana, Antigua y Barbuda, Haití

Fuente: Naciones Unidas. World urbanizations prospects: the 1994 revision.

Tradicionalmente, los gobiernos asignan parte significativa de sus presupuestos a las áreas de infraestructura, aunque últimamente el sector privado está incursionando especialmente en el sector de energía y comunicaciones. Cerca de 60% de las inversiones de infraestructura en América Latina y el Caribe han sido financiadas con préstamos externos en los sectores de energía, transporte y telecomunicaciones, y en menor medida, en agua potable y alcantarillado. En cuanto a la gestión de residuos sólidos municipales y peligrosos las inversiones externas han sido muy bajas, por no decir insignificantes hasta ahora.

En el quinquenio 1990-1995 hubo una moderada expansión de la mayoría de las economías de América Latina y el Caribe, disminución de la inflación y una apreciable afluencia de capitales externos. Para lograrlo fue necesario implantar ajustes radicales, tales como la apertura al comercio global, la restricción del gasto público, una política fiscal de austeridad, programas para otorgar concesiones y programas de privatización. Esta última medida, que incluye a los servicios públicos, acentuó la participación del sector privado en los servicios de limpieza urbana, proceso que se inició en la década de los ochentas (cuadro 2.6)

Cuadro 2.6

## Evolución del PIB por habitante en América Latina y el Caribe

Año	PIB/hab (US dólares de 1980)
1970	1,605
1980	2.162
1982	2.052
1985	1.996
1988	2.037
1989	2.015
1990	1.984
1991	2.017
1992	2.040
1993	2.068
1994	2.125

Fuente CEPAL. Anuario estadístico de América Latina y el Caribe, 1995

La mortalidad infantil está relacionada con la pobreza, la ignorancia y la falta de saneamiento ambiental, así podemos relacionar los cuadros 2.7 y 2.8

Cuadro 2.7

Situación de pobreza e indigencia urbanas en grupos de países, 1992  
% hogares respecto al total)

Porcentaje de hogares urbanos en situación de pobreza	Países
Menos de 10	Argentina, Uruguay
10 al 20	
20 al 30	Chile, Costa Rica
30 al 40	Brasil, Colombia, México, Panamá, Paraguay, Venezuela
40 al 50	Bolivia, Guatemala, Perú
50 al 60	-
Más del 60	Honduras, Haití
Porcentaje de hogares urbanos en situación de indigencia	Países
Menos de 5	Argentina, Uruguay
Entre 5 y 10	Chile, Costa Rica, México
Entre 10 y 15	Colombia, Panamá, Paraguay, Venezuela
Entre 15 y 20	Bolivia, Brasil, Perú
Más del 20	Guatemala, Honduras, Haití

Fuente CEPAL. Anuario estadístico de América Latina y el Caribe, 1995

Cuadro 2.8

## Tasa de mortalidad infantil durante 1990-1995 por grupos de países

Tasa de mortalidad infantil (*)	Países
Menos de 10,0	Barbados
Entre 10,0 y 20,0	Antillas Neerlandesas, Chile, Costa Rica, Cuba, Guadalupe, Jamaica, Trinidad y Tobago
Entre 20,0 y 30,0	Argentina, Bahamas, Suriname, Uruguay, Venezuela, Panamá
Entre 30,0 y 40,0	Belice, Colombia, México, Paraguay
Entre 40,0 y 50,0	Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, República Dominicana
Entre 50,0 y 60,0	Brasil, Nicaragua
Entre 60,0 y 70,0	Perú
Más de 70,0	Bolivia, Haití

(\*)Defunciones de niños menores de 1 año por cada mil niños nacidos vivos.

Fuente: CEPAL. Anuario estadístico de América Latina y el Caribe, 1995

## 2.4 NORMATIVIDAD AMBIENTAL NACIONAL

La normatividad establece jerarquías de la normas en todas las instancias de gobierno, como son el Federal, Estatal y Municipal. La Carta Magna que nos rige como Federación, es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, de la cual derivan las Leyes, Reglamentos y Normas Federales.

Cada Estado es libre y soberano y cada uno de los treinta y dos que forman la Federación, tiene su propia **Constitución Estatal**, de la cual emanan las Leyes Estatales y demás normas que los rigen.

El Municipio tiene libertad, según nuestra Constitución Política para gobernarse, para ello cuentan con su **Bando de Policía y Buen Gobierno**, con base en él expide sus propios Reglamentos Municipales

JERARQUÍA  
DE LA  
NORMATIVIDAD  
FEDERAL

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS (ART 115)		
LEYES	FEDERALES	- NORMALIZACIÓN Y METROLOGÍA
	GENERALES	- EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN DEL AMBIENTE - SALUD
REGLAMENTOS		
NORMAS - OFICIALES MEXICANAS (NOM) - MEXICANAS (NMX)		

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el artículo 115 establece:

Fracción III. Los Municipios, con el concurso de los Estados, cuando así fuere necesario y lo determinen las Leyes, tendrán a su cargo los siguientes servicios públicos:

- a) Agua potable y alcantarillado
- b) Alumbrado público
- c) Limpia
- d) Mercados y abasto
- e) Panteones
- f) Rastro
- g) Calles, parques y jardines
- h) Seguridad pública y tránsito
- i) Los demás que las legislaturas locales determinan según las condiciones territoriales y socio – económicas de los municipios, así como su capacidad administrativa y financiera

Para el Distrito Federal donde no existen municipios, la Jefatura de Gobierno es la autoridad ejecutiva, siendo la asamblea legislativa, quien reglamenta este servicio; en el capítulo 12 "Anexos". Se incluye el Reglamento de Limpia para el D.F.

Actualmente las metrópolis y la mayoría de los municipios de tamaño medio, cuentan con dichos Reglamentos para establecer los compromisos de quien presta y recibe el servicio. Generalmente los capítulos están relacionados con disposiciones generales, obligaciones de usuarios y prestadores del servicio, sanciones, infracciones, recursos

de inconformidad, organización y funciones del Sistema de Aseo Urbano (SAU); los aspectos operativos, se cumplen en un porcentaje elevado, sin embargo, aspectos relacionados con atención a usuarios, pago del servicio, inspección y vigilancia, estímulos fiscales, generación de residuos sólidos y artículos relacionados con la prevención de la contaminación presentan vacíos importantes.

El marco legal bajo el cual se sustenta el manejo integral de los RSM incluye Leyes, Reglamentos y Normas de las tres instancias de gobierno (Federal, Estatal y Municipal) e involucra a un número considerable de instituciones las cuales buscan el bien común mediante la disminución o eliminación de los efectos nocivos que puede causar el manejo inadecuado de los RSM, en el cuadro 2.9 y en la figura 2.2 se presenta el marco actual de la legislación en el ámbito de los residuos sólidos municipales. En lo que se refiere al cumplimiento de la normatividad, las figuras 2.3, 2.4 y 2.5 describen esquemáticamente a quien compete vigilar dicho cumplimiento.

Cuadro 2,9

Marco legal para el manejo de los residuos sólidos (instancia Federal)

Ordenamiento	Descripción
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Indica los servicios públicos municipales que deben ser prestados por los ayuntamientos, entre ellos el servicio de limpia (Artículo 115)
Ley General de Salud	Establece las disposiciones relacionadas al servicio público de limpia en donde se promueve y apoya el saneamiento básico, se establecen normas y medidas tendientes a la protección de la salud humana para mejorar su calidad de vida.
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)	Plantea que los sistemas de manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos quedan sujetos a autorización y legislación estatal o en su caso, municipal; y la disposición final de los residuos sólidos no peligrosos, mediante rellenos sanitarios
Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX)	Establecen la forma y procedimientos aplicables al manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos.

Cuadro 2,9 (continuación)

## Marco legal para el manejo de los residuos sólidos (instancia Estatal)

Ordenamiento	Descripción
Constitución Política Estatal	Dentro de los Artículos referentes a los municipios se hace referencia a las facultades que tienen los ayuntamientos para prestar el servicio público de limpia.
Ley Estatal de Protección al Ambiente	Establece disposiciones de observancia obligatoria en cada estado, teniendo como objetivo la prevención, preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como los fundamentos para el manejo y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos

Cuadro 2,9 (continuación)

## Marco legal para el manejo de los residuos sólidos (instancia Municipal)

Ordenamiento	Descripción
Ley Orgánica del Municipio Libre	Establecen las atribuciones de los ayuntamientos para nombrar las comisiones que atiendan los servicios públicos
Bando de Policía y Buen Gobierno	Plantean el conjunto de normas y disposiciones que regulan el funcionamiento de la administración pública municipal
Reglamento de Limpia	Regula específicamente los aspectos administrativos, técnicos, jurídicos y ambientales para la prestación del servicio de limpia pública

Fuente: Jiménez Peña A., Marco legal aplicable a los residuos sólidos y la restauración de suelos contaminados en México. Trabajo presentado en el Seminario internacional sobre residuos sólidos y restauración de suelos contaminados. INE-JICA. 1999.

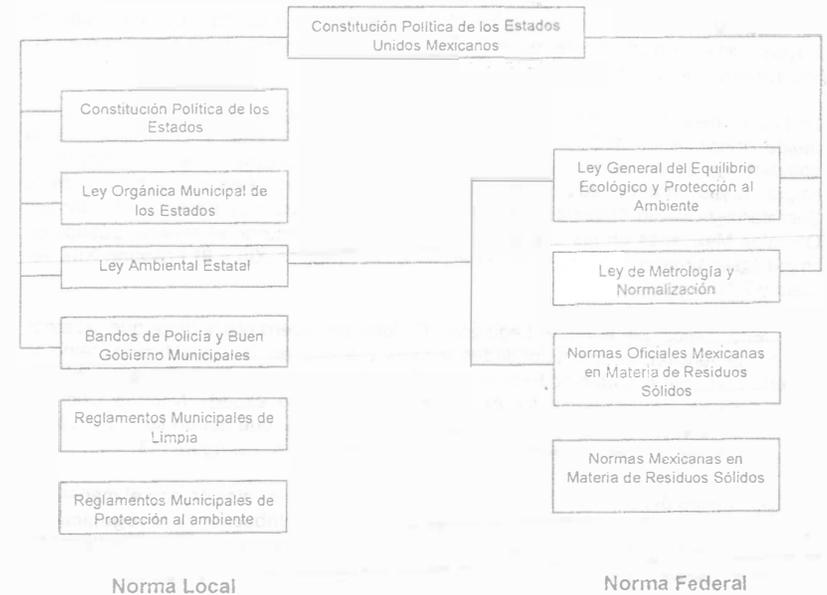


Figura 2.2 Régimen jurídico de la prestación de servicios de limpia y protección del ambiente

Los Estados, a través de sus legislaturas, tienen encomendado legislar en dicha materia y cuentan con autoridades administrativas, dependientes de la administración pública estatal, para intervenir como coadyuvantes de la autoridad municipal competente, en particular en materias relacionadas con el desarrollo urbano.

Los Municipios, a través del Ayuntamiento, emiten reglamentos sobre la materia, en tanto que los regidores fungen como supervisores de las actividades; contando además con instituciones administrativas que se encargan directamente de la prestación del servicio público consistente en: barrido de calles, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

Es importante hacer notar, que la prestación del servicio público no está regulada por ninguna disposición jurídica del orden federal, salvo por el Artículo 115 fracción III, Inciso c), de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, para el sólo

efecto de declarar competentes a los Municipios en esta materia. Dado lo cual, las disposiciones jurídicas a este respecto son las que se expiden en los Estados o en los Municipios, o en ambos.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), vigente desde principios de 1988 y reformada en diciembre de 1996, si bien reconoce la competencia de los Estados y Municipios para regular y prestar el servicio público de limpia, (aseo urbano), adicionalmente faculta al Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), para expedir Normas Oficiales Mexicanas en las diferentes materias que estructuran el servicio público de limpia (aseo urbano), (Artículos 5º. Fracción V, 7º Fracción XIII y 8º Fracción XII), ver cuadro 2.10.

Lo anterior indica que el Poder Legislativo Federal consideró procedente que, además de la intervención de las autoridades locales prevista en la Constitución, también debería participar el Gobierno Federal cuando se trata de proteger al ambiente, por ser materia de su jurisdicción, a través de la posibilidad de expedir Normas Oficiales Mexicanas relativas al manejo integral de residuos sólidos, que deben ser observadas en forma adicional a las que expidan las autoridades locales, ver figura 2.3.

A la vez, dentro del contexto de la protección al ambiente en relación con el manejo de los residuos, también se concedió al Gobierno Federal la atribución de **la regulación y el control de la generación, manejo y disposición final de residuos peligrosos para el ambiente y los ecosistemas** (Artículo 5º Fracción VI).

En la figura 2.4 se describe el esquema general orgánico de la administración de los residuos sólidos y en el cuadro 2.10, se resumen las atribuciones en materia de residuos sólidos municipales de las diferentes instancias de gobierno.

El gobierno federal, también a través de la **Secretaría de Desarrollo Social** realiza acciones para apoyar el fortalecimiento de los servicios municipales en materia de manejo integral de los residuos, particularmente en lo que se refiere a la recolección, transferencia, tratamiento y disposición final, a fin de reducir sus efectos ambientales y minimizar los riesgos para la salud pública.

**Cuadro 2.10 Autoridades competentes en materia de residuos sólidos municipales**

Autoridad Competente	Atribuciones	Fundamento Legal
<b>Federación</b>		
Semarnat	La expedición de las normas oficiales mexicanas y la vigilancia de su cumplimiento en las materias previstas en esta ley	Artículo 5º Fracción V de la LGEEPA
Semarnat	La regulación y el control de la generación, manejo y disposición final de residuos peligrosos para el ambiente y los ecosistemas	Artículo 5º Fracción V de la LGEEPA
Semarnat	La vigilancia, en el ámbito de su competencia, del cumplimiento de esta Ley y los demás ordenamientos que de ella se deriven (normas oficiales mexicanas)	Artículo 5º Fracción V de la LGEEPA
Semarnat	Suscribir convenios con el objeto de que los Estados asuman el control de los residuos peligrosos considerados de baja peligrosidad, así como la realización de acciones para la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones de esta Ley	Artículo 11 Fracciones II y VII de la LGEEPA
Semarnat	Expedir autorizaciones en materia de impacto ambiental para las instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como de residuos radiactivos	Artículo 28 Fracción IV de la LGEEPA
Semarnat	Integrar un inventario de residuos peligrosos de su competencia	Artículo 190 BIS de la LGEEPA
Semarnat	Expedir las normas oficiales mexicanas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales	Artículo 137 Párrafo Segundo de la LGEEPA

Estados		
Poder Legislativo Poder Ejecutivo	La regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos	Artículo 7º Fracción VI de la LGEEPA
Autoridad Administrativa	La vigilancia del cumplimiento de las normas oficiales mexicanas expedidas por la federación, en las materias y supuestos a que se refiere la fracción VI de este artículo (antes mencionada)	Artículo 7º Fracción VI de la LGEEPA
Poder Ejecutivo Autoridad Administrativa	Asumir mediante convenio con la Semarnat el control de los residuos peligrosos considerados de baja peligrosidad, así como la realización de acciones para la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones de esta Ley	Artículo 11 Fracciones II y VII de la LGEEPA
Poder Ejecutivo Autoridad Administrativa	Suscribir convenios, previo acuerdo con la federación, con el objeto de que los Municipios asuman el control de los residuos sólidos considerados de baja peligrosidad, así como la realización de acciones para la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones de esta Ley	Artículo 11 Fracciones II y VII de la LGEEP

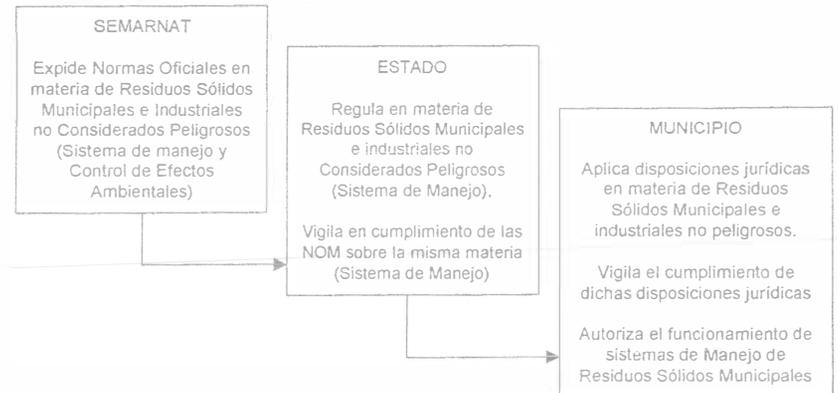
Municipios		
Autoridad Administrativa	La aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos.	Artículo 8º Fracción IV de la LGEEPA
Autoridad Administrativa	La preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en los centros de población, en relación con los efectos derivados del servicio de limpieza, siempre y cuando no se trate de facultades otorgadas a la Federación o a los Estados en la presente ley	Artículo 8º Fracción IV de la LGEEPA
Autoridad Administrativa	La vigilancia del cumplimiento de las normas oficiales mexicanas expedidas por la federación, en las materias y supuestos a que se refiere la fracción IV de este artículo	Artículo 8º Fracción XII de la LGEEPA
Ayuntamiento Autoridad Administrativa	Asumir mediante convenio con el Estado, y previo acuerdo entre éste y la Federación, el control de los residuos sólidos considerados de baja peligrosidad, así como la realización de acciones para la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones de esta Ley	Artículo 11 Fracciones II y VII de la LGEEPA
Autoridad Administrativa	Autorizar, conforme a las leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales	Artículo 137 Párrafo Primero de la LGEEPa

Fuente: Jiménez Peña A., Marco legal aplicable a los residuos sólidos y la restauración de suelos contaminados en México. Trabajo presentado en II Seminario internacional sobre residuos sólidos y restauración de suelos contaminados. INE-jica.1999.



Fuente: Jiménez Peña A., Marco legal aplicable a los residuos sólidos y la restauración de suelos contaminados en México. Trabajo presentado en II Seminario internacional sobre residuos sólidos y restauración de suelos contaminados. INE-jica.1999

**Figura 2.3 Atribuciones en materia de manejo y disposición final de residuos sólidos, según instancias de gobierno**



**Figura 2.4 Administración de los residuos sólidos según instancias de gobierno**

**Normas Aplicables al Manejo de Residuos Sólidos**

Las normas oficiales mexicanas (NOM) en materia de residuos sólidos previstas en la LGEEPA, y enlistadas en el cuadro 2.11; la mayoría de ellas se encuentran en proceso de elaboración, existen actualmente elaboradas como Normas Mexicanas (NMX), lo que se puede apreciar en el cuadro 2.12; cuando se cumpla el proceso establecido por la Ley de Metrología y Normalización podrán ser emitidos y promulgados como Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Ya se cuenta con dos de ellas para ser aplicadas por los SAU en el manejo de sus residuos sólidos, las que se incluyen en el capítulo 12 "Anexos" y cuyos nombres son:

1. **NOM-083-ECOL-1996**, que establece las condiciones que deben reunir los Sitios Destinados a la Disposición Final de los Residuos Sólidos Municipales
2. **NOM-084-ECOL-1994**, que establece los requisitos para el Diseño de Relleno Sanitario y la Construcción de Obras Complementarias

**Cuadro 2.11**  
**Normas Oficiales Mexicanas relativas a residuos sólidos, previstas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente que deben elaborarse**

NOM en Materia de Residuos Sólidos Municipales	LGEEPA
Funcionamiento de Sistemas de Recolección de Residuos Sólidos Municipales;	137 Párrafo Primero
Funcionamiento de Sistemas de Almacenamiento Residuos Sólidos Municipales;	137 Párrafo Primero
Funcionamiento de Sistemas de Transporte de Residuos Sólidos Municipales;	137 Párrafo Primero
Funcionamiento de Sistemas de Alojamiento de Residuos Sólidos Municipales;	137 Párrafo Primero
Funcionamiento de Sistemas de Reuso de Residuos Sólidos Municipales;	137 Párrafo Primero
Funcionamiento de Sistemas de Tratamiento de Residuos Sólidos Municipales;	137 Párrafo Primero
Funcionamiento de Sistemas de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales;	137 Párrafo Primero
Prevención y Control de los Efectos Sobre el Ambiente Ocasionados por la Generación de Residuos Sólidos e industriales que no estén Considerados como Peligrosos;	8º Fracción IV
Prevención y Control de los Efectos Sobre el Ambiente Ocasionados por el Transporte de Residuos Sólidos e industriales que no estén Considerados como Peligrosos;	8º Fracción IV
Prevención y Control de los Efectos Sobre el Ambiente Ocasionados por el Almacenamiento de Residuos Sólidos e industriales que no estén Considerados como Peligrosos;	8º Fracción IV
Prevención y Control de los Efectos Sobre el Ambiente Ocasionados por el Manejo de Residuos Sólidos e industriales que no estén Considerados como Peligrosos;	8º Fracción IV
Prevención y Control de los Efectos Sobre el Ambiente Ocasionados por el Tratamiento de Residuos Sólidos e industriales que no estén Considerados como Peligrosos;	8º Fracción IV
Prevención y Control de los Efectos Sobre el Ambiente Ocasionados por la Disposición Final de Residuos Sólidos e industriales que no estén Considerados como Peligrosos;	8º Fracción IV
Sitios para la Disposición final de residuos Sólidos Municipales	137 Párrafo Segundo
Diseño de Instalaciones Destinadas para la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales	137 Párrafo Segundo
Construcción de Instalaciones Destinadas para la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales	137 Párrafo Segundo
Operación de Instalaciones Destinadas para la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales	137 Párrafo Segundo

Fuente: Jiménez Peña A., Marco legal aplicable a los residuos sólidos y la restauración de suelos contaminados en México. Trabajo presentado en II Seminario internacional sobre residuos sólidos y restauración de suelos contaminados. INE-JICA, 1999

Cuadro 2.12 Normas mexicanas aplicables a los residuos sólidos

NMX-AA	Aspecto que cubren
16-1984*	Determinación de humedad
18-1984	Determinación de cenizas
24-1984	Determinación de nitrógeno total
25-1984	Determinación de pH, método potenciométrico
92-1984	Determinación de azufre
15-1985*	Cuarteo
19-1985*	Peso volumétrico in situ
21-1985*	Determinación de materia orgánica
22-1985*	Selección y cuantificación de subproductos
33-1985*	Determinación de poder calorífico
52-1985	Preparación de muestras en laboratorio para su análisis
61-1985*	Generación per cápita de residuos sólidos municipales
67-1985	Determinación de la relación carbono/nitrógeno
68-1986	Determinación de hidrógeno
90-1086	Determinación de oxígeno

\* Se incluyen en el Capítulo 12, Anexos

# INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

## CAPÍTULO 3 GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

- 3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES GENERADORAS
- 3.2 CAMBIO EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
- 3.3 METODOLOGÍA PARA ESTUDIOS DE GENERACIÓN
- 3.4 CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
- 3.5 COMPARACIÓN DE GENERACIÓN EN DIVERSAS ZONAS
- 3.6 CONTENIDO DE ENERGÍA
- 3.7 EJEMPLO: DETERMINACIÓN DE GENERACIÓN EN ZIHUATANEJO GRO.

### GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El incremento acelerado de la generación de residuos sólidos y la gran cantidad de materiales que contienen estos, demanda una amplia cobertura del Sistema de Aseo Urbano (SAU) así como nuevas alternativas de tratamiento, nuevos equipos y tecnología para establecer mejores sistemas de manejo, control y aprovechamiento que permita resguardar la salud y el nivel de vida de la población así como la calidad del ambiente. Para lograr lo anterior es necesario conocer las características cuantitativas y cualitativas de los residuos.

Con objeto de determinar las necesidades de recolección, transporte y disposición final, es necesario obtener las cantidades y las características de los residuos sólidos, domiciliarios, para ello se deben realizar una serie de estudios de generación de acuerdo a la metodología establecida en las Normas Mexicanas (NMX) y en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las que se pueden consultar en el Capítulo 12 Anexos. En México estos residuos domiciliarios representan entre el 30% y 60% del total que se genera en promedio por habitante y por día.

#### 3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES GENERADORAS

Lo heterogéneo y la gran diversidad de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) hace difícil establecer criterios claros para su clasificación y por consecuencia para su manejo, por ello su clasificación se hace en función de las actividades particulares que se tienen en cada una de las fuentes generadoras, lo que da origen a residuos sólidos que presentan cierta semejanza entre ellos en cuanto a sus características intrínsecas, esto nos permite contar con indicadores que orienten las diversas alternativas para su manejo, control y en su caso el aprovechamiento.

En la figura 3.1 se presenta en forma general la clasificación para las diversas fuentes de generación de los residuos sólidos municipales y en la tabla 3.1 se presenta una clasificación de los residuos sólidos por su origen y sus propiedades físicas considerando el tipo de fuente generadora. Se desglosan los residuos más comunes de acuerdo con sus propiedades físicas que permiten identificar las facilidades y los problemas que se pudieran presentar para su manejo y confinamiento.

Tabla 3.1 Clasificación de los residuos sólidos municipales

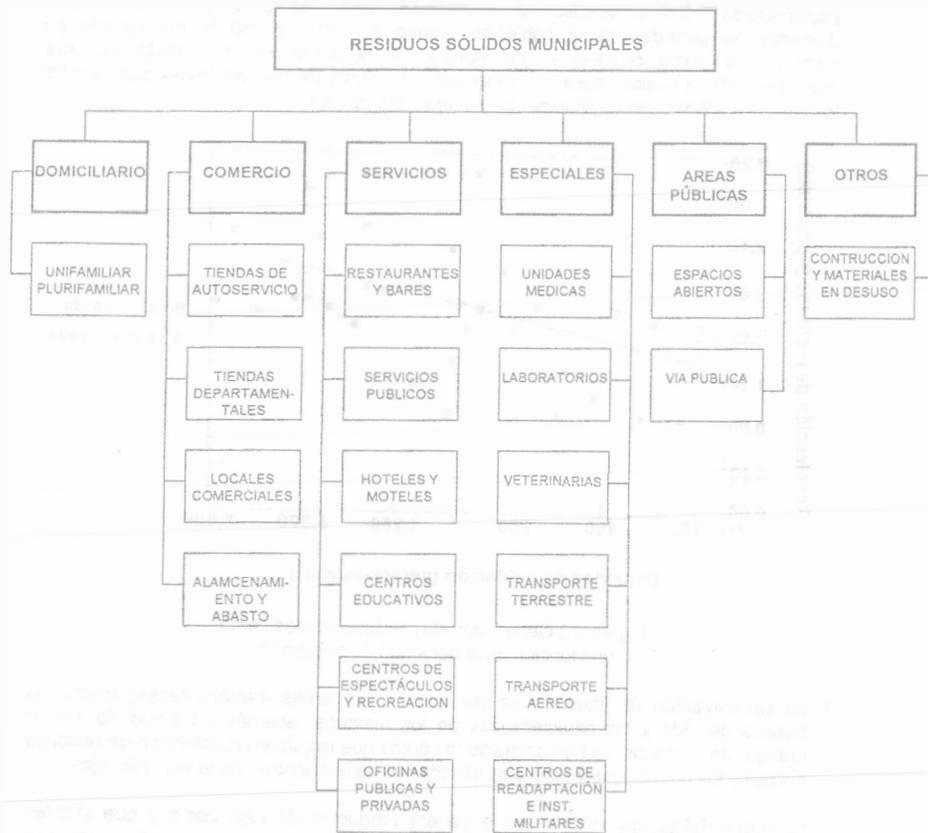


Figura 3.1 Clasificación de las fuentes generadoras de residuos sólidos

FUENTE	ORIGEN ESPECÍFICO	CLASIFICACIÓN POR PROPIEDADES FÍSICAS
Domiciliarios	Casas habitación	<b>Materiales inertes</b> Vidrios Plástico Metales Lozas y Cerámicas Tierras Cenizas
Institucionales	Escuelas, Institutos y Universidades Museos Iglesias Oficinas de gobierno Bancos Reclusorios	
Aéreas y vías públicas	Calles y avenidas Carreteras federales o estatales Parques y jardines Zoológicos Playas Áreas arqueológicas Parques nacionales	<b>Materiales fermentables</b> Residuos alimenticios Residuos de jardinería Hueso Flores (desechos)
Comercial y de servicios	Bañearios Circos Cines Teatros Estadios Hipódromos y galgódromos Parques deportivos Autódromos Velódromos Plazas de toros Frontón Mercados, tianguis y centros de abasto Hoteles y moteles Oficinas Rastros Panteones Restaurantes Tiendas Terminales: marítimas terrestres, aéreas	<b>Materiales combustibles</b> Algodón Papel Cartón Tetrapack y tetrabrick Textiles naturales Textiles sintéticos Pañales desechables Madera Cuero Hule
Construcción y demolición	Obras públicas y privadas	<b>Otros</b> Cascajo

Fuente: -Norma Oficial Mexicana NOM-AA.22.1985

- Seoáñez C. M., Contaminación del suelo. Estudios, Tratamiento y gestión. Ediciones Mundiprensa, 1999

- Modificado de: OPS/GDF/EDO MEX. Análisis sectorial de residuos sólidos en la Zona Metropolitana del Valle de México. México, 1997

La aplicación de la normatividad mexicana nos permite conocer en forma específica las características cualitativas y cuantitativas que identifican a los residuos según fuente generadora, las normas que se utilizan son las siguientes:

NMX-AA-61-1985. Determinación de la generación

NMX-AA-15-1985. Método de cuarteo

NMX-AA-22-1985. Determinación de la composición física

NMX-AA-19-1985. Determinación del peso volumétrico in-situ

### 3.2 CAMBIOS EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.

La generación per cápita de basura en una comunidad no es constante, varía a través del año y de las estaciones del mismo, en algunos periodos se puede tener hasta un 130% del promedio anual, mientras que en otros se puede disminuir al 80%. Las familias de alto poder adquisitivo producen menos de residuos biodegradables, produciendo más papel, plástico y latas por persona. Según estudios realizados existe una correlación entre la producción de residuos sólidos y los ocupantes de residencias unifamiliares con aquellos que viven en casas de departamentos como se muestra en la figura 3.2

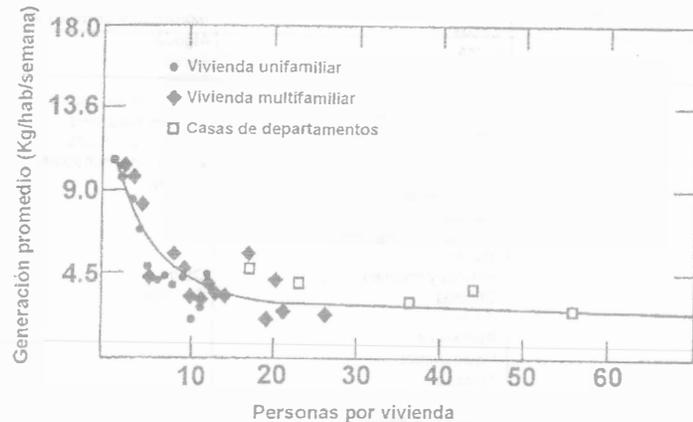


Figura 3.2 Generación de sólidos en función del número de habitantes por vivienda en áreas de bajo ingreso.

No existe la certeza de que la densidad de población tiene efecto en la generación de los residuos sólidos, aunque algunos estudios han encontrado que altas densidades de población (habitantes por kilómetro cuadrado) se pueden relacionar con una alta generación de residuos sólidos, como se muestra en la figura 3.3

A nivel internacional, hasta fines de la década de 1940, los pocos materiales usados, que eran recuperables, como metales y trapos, se recolectaban de manera informal por los pepenadores. Con el desplazamiento de la población de los años cincuenta a las ciudades, la densidad de la población urbana aumentó, creció la popularidad por combustibles como petróleo y gas natural, la sociedad se hizo cada vez más industrializada. Las dos causas radicales del crecimiento de los problemas que plantean los residuos sólidos son la urbanización y la industrialización:

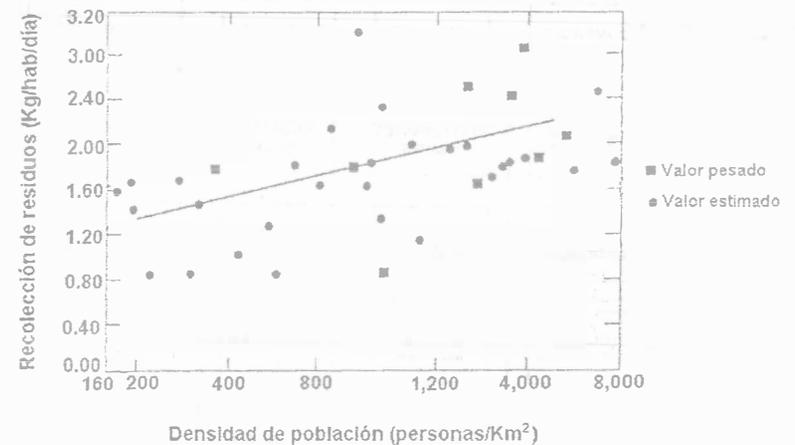


Figura 3.3 Generación de residuos sólidos como una función de la densidad de población.

1. La **urbanización** (la afluencia de personas a las áreas metropolitanas) afecta los hábitos de vida y las características de los residuos, además en virtud del mayor número de personas, se han ampliado las áreas que requieren recolección de residuos sólidos y los predios destinados a su eliminación se encuentran cada vez más lejos.
2. La **industrialización**, debido a que genera productos de bajo costo y que ahorran trabajo, ha creado una sociedad "desechable", durante y después de los años sesenta y setenta apareció una profusión de productos nuevos, en el caso de latas, botellas, recipientes de plástico, aparatos, neumáticos y otros artículos, que se considera es más económico tirarlos que reciclarlos; la recuperación de materiales se ha hecho más difícil en virtud del uso de numerosos materiales sintéticos, plásticos ligados y aleaciones no ferrosas, los empaques de alimentos de preparación rápida, ferretería, artículos para el hogar y otras mercancías ha creado un enorme conjunto de materiales fáciles de

desechar. Los residuos sólidos han aumentado de manera significativa en cuanto a cantidad y complejidad con el advenimiento de la sociedad " consumista" y "desechable", aunado al crecimiento de la industria de alimentos empacados y procesados.

El crecimiento de la industria procesadora de alimentos no parece haber modificado la cantidad de residuos de alimentos que generan los residentes urbanos, pero el aumento en los empaques asociado con los alimentos de preparación rápida es sin duda una parte de la razón de la creciente generación de residuos per cápita.

Debido a que los residuos sólidos absorben humedad, en las áreas húmedas la cantidad en peso que se recolecta puede ser mayor que la que se genera, la cual usualmente se informa en base seca. Por otra parte en Estados Unidos y otros países la cantidad recolectada puede ser inferior a la generada debido al uso de molinos domésticos, almacenamiento local de materiales reciclables y otras medidas de conservación.

Además de las variaciones en cuanto a la cantidad, existen también grandes diferencias de composición. Algunos factores que influyen en la composición de los residuos sólidos municipales son:

- *El clima.* En áreas húmedas como Sao Paulo, Brasil, el contenido de humedad de los residuos sólidos es comúnmente de 50%.
- *La frecuencia de recolección.* La mayor frecuencia de recolección tiende a aumentar la cantidad anual, puesto que la cantidad de materiales orgánicos es relativamente constante, quizá con más recolecciones, los residentes tienden a desechar más papel y escombros.
- *El uso común de molinos domésticos en el fregadero.* Los molinos reducen, pero no eliminan, los residuos de alimentos.
- *Las costumbres sociales.* Ciertas áreas étnicas consumen pocos alimentos de preparación rápida, por lo cual se producen menos residuos de papel y más de alimentos crudos.
- *El ingreso per cápita.* Las áreas de bajos ingresos producen menos residuos totales, aunque con un contenido mayor de materia orgánica.
- *La aceptabilidad de alimentos empacados y de preparación rápida.* En Estados Unidos y Canadá el uso generalizado de los empaques ha aumentado el contenido de papel y plástico de los residuos sólidos.
- *El grado de urbanización e industrialización del área.* En virtud de la alimentación de animales, de la conversión en abono, el reciclaje y la recuperación que son posibles en áreas rurales y en áreas de viviendas unifamiliares, en este tipo de fuentes los residuos sólidos pueden ser inferiores en cuanto a cantidad y tener distintos componentes que los de áreas metropolitanas industrializadas con viviendas multifamiliares.

La figura 3.4 indica los cambios que han experimentado los residuos sólidos en los Estados Unidos de Norte America a lo largo de los años. Otros países pueden mostrar

tendencias, proporciones y cualidades muy diferentes, y por ello los estudios de los problemas de manejo de residuos sólidos deben tener como base escrutinios específicos de cada país y cada localidad.

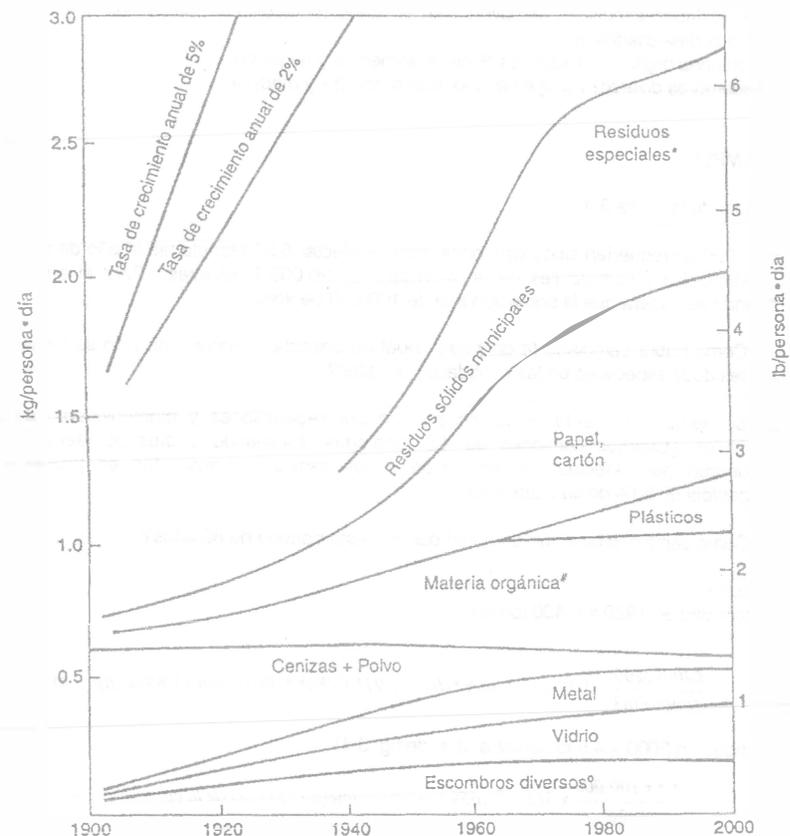


Figura 3.4 Cambios en la generación de residuos sólidos en EUA desde 1900

Fuente: D.G. Wilson, E., Handbook of Solid Waste Management (Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1977);

Nota: Los estimados para Estados Unidos han sido adaptados de información disponible para Edimburgo (1900), Londres (1925), Nueva York (1940) y Estados Unidos (1960, 1970, 1908, 1990, 2000).

\*Los residuos especiales incluyen cascajo de construcción, limpieza de calles, objetos grandes desechados, etc.

‡La materia orgánica incluye residuos de alimentos y de jardín.

° Escombros diversos incluye caucho, cuero, textiles y madera.

## EJEMPLO

Utilizando la figura 3.4

En 1920 se requerían cinco camiones para recolectar 5,800 toneladas al año de residuos residenciales y comerciales de un municipio de 20,000 habitantes. Para el año 2000, cuando se espera que la población sea de 100,000 personas:

a) ¿Cómo habrá cambiado la cantidad anual de desechos recolectada sino se incluyeran los residuos especiales en las cantidades anuales?

b) Sin tomar en cuenta el tiempo perdido por reparaciones y mantenimiento de los vehículos ¿Cuántos camiones de 4.5 toneladas, trabajando 5 días por semana, se requerirán para efectuar la recolección si los camiones transportan en promedio 2 cargas/día al 80% de su capacidad?

c) ¿Cómo cambió la cantidad de papel durante este periodo de 80 años?

Solución

a) cantidad en 1920 = 6 400 ton/año

$$\frac{6400 \times 2200}{20000 \times 365} = 0.8767 \text{ ton/hab} \cdot \text{día} = 1.918 \text{ lb/hab} \cdot \text{día} \text{ (Contra 1.85 de fig. 3.4)}$$

cantidad en 2000 = 4.5 lb/persona. día (de fig. 3.4)

$$\frac{4.5 \times 100,000}{2200} \times 365 = 74,659 \text{ ton/año (aumento 13 veces de la cant. de 1920)}$$

b) Capacidad anual de un camión

$$\frac{4.5 \text{ ton}}{\text{carga}} \times \frac{2 \text{ cargas}}{\text{día}} \times \frac{5 \text{ días}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ semanas}}{\text{año}} \times 80\% = 1,872 \text{ ton/año}$$

$$\text{camiones necesarios} = \frac{74659}{1,872} = 39.9 = 40 \text{ (ocho veces los de 1920).}$$

c) En 1920, papel 14% = 0.14 x 5,800 = 812 ton

$$\text{En 2000 } (4.5 - 2.8) \times 100/4.5 = 37.5\% = 38\%$$

$$\text{En 2000 papel } 38\% = 0.38 \times 74,659 = 28,370 \text{ ton (aumentó 35 veces)}$$

## 3.3 METODOLOGÍA PARA ESTUDIOS DE GENERACIÓN

En cualquier ciudad, sea grande o pequeña es esencial conocer la cantidad de basura a recoger, reciclar y disponer, así como sus características tales como: **densidad, composición, peso volumétrico, humedad y poder calorífico** con objeto de diseñar en forma adecuada y técnica los sistemas de recolección, transporte y disposición final de la misma. En los ANEXOS se presenta además de las normas una "metodología resumida" para el análisis de residuos sólidos.

Con el apoyo en las Normas mencionadas en el inciso 3.1, el primer paso para el desarrollo de un estudio de este tipo, es la planeación de las actividades de campo estableciendo el tamaño de la muestra, la que estará en función del nivel de confianza que se desea obtener, posteriormente se identifican las áreas que se muestrearán y paralelamente a esta actividad se integran las cuadrillas de personal que se empleará durante el periodo de estudio donde se recolectarán las muestras diariamente y serán trasladadas para su estudio consistente en: cuarteo, pesaje, determinación del peso volumétrico y su composición física.

Una vez determinadas las actividades de campo, los resultados recabados deben procesarse estadísticamente para obtener los indicadores cualitativos y cuantitativos. Al final de este capítulo se presenta un ejemplo de aplicación de la NMX-AA-61-1985, "Determinación de la generación".

## 3.4 CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Para hacer la cuantificación es necesario investigar los siguientes aspectos:

- Volúmenes de generación de residuos sólidos en la localidad estudiada
- Peso volumétrico promedio de los residuos sólidos generados en la localidad.

La generación unitaria por fuente generadora que se obtiene de la investigación mencionada, permite obtener cifras y parámetros indicativos tanto en cantidad de residuos generados, como en la característica de los mismos.

A partir de los indicadores unitarios obtenidos se realiza la estimación de la generación global de la zona de estudio, la cual deberá considerar las diversas fuentes generadoras que se ubiquen en esta área, así como la producida por los habitantes, con lo que se obtendrá la generación global debiendo ser por barrios, colonias o subsectores definidos de acuerdo a cuadrantes y así podremos determinar, en primer lugar, el número de vehículos que harán la recolección en ellos.

En la tabla 3.2 se muestran los indicadores de generación unitaria por tipo de establecimiento y en la tabla 3.3 se muestran los pesos volumétricos según fuentes generadoras, todo ello obtenido para la Ciudad de México.

En caso de no ser posible realizar estudios de generación domiciliaria, se pueden hacer estimaciones pesando los vehículos recolectores con y sin basura durante un periodo aproximado de una semana.

Las cifras manejadas respecto a la generación domiciliaria diaria, representa cantidades promedio que ocurren prácticamente todo el año, pero además existen periodos en los que dichas cifras observan ciertas variaciones, siendo estos principalmente: fiestas nacionales, locales, y de fin de año.

Puede estimarse la generación domiciliaria que se tendrá para los años subsecuentes de acuerdo con las expectativas del crecimiento poblacional.

En las fuentes generadoras domiciliarias se tiene un promedio entre 0.699 y 0.772 Kg/hab/día y el promedio de residuos sólidos municipales en el país esta cerca de 1 Kg/hab/día, la diferencia en peso es la recolección de los otros residuos, además de los domiciliarios, que los integran, como se ve en la figura 3.4.

La determinación de indicadores volumétricos, es de suma importancia para la definición y diseño de áreas de almacenamiento y del volumen de los recipientes según las diversas fuentes generadoras, además para coadyuvar en el correcto manejo de los residuos sólidos, ya que al contar con un almacenamiento adecuado evita el mal aspecto, los malos olores y la proliferación de fauna nociva, que puede ocasionar problemas de salud.

Tabla 3.2 Generación unitaria de RSM, según tipo de fuente\*

FUENTES GENERADORAS	SUBCLASIFICACION	GENERACIÓN UNITARIA DE RESIDUOS SOLIDOS
DOMICILIARIO	· UNIFAMILIAR · PLURIFAMILIAR	0.699 Kg/Hab/Día 0.772 Kg/Hab/Día
COMERCIOS	· TIENDAS DE AUTOSERVICIO · TIENDAS DEPARTAMENTALES - CON RESTAURANTE - SIN RESTAURANTE · LOCALES COMERCIALES (DIVERSOS) · MERCADOS - COMUNES - ESPECIALIZADOS	2.527 Kg/Empleado/Día 1.468 Kg/Empleado/Día 0.766 Kg/Empleado/Día 2.875 Kg/Empleado/Día 2.143 Kg/Local/Día 3.350 Kg/Local/Día
SERVICIOS	· RESTAURANTES Y BARES · HOTELES Y MOTELES · CENTROS EDUCATIVOS · CENTROS DE ESPECTÁCULO Y RECREACIÓN - CINES - ESTADIOS - OFICINAS	0.850 Kg/Comensal/Día 1.035 Kg/Huésped/Día 0.058 Kg/Alumno/Turno 0.012 Kg/Espectador/Función 0.054 Kg/Espectador/Evento 0.179 Kg/Empleado/Turno
ESPECIALES	· TERMINAL TERRESTRE · TERMINAL AÉREA · RECLUSORIO · UNIDADES MÉDICAS - NIVEL 1 - NIVEL 2 - NIVEL 3	2.418 kg/Pasajero/Día 5.177 Kg/Pasajero/Día 0.538 Kg/Interno/Día 1.279 Kg/Consultorio/Día 4.730 Kg/Cama/Día 5.580 Kg/Cama/Día
ÁREAS PUBLICAS	- ESPACIOS ABIERTOS - VÍA PÚBLICA	0.163 Kg/m <sup>2</sup> /Día 31.383 Kg/m <sup>2</sup> /Día
GENERACIÓN UNITARIA PROMEDIO PER-CAPITA MUNICIPAL		1.204 Kg/Hab/Día

\* Para el distrito Federal. Dirección General de servicios Urbanos 1995

Tabla 3.3 Peso volumétrico in-situ, por fuente en la ciudad de México

#	FUENTE	PESO VOLUMÉTRICO Kg/m <sup>3</sup>
1	Unifamiliar, plurifamiliar	228
2	T. de autoservicio	148
3	T. departamentales	113
4	L. comerciales	280
5	Almacenamiento y abasto	139
6	Restaurantes y bares	324
7	Servicios públicos	88
8	Hoteles y moteles	144
9	C. educativos	84
10	C. de espectáculos y rec.	73
11	Oficinas públicas y privadas	80
12	Unidades médicas	130
13	Laboratorio	196
14	Veterinarias	157
15	Transp. Terrestre	122
16	Transp. Aéreo	142
17	C. de readapt. Social	217
18	Espacios abiertos	144
19	Mercados	181
20	Vía pública	443

El conocimiento de la generación según el tipo de fuente generadora es importante para determinar los recursos necesarios para el SAU, en la tabla 3.4 y figura 3.5 se presenta como participan las delegaciones del Distrito Federal en la generación total.

TABLA 3.4 GENERACIÓN GLOBAL ESTIMADA POR FUENTE GENERADORA Y POR DELEGACIÓN

DELEGACIÓN	POBLACIÓN	DOMICILIARIOS	COMERCIOS	SERVICIOS	ESPECIALES	AREAS PUBLICAS	OTROS	TOTAL	%
ALVARO OBREGÓN	700,076	426 350	81.877	112.410	20.091	60 156	21.245	722 129	6.482
AZCAPOTZALCO	474,688	298.580	74.431	91.462	12.181	42.864	1.797	521.315	4.680
BENITO JUÁREZ	407.811	240.200	169.110	192.143	19.807	34.534	1.189	656.983	5.897
COYOACAN	703,161	445.100	82.895	114.532	10.065	60.156	18.233	730.981	6.562
CUAJIMALPA	161,362	74.230	9 653	18.280	0 647	13.659	11.967	128.435	1.153
CUAUHTEMOC	595,960	376.650	362.052	448.847	31.338	53.472	1.670	1,273.829	11.434
G A MADERO	1,289,428	822.660	156.524	198.259	27.097	113.628	6.058	1,324.226	11.887
IZTACALCO	448,322	261.820	52.846	94.952	11.394	37.876	5.918	464.805	4.172
IZTAPALAPA	1,937,435	1,197,330	826.126	212.022	11.310	169.328	128.258	2,545.275	22.847
M. CONTRERAS	247,328	133.310	19.183	38.637	2.287	21.166	15.575	230.158	2.066
MIGUEL HIDALGO	406,868	314.920	174.876	142.046	25.118	34.534	0 136	691.630	6.208
MILPA ALTA	74,627	40.750	4.807	10.770	0.810	6.684	3.200	67.021	0.602
TLAHUAC	278,834	139.140	10.123	33.622	3.451	24.508	21.361	232.205	2.084
TLALPAN	672,888	320.970	42.676	91.076	5.868	55.700	50.316	566.606	5.086
V. CARRANZA	519,628	332.040	137.421	133.250	38.999	45.117	0.463	687.290	6.169
XOCHIMILCO	334,918	180.520	23.254	46.610	1.391	29.076	16.571	297.422	2.670
TOTAL	9,253,334	5,604,570	2,227.854	1,979.618	221.854	802.458	303.955	11,140,303	100.00
% DE PARTICIPACIÓN		50.31	20.00	17.77	1.99	7.20	2.73	100.00	

\* Proyección de población realizada por la Dirección General de Servicios Urbanos, 1995.

Al contar con todos estos valores es posible establecer los niveles de generación (Figura 3.5) de los residuos sólidos en el Distrito Federal y con ello se puede definir las necesidades de infraestructura según las demandas de atención en cada zona. Cuando se hace un estudio de generación, es conveniente determinar las curvas de **isogeneración** para determinar en el mismo plano o mapa de una manera simple y rápida las zonas de mayor y menor generación.



Figura 3.5 Generación promedio por Delegación

Otro aspecto importante que se estudia con la generación es el conocimiento de los componentes de los RSM, en la tabla 3.5 se muestra el porcentaje de estos en peso en el D.F. y en la tabla 3.6 la variación en el país de los mismos durante el periodo de 1991 a 1997.

Tabla 3.5 Porcentaje de subproductos de desechos sólidos domiciliarios en el D.F.

Subproductos	Promedio	Subproducto	Promedio
Algodón	0.23	Material ferroso	0.51
Cartón	3.28	Material no ferroso	0.21
Cuero	0.65	Papel	12.43
Residuos finos	0.94	Pañal desechable	3.00
Cartón encerado	1.42	Plástico	5.04
Fibra vegetal	4.91	Poliuretano	4.44
Fibra sintética	0.47	Poliestireno	0.32
Hueso	0.82	Residuos alimenticios	44.14
Hule	0.21	Residuos jardinería	3.97
Lata	1.59	Trapo	2.37
Loza y cerámica	0.74	Vidrio de color	2.50
Madera	0.58	Vidrio transparente	4.32
Material de construcción	0.77	Otros	3.14

Fuente: OPS/GDF/Edo. Mex. Análisis sectorial de residuos sólidos en la Zona Metropolitana del Valle de México México, 1997.

Tabla 3.6 Evolución de la composición de subproductos en el periodo 1991 a 1997 (valores en %)

COMPOSICIÓN	AÑOS			
	1974-1988	1991	1997	Diferencia en los periodos
Papel, cartón y productos de papel	15.39	14.07	17.13	(1.32) 3.06
Textiles	1.94	1.49	2.15	(0.45) 0.66
Plásticos	5.70	4.38	8.95	(1.32) 4.57
Vidrio	7.69	5.90	7.04	(1.89) 1.14
Metales	3.88	2.90	3.82	(0.98) 0.92
Residuos de comida, jardinería y materiales similares (orgánicos)	47.72	52.40	44.78	4.68 (7.62)
Otros tipos de residuos Variados: residuos finos, hule, pañal desechable, etc.	17.68	18.86	16.13	(1.18) (2.73)
Total	100.00	100.00	100.00	

Fuente: Sedue. Políticas y estrategias en el manejo de los residuos municipales e industriales en México. México, 1998. Sancho y Cervera J., Rosiles G., Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. Sedesol, 1996.

La evolución tecnológica ha influido en la calidad de los residuos, hace 20 años el porcentaje de plástico apenas llegaba al uno por ciento y el vidrio alcanzaba al tres por ciento. En la actualidad, el vidrio se ha mantenido y el plástico ha aumentado en su participación, la materia orgánica sigue siendo la de mayor aportación, no obstante con el tiempo tiende a la disminución en forma ligera y gradual, ha disminuido del 65 a 70 por ciento en los años 70's, a un poco más del 40 por ciento en la actualidad.

El conocimiento de las características físico-químicas es básico para conocer su posible reutilización y para elegir la mejor alternativa de manejo, aprovechamiento y tratamiento, para el Distrito Federal se encontraron los valores señalados en las tablas 3.7 y 3.9.

Tabla 3.7 Principales características físico-químicas de los RSM Generados por diferentes tipos de fuentes consideradas

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	TIPOS DE FUENTES GENERADORAS (EN BASE SECA)				
	DOMICILIARIAS	COMERCIOS	SERVICIOS	ESPECIALES	ÁREAS PUBLICAS
HUMEDAD %	39.65	46.78	50.08	48.04	7.20
CENIZAS %	20.82	4.80	12.97	6.73	25.14
PODER CALORÍFICO SUPERIOR (Kg/Kcal)	3491.80	2885.00	2695.00	4,371.00	4911.00
MATERIA ORGÁNICA (%)	69.28	37.25	33.10	91.73	74.69
CARBONO (%)	40.20	21.61	19.20	52.68	43.41
HIDRÓGENO (%)	4.62	2.48	2.21	6.95	4.99
OXÍGENO (%)	21.79	12.68	7.13	31.04	22.02
NITRÓGENO (%)	2.67	0.48	4.56	1.06	4.27

\* Para el D.F. Dirección General de Servicios Urbanos

Para tener puntos de comparación de los componentes encontrados en las basuras; se presenta en el cuadro 3.8 los principales componentes de las basuras en países en desarrollo de América Latina y del Caribe (ALC)

Tabla 3.8 Cuadro comparativo de componentes de basuras típicas De países en desarrollo (% en peso base húmeda)<sup>(1)</sup>

PAIS	CARTÓN Y PAPEL	METAL	VIDRIO	TEXTIL	PLASTICOS	ORGANICOS	OTROS INERTES
BRASIL (96)	25.0	4.0	3.0	-	3.0	-	65.0 <sup>(2)</sup>
MÉXICO	20.0	3.2	8.2	4.2	6.1	43.0	15.3
COSTA RICA	19.0	-	2.0	-	11.0	58.0	10.0
EL SALVADOR	18.0	0.8	0.8	4.2	6.1	43.0	27.1
PERÚ	10.0	2.1	1.3	1.4	3.2	50.0	32.0
CHILE (92)	18.8	2.3	1.6	4.3	10.3	49.3	13.4
GUATEMALA (91)	13.9	1.8	3.2	3.6	8.1	63.3	6.1
COLOMBIA (96)	18.3	1.6	4.6	3.8	14.2	52.3	5.2
URUGUAY (96)	8.0	7.0	4.6	-	13.0	56.0	12.0
BOLIVIA (94)	6.2	2.3	3.5	3.4	4.3	59.5	20.8
ECUADOR (94)	10.5	1.6	2.2	-	4.5	71.4	9.8
PARAGUAY (95)	10.2	1.3	3.5	1.2	4.2	56.6	23.0
ARGENTINA (96)	20.3	3.9	8.1	5.5	8.2	53.2	0.8
TRINIDAD Y TOB.	20.0	10.0	10.0	7.0	20.0	27.0	6.0

(1) Considerando variación de humedad entre el 40 y 50%

(2) Incluye residuos textiles y orgánicos

Fuente: OPS. El manejo de residuos sólidos en América latina y el Caribe. Serie Ambiental NE 15. 1995

OPS. Estudios sectoriales de residuos sólidos. 1996

Ministerio de Salud, Chile. 1995

Fundación Natura. Manejo de los residuos sólidos en el Ecuador. 1994.

OPS. Sistema de Monitoreo de Residuos Urbanos, SIMRU.1996

Tabla 3.9 Composición física utilizable de los R.S.M. Generados en diferentes tipos de fuentes consideradas

TIPOS DE SUB PRODUCTOS	FUENTES GENERADORAS (% EN PESO)					
	DOMICILIARIOS	COMERCIOS	SERVICIOS	ESPECIALES	ÁREAS PUBLICAS	OTROS
RECICLABLES	31.10	31.29	29.32	42.22	37.21	---
MATERIA ORGÁNICA	43.22	52.42	47.69	27.39	24.56	---
OTROS	25.68	16.19	22.99	30.39	38.23	100
TOTAL	100	100	100	100	100	100

### 3.5 COMPARACIÓN DE GENERACIÓN EN DIVERSAS ZONAS

Con la finalidad de tener elementos de comparación de la situación en México, en la tabla 3.10 se presentan diferentes tasas de generación de RSM en algunos países y ciudades del mundo

Tabla 3.10 Comparación de generación per cápita de residuos sólidos municipales en distintos países

Pais	Generación per cápita (kg/hab/día)
E.U.A	1.970
Canadá	1.900
Finlandia	1.690
Holanda	1.300
Suiza	1.200
Japón	1.120
Brasil (Sao Paulo)	1.350
Argentina (Buenos Aires)	0.880
Chile (Santiago)	0.870
México	0.853

Modificado de Sancho y Cervera J., Rosiles G., Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México Sedesol, 1999

A continuación se presenta un análisis sobre la generación en las diversas zonas del país, para ello se consultaron tres fuentes: 1º Estudios sobre caracterización y cuantificación de los RSM realizados por diversas instituciones del Gobierno Federal en 46 ciudades del país. 2º Estudios del Departamento del Distrito Federal, en las 16 delegaciones políticas, en el periodo comprendido de 1974 a 1987 y 3º Estudios realizados por la Sedesol entre los años de 1991 y 1998.

De acuerdo con estas fuentes, la media de generación de residuos sólidos varió de 0.718 kg/hab/día, en el periodo de 1974-1987, a 0.853 kg/hab/día en 1998. La menor generación corresponde a zonas en su mayoría semirurales o rurales, mientras que la mayor corresponde a zonas metropolitanas entre ellas el Distrito Federal.

En función de la generación y las características de los RSM, el país se dividió en cinco zonas geográficas: Fronteriza, Norte, Centro, Sur-Sureste y el Distrito Federal. En las tablas 3.11 y 3.12, se muestran los datos estimados de población, generación, producción diaria y anual de RSM por cada zona para los años de 1988 y proyectada para 1998 respectivamente.

Tabla 3.11 Generación de residuos sólidos municipales por zona para 1988

Zona	No. de Hab.	Generación kg./hab./día	Toneladas Diarias	Toneladas anuales	%
Fronteriza	6'347,055	0.645	4,094	1'494,255	7.4
Norte	16'628,750	0.698	11,607	4'236,655	21.1
Centro	39'946,900	0.617	24,647	8'996,241	44.9
D.F.	7'354,005	0.960	7,060	2'576,843	12.8
Sur-sureste	11'366,670	0.663	7,536	2'750,640	13.7
Totales	81'643,380	0.718	54,940	20'054,634	100.00

Fuente: Sedue, Políticas y estrategias en el manejo de los residuos municipales e industriales en México, México 1998

Tabla 3.12 Generación anual de residuos sólidos por zona geográfica proyectada para 1998

Zona	Población proyección 1998	Generación per cápita Kg./hab./día	Generación diaria (ton)	Generación anual (ton)	%
Frontera Norte	7,647,643	0.956	7,311	2,668,515	8.6
Norte	19,501,930	0.891	17,376	6,342,240	20.5
Centro	51,117,711	0.788	40,281	14,702,565	47.5
D.F.	8,683,824	1.329	11,541	4,212,465	13.6
Sur	12,615,849	0.679	8,328	3,039,721	9.8
Nacional	98,266,369	0.853	84,837	30,965,505	100

Fuente: Sancho y Cervera J., Rosiles G., Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. Sedesol. 1999

En la tabla 3.12 se muestra que la zona centro junto con el Distrito Federal producen el 62% de los residuos generados en el país.

Se ha observado que en situaciones de crisis económica la generación per cápita disminuye, esta variación se observa también durante los días de la semana, siendo perfectamente conocido que la generación presenta rasgos estadísticos bien claros en la variación diarias: los índices de generación bajan los miércoles y jueves en comparación con los otros días de la semana.

Con base en esta información y en la proyección de la población para el año 2000, en la tabla 3.13 se presenta la generación total de residuos sólidos, incluyendo a los residuos de otro tipo, que no son domiciliarios. La estimación realizada se basa en los indicadores que para tal efecto se utilizaron en la SEDUE. Estos cuadros tratan exclusivamente las estadísticas relativas a los residuos municipales.

Tabla 3.13 Proyección de generación de residuos sólidos municipales

Proyección de generación de residuos sólidos					
Año	Población (miles)	Generación par-capita (kg./hab.-día)	Generación domicilio (toneladas)	Otros (toneladas)	Generación total (toneladas)
1988	81,643	0.581	47,482	9,496	58,619
1992	96,240	0.613	58,962	11,792	70,754
2000	107,777	0.718	77,365	15,473	92,838

Fuente: Sedue, Políticas y estrategias en el manejo de los residuos municipales e industriales en México. México 1998.

### 3.6 CONTENIDO DE ENERGÍA.

Los residuos sólidos municipales contienen alrededor del 50% de material volátil (combustible); el resto consiste en proporciones más o menos iguales de humedad y sólidos inertes. A causa del contenido volátil, en algunos países los residuos suelen quemarse para deshacerse de ellos y en ocasiones se utilizan como fuente de energía.

La tabla 3.14 indica el contenido de energía representativo de diversos materiales combustibles, entre ellos los residuos sólidos no compactados, los cuales tienen un contenido de energía de 9,200 a 14,100 kJ/kg. El contenido de energía que se muestra para cada material es su calor de combustión. Al comparar los residuos sólidos con otros combustibles es necesario además tomar en cuenta la energía que se requiere para desmenuzar y clasificar los desechos, así como la diferencia en la eficiencia de operación del incinerador y de otros tipos de hornos.

Ejemplo de la estimación de energía

Con base en el contenido de energía de los componentes de los residuos sólidos municipales tal como se recolectan (tabla 3.13), determinar el contenido de energía de desechos compuestos de 50% de papel, 20% de metal, vidrio y cenizas, y el resto alimentos y otros residuos orgánicos.

Solución

En la siguiente tabla se muestra una descripción del procedimiento para estimar el contenido de energía de los residuos sólidos:

Datos proporcionados para los residuos sólidos		Valores de energía estimados KJ/Kg (Btu/lb)	
Componente	%	Componente	Residuos sólidos
Papel	50	16,300 (7,000)	8,150 (3,505)
Materia orgánica	30	5,800 (2,500)	1,740 (750)
Material no combustible	20	Insignificante	
Residuos sólidos	100	-----	9,890 (4,255)

Resultado

El contenido de energía de los residuos sólidos tal como se recolectan es de 9,890 kJ/kg (4,255 Btu/lb)

Tabla 3.14 Contenido de energía típico de materiales combustibles

Material	Contenido típico de energía	
	kJ/kg	Btu/lb
Residuos sólidos municipales		
Por unidad de peso de desechos	10,500	4,500
Por unidad de peso de materia combustible	23,200	10,000
Por unidad de peso de papel	16,300	7,000
Por unidad de peso de materia orgánica	5,800	2,500
Por unidad de peso de plásticos	32,800	14,100
Por unidad de peso de textil	3,232	7,500
Lodos primarios de aguas negras,		
Por unidad de peso de sólidos seco	17,700	7,600
Lodos de aguas negras digeridos,		
Por unidad de peso de sólidos seco	9,100	3,900
Combustibles		
Por unidad de peso de combustóleo del núm. 6 <sup>b</sup>	46,500	20,000
Por unidad de peso de antracita	28,000	12,000
Por unidad de peso de metano <sup>c</sup>	49,000	21,000

<sup>a</sup>Btu/lb x 2.3241 = kJ/kg.

<sup>b</sup>Contenido de energía del combustóleo =  $37.3 \times 10^6$  kJ/m<sup>3</sup> ( $1 \times 10^6$  Btu/ft<sup>3</sup>).

<sup>c</sup>Contenido de energía del metano o del gas natural =  $37,300$  kJ/m<sup>3</sup> ( $1,000$  Btu/ft<sup>3</sup>).

Fuente: Sarofim (1977) y Tchbanoglous et al. (1993)

### 3.7 EJEMPLO: DETERMINACIÓN DE GENERACIÓN EN LA POBLACIÓN DE ZIHUATANEJO, GRO.

#### I. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LA GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.

Es importante señalar, como se menciona en el inciso 3.3, que durante los estudios de generación se determina: densidad, composición, humedad y poder calorífico.

La cantidad promedio de residuos sólidos generados por persona y por día, esto es, la generación per-cápita, se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma Oficial NMX-AA-61-1985 "Determinación de la generación".

Para el estudio realizado en este muestreo, se eligió un riesgo  $\alpha = 0.20$ , considerado apropiado de acuerdo a los factores que indica la Norma NMX-AA-61-1985, en su inciso 5.1.2 establece un tamaño de muestra (n) igual a 50 elementos para este mismo riesgo, habiendo seleccionado previamente un universo de 300 a 500 casas, las que se numeran en forma consecutiva.

El trabajo de campo realizado, consistió en las siguientes actividades:

1. Definición de la zona para hacer el muestreo (universo de trabajo)
2. Preparación de planos de identificación de lotes
3. Numeración progresiva y selección aleatoria de lotes (tabla 3.1.3 de la NOM)
4. Proceso de aceptación o rechazo de las viviendas
5. Visita a las familias de las casas elegidas, para solicitar su participación y en caso de aceptar, solicitarle datos necesarios para el estudio, como dirección de la vivienda y número de habitantes, así como la aplicación de una encuesta para conocer la opinión de los ciudadanos respecto al servicio de recolección y limpia prestado actualmente.
6. Identificación de los elementos definitivos con pintura en la acera. Entrega de la bolsa número 1, en la que se recolectan los residuos sólidos generados hasta un día antes del periodo en que se realizó el muestreo (operación limpieza).
7. Como se mencionó anteriormente la recolección de residuos sólidos en la primer bolsa, sirve únicamente para asegurar que los residuos sólidos recolectados al día siguiente, sean de un solo día. Los residuos sólidos recolectados en la operación limpieza fueron descartados disponiéndolos en un tiradero municipal.

8. Simultáneamente a esta recolección se entregó la segunda bolsa en la que se almacenaron los residuos sólidos del día uno. Esta actividad se repitió durante los siete días del estudio.
9. Las bolsas que se repartieron fueron identificadas con una etiqueta, en la que se indicó la dirección de la casa, su número consecutivo y un espacio en blanco para anotar el número de personas que estuvieron o contribuyeron en la generación de los residuos sólidos.
10. Recolección de las muestras. Esta acción se realizó siguiendo una ruta preestablecida con el fin de agilizar el trabajo. Si en alguna vivienda no salían a entregar la bolsa, se continuaba con el recorrido y al finalizar la ruta se visitaban nuevamente las viviendas en las que no se encontraban los habitantes y se recolectaron las muestras faltantes.
11. Pesaje de los residuos sólidos generados por cada elemento (vivienda). Esta actividad se realizó en el patio de la dirección de servicios públicos municipales.
12. Cálculo de la generación per cápita para cada elemento. Este se obtuvo dividiendo el peso de los residuos sólidos de cada muestra entre el número de habitantes que estuvieron en la vivienda y que contribuyeron a la generación de residuos sólidos.
13. En la visita que se realizó a cada vivienda seleccionada, se entregó a cada familia un cuestionario referente al manejo de los residuos sólidos por parte del municipio y por parte de los propios habitantes.

Aun cuando se identificaran varios estratos sociales, en este ejemplo determinaremos únicamente la generación del **estrato medio**.

El universo de trabajo para el estrato medio estuvo constituido por las siguientes colonias:

- a) Colonia centro
- b) Infonavit la parota
- c) Colonia el hual
- d) Fovissste
- e) Infonavit el hual

Para elegir aleatoriamente los 50 elementos requeridos, siguiendo lo indicado en los incisos 5.1.2 y 5.1.3, se partió de la ubicación en los planos catastrales, en los que se pudiera apoyar la selección de las viviendas a muestrear y debido a que el universo de trabajo está formado por los dos barrios se fijaron los siguientes criterios para seleccionarlos:

- a) Tipo de vivienda
- b) Servicios públicos con los que cuenta

### c) Tipos de vialidades

La Norma NMX-AA-61-1985 establece un mínimo de 50 muestras para un riesgo de  $\alpha = 0.2$  tomado en el muestreo, sin embargo, se sabe que algunos elementos se descartarán por distintas causas, algunas de ellas son:

- En el lote seleccionado no hay vivienda
- La vivienda está abandonada
- Las características de la vivienda corresponden a otro estrato socioeconómico
- Los habitantes no pueden participar
- Los habitantes no colaboran hasta el final del muestreo

Previendo esta situación, se tomaron 60 viviendas aleatoriamente utilizando la tabla de números aleatorios de la Norma y se realizó un recorrido por la zona para identificar los 50 elementos elegidos y determinar la posibilidad de incluirse en la premuestra. Algunos tuvieron que ser descartados según las causas antes mencionadas y para reemplazarlos se designaron nuevos elementos.

Todas las viviendas se visitaron con el fin de explicarle a los habitantes en que consistiría el estudio y cual sería su participación en caso de aceptar, así como para preguntarles el número de personas que normalmente se encuentran en casa. Simultáneamente se aplicó una encuesta para conocer su opinión sobre el servicio de recolección que actualmente ofrece el H. Ayuntamiento.

Tabla 3.1.3  
Viviendas seleccionadas estrato medio (continuación)

NUMERO CONSECUTIVO	NUMERO ALEATORIO	ENTRE CALLES
01	5283	Circuito Amistad
02	6348	Circuito Amistad
03	3525	Circuito Amistad
04	7895	Circuito Amistad
05	3699	Circuito Amistad
06	1542	Av. Zihuatanejo
07	6235	Av. Zihuatanejo
08	5997	Av. Zihuatanejo
09	9410	Av. Zihuatanejo
10	3296	Av. Zihuatanejo

11	6000	Guamúchil e Hierbabuena
12	6431	Andador Los Juez e Higuierilla
13	4231	Av. Zihuatanejo
14	3547	Albacar y av. Zihuatanejo
15	9574	Av. Zihuatanejo
16	1652	Coral y Ocote
17	1837	Copal y Ocote
18	2667	Ocote y Cedro
19	7319	Oyamel y Av. la parota
20	0081	Espino y Oyamel
21	5892	Palo de arco y Guamúchil
22	1594	Alamo y Av. Morelos
23	3604	Cedro y Husache
24	4769	Enredadera y Av. Morelos
25	1565	Higuera y Av. Morelos
26	5556	Av. 5 de mayo y Vicente Guerrero
27	1555	I.M.A. y Antonia Nava
28	4624	Cuautémoc y Vicente Guerrero
29	3408	Cuauhtémoc y Galeana
30	2454	Vicente Guerrero y Cuauhtémoc
31	0061	Antonia N. y Catalina González
32	2666	Mandarina y Av. Morelos
33	1332	Av. Benito Juárez y Palapas
34	0962	Paseo del Palmar y Palapas
35	5858	Guayabos y Mangos
36	5319	Rubí y Opalo
37	9404	Esmeralda y Topacio
38	3413	Galo y Esmeralda
39	3931	Jade y Paseo de la boquita

40	2640	Rubí y Paseo de la boquita
41	6348	Mar Caspio y Colegio militar
42	8993	Mar Medirerráneo y Mar Caspio
43	6810	Mar Mediterráneo y Paseo de la boquita
44	0501	Mar Muerto y Mediterráneo
45	0331	Eva Samano y Paseo de la Boquita
46	9001	Eva Samano y Adelita
47	6661	Carretera escénica la ropa y Valentina
48	0518	Río Colorado y Valentina
49	5020	Pedro Asensio y Juan N. Álvarez
50	1001	Ejido y Juan N. Álvarez

Los elementos de la lista definitiva fueron marcados con pintura amarilla en un lugar visible de la acera, con la finalidad de identificar los elementos de la premuestra y agilizar la tarea de recolección.

Después de haber identificado todas las viviendas de la premuestra, se les entregó la primera bolsa para llevar a cabo la llamada "operación limpieza", esta recolección se realizó el día domingo, simultáneamente se entregó la segunda bolsa que sería recogida con residuos sólidos el día lunes, siendo este el primer día del muestreo. Esta actividad se repitió durante los siguientes siete días.

En cada uno de los siete días del muestreo, se realizó la recolección siguiendo la ruta elegida, en las casa en que los habitantes no se encontraron, se pasaba a la siguiente y una vez terminada la ruta se regresaba a éstas con el fin de obtener el mayor número de muestras, logrando así el mayor número de muestras diarias.

Después de recolectar todas las muestras posibles, se pesó cada una de ellas, con una aproximación de 10 gramos y descontando el peso de las bolsas de plástico que se asignaron para la recolección.

Los registros de los pesos de las muestras se presentan en la tabla siguiente:

## Generación de Residuos Sólidos en el estrato medio

NUMERO PROGRESIVO	DIA 1 GRS.	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	PROMEDIO GRS.	NUMERO DE PERSONAS	GENERACION GR./HAB-DIA
01	8000	3640	1530	2860	2001	1970	1580	21581	5	617
02	5000	1830	2280	1330	1115	1080	1240	13910	3	662
03	6300	2810	2330	1280	2090	2110	1160	18080	4	646
04	4800	2630	2170	2350	1070	1890	2150	17060	4	609
05	5300	3470	2130	1190	1060	1190	1570	15910	3	758
06	5600	3320	2610	1140	1460	1940	1860	17940	4	640
07	4600	1250	1740	860	960	1170	1060	11640	3	554
08	1200	860	530	360	910	670	780	5310	2	379
09	7800	4230	1510	2140	3250	1330	2310	22570	6	538
10	8500	2440	1770	3210	2140	1680	1740	21480	5	614
11	7300	3210	2140	1270	1680	1710	1280	18590	5	531
12	3180	2140	1760	2770	1580	2050	1330	14810	4	529
13	5280	2740	3590	1040	2160	1310	4280	20400	6	486
14	3200	1650	1090	2670	1920	1330	1140	13000	4	465
15	4200	1680	2130	2640	2710	2460	2370	18190	5	520
16	5300	2150	1360	1740	2080	1940	2640	17210	4	615
17	12300	6140	5330	6280	3690	5470	6310	45520	8	813
18	6200	3170	1090	2160	1770	1930	1650	17970	5	513
19	7370	4250	3680	4070	2680	3510	2860	28420	4	1015
20	6100	2380	1670	2150	2090	1870	1110	17370	5	496

21	6800	1020	2570	1910	1330	2150	1640	18420	5	526
22	5800	2140	3650	1190	1970	2670	4280	22700	6	540
23	5100	1080	2170	2650	1170	1350	2950	16470	4	589
24	6800	3150	2720	1640	1790	2870	2150	21120	6	503
25	7100	2150	3680	950	2770	2510	2730	21890	6	521
26	4800	2350	1670	2140	2910	1310	1420	16600	5	474
27	7100	2680	2310	3090	1220	1730	2890	21020	6	500
28	6300	2170	2910	3680	3010	2640	3210	23920	7	488
29	6100	2280	7670	1950	2760	2810	2560	26130	6	662
30	12800	5310	3970	4680	4330	5080	5310	41480	9	658
31	1800	770	2810	2170	1680	1570	1460	12260	3	584
32	2800	910	1070	1280	1610	1440	1250	10360	3	493
33	6800	2310	1680	3090	2720	2140	2310	21050	5	601
34	4600	3190	3010	4170	2650	1970	2860	23450	6	559
35	6200	3910	2860	3170	2920	3220	3410	25690	7	524
36	2800	3170	3090	2670	2910	3210	3010	20860	6	497
37	7100	3150	2210	2930	2870	3170	3020	24450	6	582
38	5900	2870	3210	2770	2940	3010	3220	23920	6	570
39	5300	2860	3990	1080	2150	2770	2670	20820	7	425
40	3650	2330	4280	910	1670	2140	2080	17060	6	406
41	6200	2570	1680	2970	1090	2340	1860	18710	5	535
42	2100	1210	670	590	880	930	697	7077	3	337

43	4100	1210	1050	1560	1200	1350	3040	13510	5	386
44	4200	3900	3650	1210	1890	2410	926	18186	6	433
45	2200	1200	980	1420	1780	2670	2210	124460	4	445
46	1700	1860	3210	2930	2870	2640	3774	18984	6	452
47	4600	2720	3110	2870	3470	2520	3305	22575	5	645
48	8700	6100	6210	5930	5280	5320	5923	43463	7	887
49	8200	3810	2930	4780	4990	3220	4165	32095	5	917
50	10500	5360	4820	5910	4890	5470	3720	40670	5	1162
SUMA DIARIA	285680	135760	132280	121790	116126	118240	124470	1034361	255	28901

## II CÁLCULO DE GENERACIÓN ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 1.- Ordenar los valores promedio obtenidos en orden creciente.

Al aplicar el criterio de Dixon, citado en la norma NMX-AA-61-1985 para aceptar o rechazar observaciones sospechosas es necesario ordenar los 50 elementos de la muestra en orden creciente y numerarlos como se muestra en la siguiente tabla:  
Análisis del estrato medio

#### Generación per cápita en forma creciente estrato medio

1	337	26	538
2	379	27	540
3	386	28	554
4	406	29	559
5	425	30	570
6	433	31	582
7	445	32	584
8	452	33	589
9	465	34	601
10	474	35	609
11	486	36	614
12	488	37	615
13	493	38	617
14	496	39	622
15	497	40	640
16	500	41	645
17	503	42	646
18	513	43	658
19	520	44	662
20	521	45	758
21	524	46	813
22	526	47	887
23	529	48	917
24	531	49	1015
25	535	50	1162

**2.- Análisis de observaciones sospechosas.**

Análisis de rechazo (criterio de dixon) estrato medio.

Para  $j = 5$  y una confiabilidad del 80%, por lo tanto  $\alpha = 0.20$ 

Cola inferior (grs./hab./día)

cola superior (grs./hab./día)

$X_1 = 337$	$X_{46} = 813$
$X_2 = 379$	$X_{47} = 887$
$X_3 = 386$	$X_{48} = 917$
$X_4 = 406$	$X_{49} = 1015$
$X_5 = 425$	$X_{50} = 1162$

**Cálculo del estadístico permisible (percentil máximo permisible)**

$$r_1 = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \quad r_1 = \left(1 - \frac{0.20}{2}\right) \quad r_1 = 0.90$$

De la tabla 2 de la norma, entrando con el percentil máximo y el número de observaciones se obtiene.

Análisis de la cola superior

Sustituyendo en la siguiente ecuación se tiene;

$$r = \left(\frac{X_n - X_j}{X_n - X_1}\right) \quad \text{donde } n = 50$$

$$j = 5 \\ i = n - (j - 1) = 50 - (5 - 1) = 46$$

Para  $X_{50} = 1162$  grs./hab./día

$$r = \left(\frac{X_{50} - X_{46}}{X_{50} - X_5}\right) \quad r = \left(\frac{1162 - 813}{1162 - 425}\right) \quad r = 0.474$$

Como  $r > r_1$ 

0.474 &gt; 0.360 por lo tanto se rechaza.

Para  $X_{49} = 1015$  grs./hab./día

$$r = \left(\frac{X_{49} - X_{46}}{X_{49} - X_5}\right) \quad r = \left(\frac{1015 - 813}{1015 - 425}\right) \quad r = 0.342$$

Como  $r < r_1$   
0.342 < 0.360 por lo tanto se acepta

Análisis de la cola inferior.

Para  $X_5 = 425$  grs./hab./día

$$r = \left(\frac{X_5 - X_1}{X_{56} - X_1}\right) \quad r = \left(\frac{425 - 337}{813 - 337}\right) \quad r = 0.185$$

como  $r < r_1$   
0.185 > 0.360 por lo tanto se acepta.

Se calcula la media aritmética y la desviación estándar de los datos de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{media aritmética}$$

Sustituyendo los valores en la expresión se tiene que  $\bar{X} = 565.29$  grs./hab./día

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{desviación estándar}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación se tiene que  $s = 133.60$  grs./hab./día

Se verificó el tamaño de la muestra, con base en la desviación estándar muestral y empleando la distribución "t" de student,

$$\text{Percentil máximo} \quad t = 1 - \frac{\alpha}{2} \quad t = 1 - \frac{0.20}{2} \quad t = 0.90$$

Obteniendo el percentil de la tabla 2 de la NMX-AA-61-1985, se tiene el valor de  $t = 1.300$ . Según norma (inciso 5.2.5):  $0.04 \text{ Kg/hab.-día} \leq E \leq 0.07 \text{ Kg/hab.-día}$ , tomamos  $0.05 \text{ Kg/hab.-día}$

Para obtener el tamaño real de la muestra se utiliza la siguiente ecuación:

$$n_1 = \left( \frac{t * s}{E} \right)^2 \quad n_1 = \left( \frac{1.300 * 133.60}{50} \right)^2 \quad n_1 = 12.07$$

$$\begin{aligned} n_1 &< n \\ 12 &> 49 \end{aligned}$$

Como  $n_1 < n$  por lo tanto se acepto, el tamaño de la premuestra inicial, la cual es de 50 datos, por lo que se puede aumentar la confiabilidad del muestreo mas allá del 80%. Tomando en cuenta el análisis de confiabilidad, habiendo aceptado el tamaño de la premuestra inicial, con el fin de aceptar o rechazar los estadísticos de la muestra como parámetros del universo de trabajo, para un cierto nivel de confianza, planeándose la hipótesis nula y alternativa indicada en las expresiones siguientes:

$$X_0: \bar{X} = \mu$$

$$X_1: \bar{X} \neq \mu$$

Tomando en cuenta el nivel de confianza con base en el error que se tomo al momento de realizar el muestreo que fue de 0.20 se obtienen diferentes percentiles para diversos niveles de confiabilidad con el número de muestras seleccionadas.

Para un 80% de confiabilidad.

$$t = 1 - \frac{\alpha}{2}, \quad t = 1 - \frac{0.20}{2} \quad t = 0.90$$

De la tabla 2 (NOM)

$t_{0.90} = 1.300$	para un 80% de confiabilidad
$t_{0.96} = 1.678$	para un 90% de confiabilidad
$t_{0.975} = 2.011$	para un 95% de confiabilidad
$t_{0.99} = 2.407$	para un 98% de confiabilidad
$t_{0.996} = 2.682$	para un 99.2% de confiabilidad

Se observó que el percentil que da mayor confiabilidad es el calculado para 0.996, con el cual se obtuvo un 99.2% por lo que este fue el percentil que se utilizó en la elaboración de los cálculos.

Se realizó el cálculo del percentil del muestreo "t", mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\mu - \bar{X}}{\frac{s}{\sqrt{n_1}}}$$

considerando

$$\begin{aligned} \mu - x &= 50 \text{ gr/hab.-día} \\ s &= 133.6 \text{ gr./hab.-día} \\ n_1 &= 49 \end{aligned}$$

Sustituyendo valores, se obtuvo el valor del percentil t:

$$t = \frac{50}{\frac{133.60}{\sqrt{49}}} = \frac{\sqrt{49}(50)}{133.6} \quad t = 2.620$$

Comparando el resultado obtenido matemáticamente, contra el valor del percentil obtenido por medio de la tabla No. 3 para una confiabilidad del 99.2% se observa que:

$$t_c = 2.620 < t_{0.996} = 2.682$$

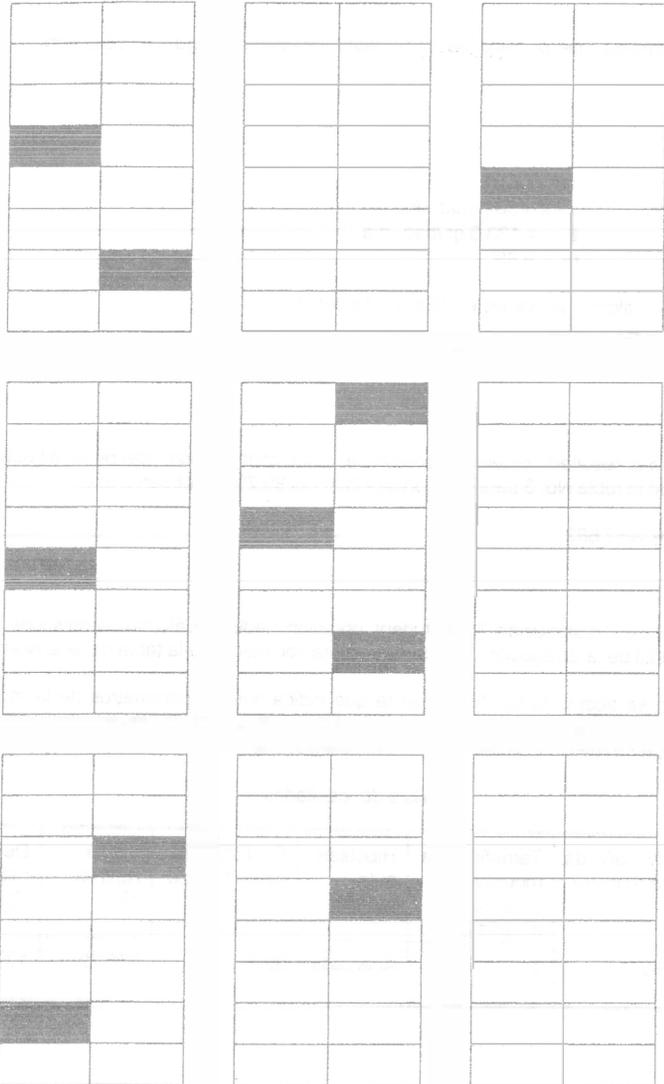
Donde:

$t_c$  = percentil de la distribución "t" de student, obtenido mediante cálculos estadísticos.  
 $t_{0.996}$  = percentil de la distribución "t" de student, obtenido mediante la tabla de la Norma.

Por lo tanto se aceptó la hipótesis nula la que indica que los parámetros de la muestra pueden ser tomados para la población total, obteniendo un 99.2% de confiabilidad en el muestreo que se realizó y se rechazó la hipótesis alternativa.

Análisis de resultados.

Opción	Tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra (Cálculo estadístico)	Hipótesis nula $\text{MoX}=\text{M}$	Confiabilidad de la muestra (%)	Media Kg./Hab.-día	Desviación estándar Kg./hab/día
Estrato medio	50	12	Aceptada	99.2	565.29	133.60



EJEMPLO DE CEDULA DE ENCUESTA DE CAMPO PARA EL MUESTREO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS

No. DE MUESTRA 25 No. ALEATORIO 73  
 POBLACION Naucalpan MCPIO O DELEGACION Naucalpan ENTIDAD FED. Edo. Mex  
 CALLE Rincon Verde NUMERO 394 C.P. 04390  
 COLONIA Lomas Verdes NIVEL SOCIOECONOMICO Medio  
 HABITANTES POR CASA 4 FREC. REC. Diaria TIPO RECIPIENTE Bolsa Plas.  
 QUE HACE CON LOS RESIDUOS SI NO PASA EL CAMION Los llevan directamente al tiradero  
 SU OPINION SOBRE EL SERVICIO DE RECOLECCION: BUENA    MALA    REG. X  
 NOMBRE DEL ENCUESTADOR Ing. Jesus Barragan Mendiola  
 PUESTO QUE DESEMPEÑA Ing. Geologo  
 INSTITUCION O EMPRESA S. F. D. U. E.

No.	FECHA	DIA	PESO DE LOS RESIDUOS (Kg.)	GENERACION PER-CAPITA (kg./hab/Día)	OBSERVACIONES
1	1-VIII-85	Jueves	1.600	0.400	
2	2-VIII-85	Viernes	2.000	0.500	
3	3-VIII-85	Sábado	2.300	0.575	
4	4-VIII-85	Domingo	1.500	0.375	
5	5-VIII-85	Lunes	2.500	0.625	
6	6-VIII-85	Martes	1.750	0.4375	
7	7-VIII-85	Miércoles	-	-	Salieron de vacaciones

$$PROMEDIO = \frac{2.9125}{6} = 0.4854$$

## INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

### CAPÍTULO 4 ALMACENAMIENTO Y LIMPIEZA DE CALLES

- 4.1 PROBLEMAS EN EL ALMACENAMIENTO
- 4.2 CONSIDERACIONES RESPECTO AL ALMACENAMIENTO
- 4.3 ZONA DE ALMACENAMIENTO
- 4.4 RECIPIENTES PARA EL ALMACENAMIENTO
- 4.5 LIMPIEZA DE CALLES Y ÁREAS PÚBLICAS
- 4.6 BARRIDO MANUAL
- 4.7 BARRIDO MECÁNICO
- 4.8 EXPERIENCIAS EN LATINOAMÉRICA
- 4.9 CIUDAD LIMPIA

#### 4.1 PROBLEMAS EN EL ALMACENAMIENTO

El almacenamiento es responsabilidad de los que generan la basura, por lo cual no entra dentro de las responsabilidades de los sistemas de aseo urbano (SAU), pero dada la importancia y los impactos que ocasiona sobre los SAU, es conveniente que se busque el apoyo de los usuarios promoviendo, asesorando y capacitando a los pequeños generadores (domicilios, pequeños comercios, etc.) y a los grandes generadores (hoteles, restaurantes, condominios etc.), y por otro lado promover la elaboración de normas para que cumplan con esta función y con ello lograr que los responsables de la generación sean un apoyo y no un problema para el buen funcionamiento de los SAU.

El barrido de vías y áreas públicas en las grandes ciudades en muchas ocasiones es responsabilidad de los SAU; en las ciudades pequeñas generalmente el "Bando de Policía y Buen Gobierno" responsabiliza a los dueños de los predios el tener siempre limpios la banqueta y la calle frente a sus predios.

En el mismo Bando y su Reglamento de limpia, es conveniente contemplar el problema de la defecación de perros callejeros, según un estudio presentado por una investigadora de la UNAM, presentado en el Primer Coloquio Regional de Rabia que se realizó en Puebla en el año 2001, manifestó que "todos los días en la Ciudad de México se generan 600 toneladas de excremento de 3 millones de perros, de los cuales 1 millón son callejeros".

Son pocas las ciudades que tienen un almacenamiento adecuado en hogares, establecimientos comerciales, hospitales y otros puntos de gran generación. Hasta donde se conoce, la estandarización de recipientes o uso de bolsas de plástico sólo se ha logrado parcialmente en la Habana, Río de Janeiro y Buenos Aires. En otras ciudades, sólo los estratos medios y de mayores ingresos pueden tener recipientes adecuados y lo único que se hace en otros sectores es proporcionarles educación sanitaria, promover y concientizar a la comunidad para mejorar sus recipientes mediante cambios poco costosos. Otros problemas típicos de almacenamiento se presentan en los mercados, las industrias y los depósitos comunales clandestinos o tolerados que se forman en las zonas periféricas donde no hay servicios y la gente acostumbra colocar su basura en lotes baldíos o en la vía pública para que la recojan los camiones dedicados esporádicamente a esta tarea. Otro problema lo causa el comercio ambulante, y los comerciantes informales en calles y áreas públicas donde se localizan e instalan cada vez con más frecuencia en las principales ciudades de ALC.

Los servicios de aseo urbano (SAU) de la Región están empleando contenedores (recipientes) de diferentes dimensiones. Pocas son las ciudades donde este servicio sea de buena calidad, por falta de equipo adecuado para el transporte oportuno, porque los contenedores (recipientes) dificultan el ordenamiento urbano o

sencillamente por falta de educación pública y vigilancia. En varias ciudades estos contenedores se han convertido en sucios tiraderos de basura con mal aspecto, además originan malos olores y proliferación de vectores.

La empresa privada ha empezado a incursionar en el almacenamiento y transporte y está logrando buenos resultados en algunas poblaciones del país en que se les ha concesionado el servicio.

#### 4.2 CONSIDERACIONES RESPECTO AL ALMACENAMIENTO

El almacenamiento de los residuos sólidos municipales (RSM) en la fuente de generación, tiene como función guardarlos temporalmente, de tal manera que no ocasionen riesgos a la salud pública o al ambiente, hasta que sean entregados al sistema de recolección del SAU de la localidad o se les dé algún uso.

Esta fase del "ciclo de vida de los residuos", es quizá la que menos atención técnica profesional ha recibido, no obstante la importancia que tiene, así como los impactos que pueden derivar de ello para la eficiencia del SAU y los riesgos que conllevan. Son pocas las ciudades en donde se tienen buenas prácticas de almacenamiento en las diferentes fuentes de generación de los RSM.

Los sistemas de almacenamiento están constituidos por dos grandes áreas: 1º. las **zonas o lugares** donde se ubican los recipientes de almacenamiento, 2º. los **recipientes** que contienen los RSM. Estas dos áreas deben estar diseñadas de acuerdo con: a) características de los residuos, b) su producción en un período determinado, c) su peso volumétrico y d) la frecuencia de recolección establecida por el SAU.

La situación que guardan casi todas las zonas de almacenamiento es deficiente, particularmente en las fuentes de gran generación (mercados, tiendas de autoservicio, espectáculos, centros de abasto), ya que por lo general, en los proyectos no se le dá la importancia que requieren dichas zonas por lo que no son diseñadas y construidas con los estudios técnicos correspondientes para ese propósito, por lo que presentan una serie de riesgos a la salud, al ambiente y a la economía de los generadores.

Existe una gran variedad de recipientes que son utilizados para el almacenamiento de los RSM, la gran mayoría de los cuales no han sido construidos expresamente, actualmente dominan las bolsas de polietileno proporcionadas por todo tipo de comercios para el almacenamiento y transporte de las mercancías vendidas, sin embargo, es frecuente observar otros recipientes construidos para otro fin, que ya han sido deteriorados por el tiempo y no cumplen con su objetivo original, entre ellos: tinas y baños de plástico o metal, cajas de cartón o madera y bolsas de papel. Solamente en algunas fuentes de generación, sobre todo de la clase

socioeconómica alta se pueden observar, bolsas de plástico y recipientes de lámina o plástico que fueron fabricados para el almacenamiento de residuos.

El almacenamiento domiciliario deficiente constituye uno de los principales problemas de manejo en las diferentes fases del SAU, algunos debido a su poca resistencia y bajo peso específico se rompen al trasladarlos al camión recolector, lo cual baja la eficiencia de la operación, incrementa los costos, contamina y da mala imagen a las poblaciones.

Otro aspecto importante es el almacenamiento en la vía pública, por lo regular los parques, jardines, playas, centros de recreación, zonas arqueológicas y sitios de reunión, cuentan con parte del equipamiento para el almacenamiento temporal de los residuos generados por los usuarios de este tipo de áreas. Sin embargo, en lo que se refiere a la vía pública, comúnmente no se observa este tipo de equipamiento y cuando existe, la recolección de los residuos contenidos en estos recipientes no se lleva a cabo con la regularidad para la que fueron diseñados, en la mayoría de los casos por carecerse de la infraestructura necesaria, esta situación ha provocado que se generen pequeños tiraderos alrededor de los contenedores, con la consecuente proliferación de fauna nociva, malos olores, afectación al paisaje, y consecuentemente el rechazo de la población.

Con la participación cada vez mayor de la iniciativa privada en los sistemas de recolección de RSM, es posible observar el uso de contenedores (recipientes) de diferentes tipos y capacidades para el almacenamiento de los residuos en algunas de las fuentes de gran generación o en algunas compañías prestadoras de servicios. Estos contenedores son servidos por vehículos de recolección de carga frontal, carga lateral o carga trasera y los denominados roll on, roll off.

Durante el último lustro o quizá década, la incorporación rápida en la escena de la prestación de los SAU de los grupos y organizaciones ecologistas no gubernamentales, ha creado una serie de expectativas a la solución del problema del control de los RSM, una de estas contribuciones es precisamente en el renglón del almacenamiento.

Se han recomendado algunos objetivos y metas para mejorar el almacenamiento, lo cual se presenta en el cuadro 4.1, recordando que en la administración de los RSM, se ha insistido mucho en la participación de la ciudadanía en lo que respecta a la separación de los diferentes materiales que en su conjunto constituyen los RSM, esfuerzos que deben continuar y que pueden constituir una alternativa útil.

En este capítulo se tratarán en forma separada las dos áreas que constituyen el almacenamiento:

- 1º. El lugar o zona de almacenamiento y
- 2º. El recipiente para el almacenamiento temporal.
  - . capacidad
  - . características

Cuadro 4.1 OBJETIVOS Y METAS RECOMENDADAS PARA EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS

OBJETIVO	META
Reducción de generación de residuos sólidos en la fuente tanto en cantidad como en su potencial contaminante	Incentivar la disminución de los residuos sólidos en las fuentes de generación que incluya el material de empaque y de protección a los productos que se comercializan.
Separación de los residuos en la fuente	Utilizar recipientes distintos para entregar a los recolectores residuos separados, al menos un recipiente para la materia orgánica (putrescible) y otro para el resto de los residuos
Incrementar la recuperación de los residuos	Disminuir la cantidad de residuos sólidos que se envíen a rellenos sanitarios o en su caso al tiradero, incrementando el porcentaje de materiales recuperados para su reciclaje y compostado de el caso de la materia orgánica

### 4.3 ZONA DE ALMACENAMIENTO

La zona de almacenamiento es el lugar donde son colocados el o los recipientes de almacenamiento externo en una fuente de generación, a continuación se presentan las condiciones mínimas que deben de cumplir las zonas de almacenamiento:

#### a) Domiciliario

- Los recipientes deberán estar colocados a una distancia mínima de 20 centímetros sobre el nivel del piso.
- Que la zona de almacenamiento sea inaccesible a la fauna y no permita su reproducción.
- En el área alrededor de los recipientes en la zona de almacenamiento, no deberán existir objetos ni cosas en desorden, tampoco materiales no destinados a entregar al servicio de recolección.

- Antes de entregar al servicio de recolección, se deberá barrer la zona y depositar en los recipientes de almacenamiento estos residuos recolectados.
- La zona de almacenamiento se deberá lavar como mínimo una vez por semana, con agua caliente y detergente, con la finalidad de eliminar bacterias y olores desagradables ocasionados por la descomposición de los residuos orgánicos adheridos en la zona de almacenamiento.
- La zona de almacenamiento deberá colocarse en un sitio conveniente para los generadores, de preferencia cerca del lugar de entrega al servicio de recolección.

#### b) Sitios públicos

##### Mercados

El almacenamiento externo, por lo regular es confundido por zona de almacenamiento en los mercados, sin embargo se debe dar la diferencia entre los dos, entendiendo como **almacenamiento externo a los recipientes** que almacenan los residuos generados en el mercado y la **zona de almacenamiento** es el lugar donde están ubicados los recipientes de almacenamiento externo.

Las zonas de almacenamiento en los mercados debe de contar con las siguientes características:

- La zona de almacenamiento debe ser inaccesible a personas ajenas a la administración del mercado o generadores de residuos en el mismo mercado y a los animales.
- En la zona de almacenamiento, no deberán existir objetos ni cosas en desorden, tampoco materiales que no sean destinados a entregar al servicio de recolección.
- Antes de entregar al servicio de recolección se deberá barrer la zona y depositar en los recipientes de almacenamiento los residuos recolectados.
- La zona de almacenamiento se deberá lavar mínimo una vez por semana, con agua caliente y detergente con la finalidad de eliminar bacterias y olores desagradables ocasionados por la descomposición de los residuos sólidos adheridos en la zona de almacenamiento.
- La zona de almacenamiento deberá contar con la ventilación e iluminación suficiente para una buena operación durante la prestación del servicio de recolección y la seguridad de los usuarios de los recipientes

- La ubicación de la zona de almacenamiento deberá estar alejada de la zona de recepción de mercancías que se expenden en ese lugar.
- El piso de la zona de almacenamiento deberá estar construido con materiales impermeables y antiderrapantes, tratando de colocar chaflanes en las uniones piso - muro para evitar uniones a 90 grados que favorecen la adhesión de partículas causante de malos olores.
- La zona de almacenamiento deberá contar con pendiente adecuada y drenaje para la evacuación de los líquidos de lavado de la zona.
- Se debe evitar o en último caso regular la pepena en el sitio.
- El sitio deberá contar con un extinguidor para cualquier tipo de fuego en un lugar adecuado, cercano, con señalamiento de su ubicación y accesible desde la zona de almacenamiento.
- La zona de almacenamiento deberá tener acceso controlado una vez que se han terminado las operaciones diarias del mercado.

#### 4.4 RECIPIENTES PARA EL ALMACENAMIENTO

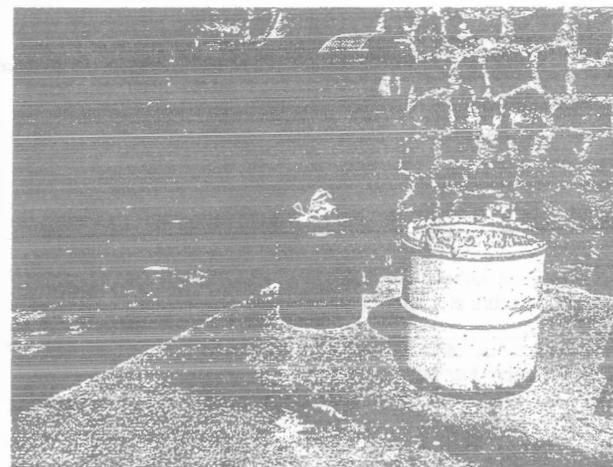
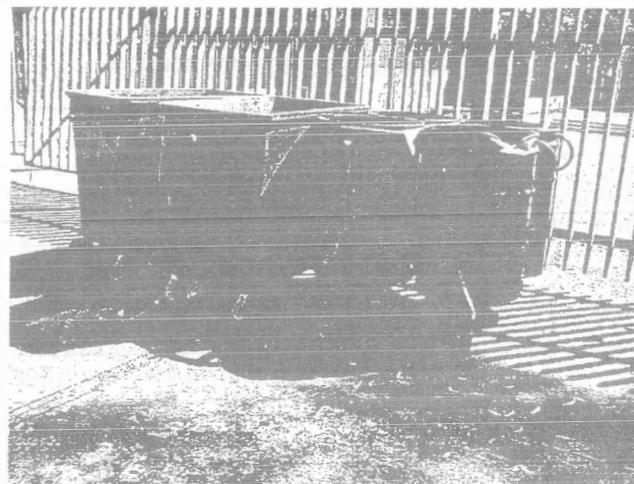
##### 4.4.1 VOLUMEN REQUERIDO PARA EL ALMACENAMIENTO

Para el diseño de los depósitos y recipientes destinados al almacenamiento, se deben considerar los siguientes elementos:

- Generación
- Peso volumétrico
- Frecuencia de recolección
- Sistema de recolección utilizado
- Factor de seguridad

##### Generación

La generación de los residuos sólidos es uno de los principales parámetros a considerar, ya que nos determina la cantidad de residuos sólidos que debemos almacenar. La generación está directamente relacionada con la siguiente serie de factores:



- Nivel socioeconómico
- Estación del año
- Hábitos Alimentarios
- Día de la semana
- Nivel de la infraestructura de servicios

Para determinar el volumen requerido de almacenamiento, se debe considerar el número de habitantes en la casa o el número de usuarios del edificio. (ver tabla 3.2).

#### Peso volumétrico

Este factor o parámetro está regido por la Norma NMX-AA-19-1985, "Determinación del Peso Volumétrico In-Situ", es de gran utilidad, por indicarnos el volumen necesario para almacenar y transportar los residuos tomando en consideración su peso.

El peso volumétrico de los residuos sólidos está estrechamente ligado a las características físicas de los mismos, ya que los subproductos constituyentes del peso volumétrico determinarán los altos o bajos valores de este parámetro, si tenemos un peso volumétrico alto, podremos deducir que contamos con altas cantidades de materia orgánica en los residuos.

#### Frecuencia de recolección

Nos indica el número de veces al día o a la semana que el vehículo recolector recogerá los desechos, lo que influirá para el diseño del sistema de almacenamiento en la capacidad necesaria y en el tipo de recipiente.

#### Sistema de recolección utilizado

El sistema de recolección utilizado o disponible en la localidad tendrá una gran influencia sobre el diseño del almacenamiento en las fuentes de generación que no son domiciliarias, sobre todo en los lugares de gran generación o cuando se trata del manejo de un sistema comunitario de contenedores.

La capacidad y versatilidad con que cuenta el servicio de recolección nos dará la pauta para el diseño de los recipientes a utilizar en estos casos.

#### Factor de seguridad

Para el cálculo de las necesidades volumétricas del sistema de almacenamiento, es necesario un factor de seguridad que permita cubrir las necesidades de almacenamiento por una falla en el servicio de recolección o una generación inesperada. En el cuadro 4.2 se presentan los factores de seguridad que se deben utilizar, dependiendo de la frecuencia de recolección que se tenga en la localidad.

Cuadro 4.2  
Factor de seguridad para calcular el volumen de almacenamiento

Fallas del servicio Frecuencia de recolección	1 vez a la semana	2 veces a la semana	3 veces a la semana	4 veces a la semana	5 veces a la semana	6 veces a la semana
Diariamente inclusive el domingo	1.5	1.5	1.75	2.34	4.5	7.0
Diariamente de Lunes a sábado	1.5	1.5	2.0	3.0	6.0	—
Tres veces a la semana de lunes a sábado	1.5	3.0	—	—	—	—
Dos veces a la semana de lunes a sábado	3.5	—	—	—	—	—
Una vez a la semana	7.0	—	—	—	—	—

#### Cálculo de la capacidad del recipiente

Los cinco elementos mencionados anteriormente son necesarios para el cálculo de las necesidades volumétricas del recipiente para almacenamiento de los residuos sólidos que se debe presentar al servicio de recolección.

El volumen de almacenamiento para los residuos sólidos se determina como sigue:

$$V = \frac{(G)(F.S)}{(P.V)(f)} = m^3$$

Donde:

- V = Volumen del recipiente de almacenamiento (m<sup>3</sup>)
- G = Generación (Kg/día)
- P.V. = Peso volumétrico de los residuos (Kg/m<sup>3</sup>)
- f = Frecuencia de recolección
- F.S. = Factor de seguridad

En caso de residuos domésticos el volumen de almacenamiento se calcula como sigue:

$$V = \frac{(1000)(n)(G)(F.S)}{(P.V)(f)} = \text{litros por día}$$

$V$  = Volumen del recipiente de almacenamiento (litros)  
 $n$  = Número de habitantes por casa habitación  
 $G$  = Generación Per-Cápita por día (Kg/hab./día)  
 $P.V.$  = Peso volumétrico de los residuos (Kg/m<sup>3</sup>)  
 $f$  = Frecuencia de recolección  
 $F.S.$  = Factor de seguridad

Cuando se calcule el volumen necesario, es importante tener cuidado al diseñar el método de almacenamiento, ya que en ocasiones el volumen necesario es muy grande, por lo que se debe investigar la capacidad de los vehículos recolectores y adecuar el almacenamiento tanto a las condiciones existentes como al servicio de recolección.

## EJEMPLOS

Determinar la capacidad del recipiente para:

## 1. Domiciliario Unifamiliar

## DATOS

Generación unitaria	0.669 kg/hab/día (tabla 3.2)
Peso volumétrico	228 kg/m <sup>3</sup> (tabla 3.3)
Número de habitantes	5
Frecuencia de recolección	5 días/semana = 5/7
Factor de seguridad	1.5 (tabla 4.1)

$$V = \frac{1000 \times 0.669 \times 1.5}{228 \times \frac{5}{7}} = \frac{5,017.5}{162.9} = 30 \text{ lts}$$

## 2. Tienda Departamental con restaurante

## DATOS

Generación unitaria	1.468 Kg/empleador/día (tabla 3.2)
Peso volumétrico	$\frac{324 + 113}{2} = 218.5 \text{ kg/m}^3$ (Tabla 3.3)
Número de empleados	20
Frecuencia de recolección	7 días a la semana = 7/7
Factor de seguridad	1.5 (tabla 4.1)

## Solución

$$V = \frac{1.468 \times 20 \times 1.5}{218.5 \times \frac{7}{7}} = \frac{44.08}{218.5} = 0.202 \text{ m}^3$$

## 3. Edificio de oficinas

Generación unitaria	0.179 kg/empleador/día (tabla 3.2)
Peso volumétrico	80 kg/m <sup>3</sup> (tabla 3.3)
Número de empleados	30
Frecuencia de recolección	3 días a la semana = 3/7
Factor de seguridad	15 (tabla 4.1)

$$V = \frac{0.179 \times 30 \times 1.5}{80 \times \frac{3}{7}} = \frac{8.055}{34.28} = 0.235 \text{ m}^3$$

## NORMATIVIDAD EN EL DISTRITO FEDERAL

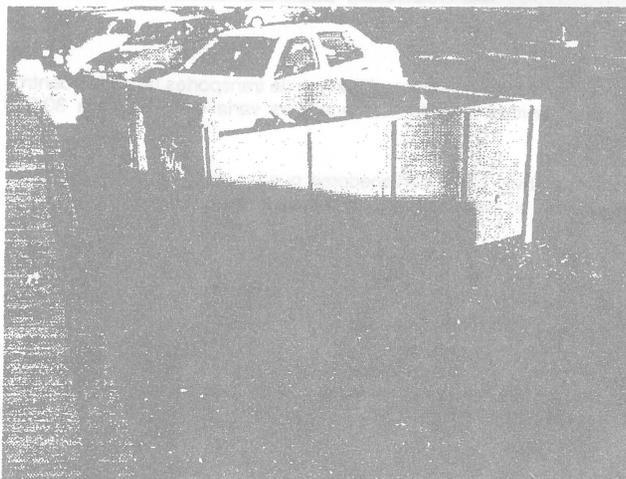
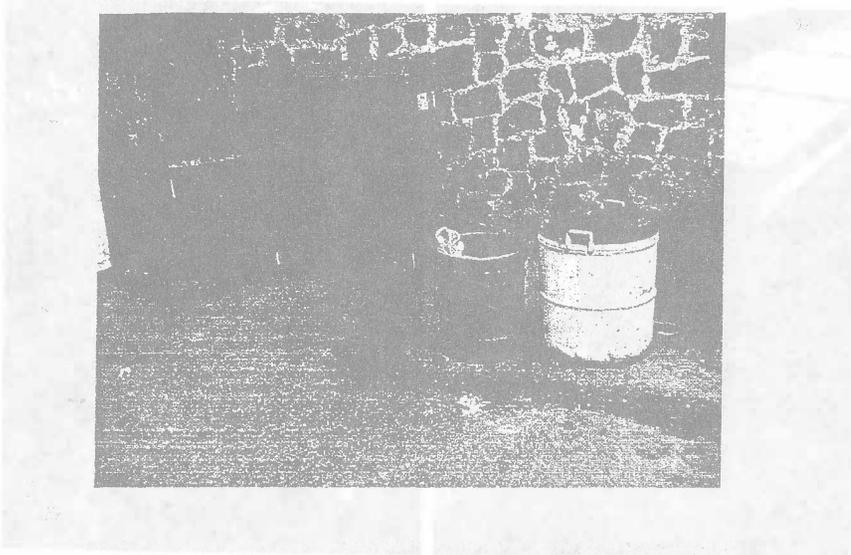
**El Reglamento de Construcciones del D.F.** establece el volumen mínimo a considerar en litros por habitante, por día para los edificios habitacionales con altura de más de cuatro pisos; en los edificios con usos no habitacionales el número mínimo de metros cuadrados requeridos para el almacenamiento está en razón del número de metros cuadrados construidos; a continuación se transcriben los artículos del citado Reglamento relacionados con el almacenamiento y eliminación de la basura.

Art. 85. Las edificaciones que requieran licencia de uso de suelo con dictamen aprobatorio, según lo que establece el artículo 53 de este Reglamento, con una altura de más de cuatro niveles, en lo que se refiere al almacenamiento y la eliminación de la basura, deberán observar lo dispuesto en las Normas Técnicas Complementarias.

Art. 86. Deberán ubicarse uno o varios locales para almacenar depósitos o bolsas de basura, ventilados y a prueba de roedores, en los siguientes casos y aplicando los índices mínimos de dimensionamiento:

- I. Conjuntos habitacionales con más de 50 viviendas, a razón de 40 lts./hab. y
- II. Otros usos no habitacionales con más de 500 m<sup>2</sup>, sin incluir estacionamientos, a razón de 0.01 m<sup>2</sup> por m<sup>2</sup> construido.

Art. 87. Las obras para almacenar residuos sólidos peligrosos, químico-tóxicos y radiactivos se ajustarán al presente Reglamento, a sus Normas Técnicas Complementarias y a Leyes y Reglamentos aplicables.



Art. 88. Las edificaciones que produzcan contaminación por humos, olores, gases y vapores, energía térmica o lumínica, ruidos y vibraciones, se sujetarán a lo dispuesto por las Leyes y Reglamentos aplicables en materia de contaminación ambiental

#### 4.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS RECIPIENTES Y CONTENEDORES

##### Características de los recipientes

1. Tener el volumen adecuado para almacenar los residuos sólidos en el tiempo requerido
2. Resistentes y duraderos
3. Maniobrables (manual o mecánicamente)
4. Agradables estéticamente
5. Económicos
6. Seguros e higiénicos
7. Fácil de limpiar y mantener

En los cuadros 4.3, 4.4 y 4.5 se muestran las principales características, tamaños y aplicaciones de los diferentes tipos de recipientes.

##### RECIPIENTES ( tipo, tamaño y material)

1. Cajas de cartón.

Al humedecerse se rompen fácilmente, pudiendo quedar los residuos sólidos tirados en la calle, con ellos se crea un problema sanitario y estético y se aumenta el tiempo de recolección, elevándose los costos. Su uso debe prohibirse.

2. Cajones de madera.

Aunque son algo más resistentes, también permiten que los residuos sólidos se desparramen por el suelo y se presenten los mismos problemas que con las cajas de cartón, deben prohibirse en igual forma.

3. Tambos de 200 litros.

Son muy empleados, pero su peso excesivo genera accidentes frecuentes entre los que tienen que cargarlos, especialmente lesiones en la espalda, en la columna, golpes en las manos y pies.

4. Tambos de 200 litros cortados a la mitad.

Aceptable siempre que se eliminen los bordes cortados que se les dote de tapa y asas, sin embargo, lo mejor es usar receptáculos tronco-cónicos, de metal o

plástico, con una capacidad de 60 a 100 litros especialmente para servir de depósitos de residuos sólidos, cuentan con tapa y agarraderas a los lados.

#### 5. Bolsas de plástico.

Generalmente fabricadas con plástico de baja densidad, se fabrican con capacidad de 30 a 100 litros y espesores de 0.04 a 0.08 mm. Sus características son óptimas e igualmente la facilidad para su traslado y carga, el único inconveniente es su costo para el ama de casa, pero es recomendable estudiar si la economía total que se tiene en el servicio por la facilidad de su traslado y carga, permitiese financiar la compra de bolsas.

#### Recomendaciones:

Para mejorar el servicio debe hacerse, en forma gradual, la prohibición del uso de cajas de cartón y tambos de 200 litros, tomando en consideración el nivel socioeconómico de los diferentes sectores de la población, debiéndose comenzar por las áreas de mayores ingresos, dando plazos mayores a los sectores de menores ingresos, es preciso dar suficiente publicidad al cambio, incluso distribuyendo avisos casa por casa. Posteriormente hay que hacer cumplir los ordenamientos, para ello se puede considerar un equipo de inspectores municipales, incluso podrían aplicarse multas a los infractores.

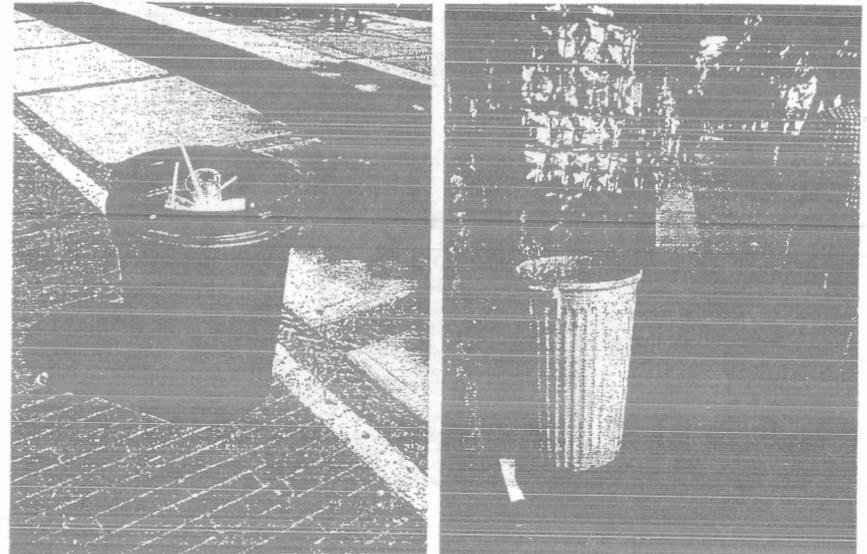
Se hace necesario, cada vez con mayor urgencia la normalización por parte de los Municipios de los recipientes o bolsas que deben utilizar los usuarios del servicio, debido a la influencia que tiene en el costo del mismo y en los sistemas técnicos y sanitarios a adoptar en la recolección.

#### CONTENEDORES

**De gran capacidad,** pueden ser abiertos o cerrados, en este caso cuentan con equipo autocompactor que permite una reducción de 2/3 del volumen original de los residuos.

Construidos con chapas de acero reforzadas por largueros del mismo material, disponen de puntos de enganche delanteros y traseros que permiten su carga en vehículos especiales que van equipados con elevadores tipo "cadenas". Dadas las características de estos vehículos hay que prever su acceso a la plataforma en que están ubicados los contenedores.

Los recipientes abiertos sirven para depositar residuos voluminosos (electrodomésticos, muebles, etc., así como escombros, embalajes y materiales diversos), mientras que los contenedores cerrados, que disponen de autocompactor, se utilizan en los grandes conjuntos de viviendas, mercados, hospitales, etc., para depositar los residuos ordinarios y actúan como pequeñas

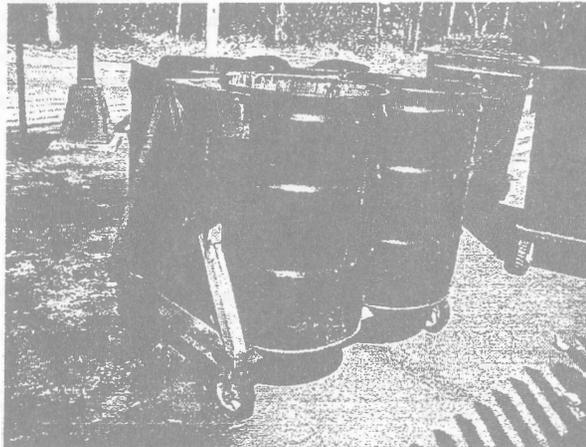
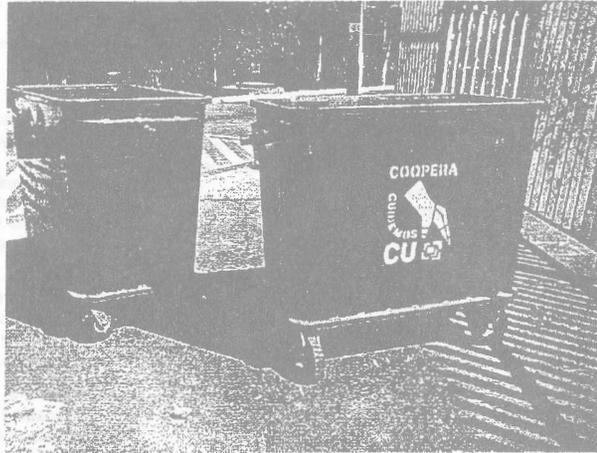


estaciones de transferencia reduciéndose el número de transportes hasta los centros de tratamiento. La capacidad de estos contenedores varía entre 5,000 a 30,000 litros.

**Para recolección selectiva:** Estos contenedores pueden tener diversas formas y generalmente se fabrican en polietileno inyectado de alta densidad.

Están concebidos para recibir exclusivamente un solo tipo de residuo: vidrio, latas, cartones, papeles, plásticos, etc., por lo que se instalan en sectores estratégicos de la ciudad para favorecer la recolección selectiva de aquellos residuos que es conveniente someter a procesos de recuperación.

A continuación y en forma general se presentan los cuadros 4.3, 4.4 y 4.5 donde se pueden obtener datos sobre los tipos y tamaños de recipientes utilizados para el almacenamiento "in situ" de residuos sólidos, sus aplicaciones típicas y sus limitaciones.



Cuadro 4.3  
Recipientes comunes para la presentación de los RSM

RECIPIENTE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Caja de cartón	<ul style="list-style-type: none"> <li>- económica</li> <li>- poco peso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil de destruirse</li> <li>- Volumen inadecuado</li> <li>- Difícil manejo</li> <li>- Su estructura es fácilmente modificable por la humedad de los desechos sólidos</li> </ul>
Caja de madera	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Económica</li> <li>- Estructura mas o menos sólida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil de deteriorarse</li> <li>- Provoca accidentes a los miembros de la cuadrilla</li> <li>- Facilidad para que los desechos sólidos se dispersen</li> <li>- Volumen inadecuado</li> <li>- Difícil manejo</li> </ul>
Botes de lámina con tapa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil manejo</li> <li>- Mantiene condiciones razonablemente sanitarias</li> <li>- Disminuye el ruido</li> <li>- Tienen un peso ligero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura no muy sólida</li> </ul>
Bolsa de papel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducen tiempo de recolección</li> <li>- Económica</li> <li>- Poco peso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen inadecuado</li> <li>- Se rompen fácilmente</li> <li>- Es fácilmente perforada por materiales punzocortantes que pueden estar contenidos en los desechos sólidos</li> <li>- Su estructura es fácilmente afectada por la humedad de los desechos sólidos</li> </ul>
Bolsa de plástico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil manejo</li> <li>- Disminuyen el tiempo de recolección</li> <li>- Economía</li> <li>- Mantiene condiciones sanitarias</li> <li>- Tiene un peso ligero</li> <li>- Disminuye el ruido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es fácilmente perforada por materiales punzocortantes que pueden estar contenidos en los desechos sólidos</li> <li>- Volumen inadecuado</li> </ul>

Cuadro. 4.4 Tipos y tamaños de recipientes para el almacenamiento in situ de residuos sólidos

TIPO	UNIDAD	RANGO	TÍPICO	UNIDA D	TÍPICO
Pequeño					
Recipiente plástico o metal galvanizado	Litros	75-151	114	cm	51D.66A(114lts)
Barril plástico, aluminio o fibra	Litros	76-246	114	cm	idem
Bolsas de papel desechables estándar	Litros	76-208	114	cm	38An 30P 102A(114 lts)
Bolsas de papel desechables resistentes a escapes	Litros	76-208	114	cm	46An 102A (114 lts)
Bolsas de papel desechables a prueba de escapes	Litros	76-208	114	cm	76An102A (114 lts)
Mediano					
Contenedor	Litros	765-7.650	3.059	cm	183An1007P 165* (3,059 lts)
Grande					
Contenedor descubierto roll-off (también llamado cajas de escombros)	Litros	9 176 38 2235	-b	M	2.45An 1.83 A 6L (26,765 lts)
Contenedor utilizado como compactador estacionario	Litros	15 294.30.588	-b	M	2.45 An 1.83A 5.49 L(22,940lts)
Contenedor equipado con mecanismo propio de compactación	Litros	15 294.30.588	-b	M	2.4 An 1.83 A 6.71 L (22,941 lts)
Contenedor montado en trailer descubierto	Litros	15 294.38 235	-b	M	2.45 An 3.66A 6 L (26,765 lts)
Contenedor montado en trailer cerrado, equipado con mecanismo propio de compactación	Litros	1594-3058	-b	M	745An 1.63A 7.32L (26,765 lts)

D= Diámetro A= altura L= longitud An=anchura P=profundidad. El tamaño varía según las características de los residuos y las condiciones locales.

Tabla obtenida del capítulo 7 del libro "Gestión integral de residuos sólidos" G. Thcobanoglous, H. Theisen y S. Vigil.

Cuadro 4.5 Aplicaciones comunes y limitaciones de recipientes para el almacenamiento "in situ" de residuos sólidos

Tipo de recipiente	Aplicaciones	Limitaciones
Pequeño recipiente plástico, metal o galvanizado	Fuentes de residuos de volumen muy bajo, tales como viviendas individuales, caminos en parques y pequeños establecimientos de comercios aislados Zonas residenciales de baja altura	Con el paso del tiempo se dañan y se degrada el aspecto y la capacidad de los contenedores. Los contenedores añaden peso extra durante la operación de recolección y no son lo suficientemente grandes para recoger artículos voluminosos
Bolsas de papel	Casas aisladas, puede usarse solo o como forro dentro de un contenedor doméstico. Zonas residenciales	El almacenamiento en bolsas es mas caro. Si se colocan las bolsas en la calle o en la acera los perros la romper y esparcen su contenido
Bolsas de plástico desechable	Casas aisladas con servicio de recolección. Puede usarse solo o como forro de contenedores domésticos y almacenamiento. Útiles para residuos de comida húmedos dentro de contenedores domésticos y comerciales. Zonas residenciales de altura baja y mediana, zonas industriales y comerciales	El almacenamiento en bolsas es mas caro y las bolsas se rompen fácilmente produciendo caída de basura y condiciones desagradables. Con clima muy frío las bolsas se fragilizan, provocando su rotura y la durabilidad del plástico produce problemas posteriores de evacuación. Las bolsas se estiran y se rompen en climas calientes
Contenedor mediano	Fuentes de residuos de volumen mediano que también pueden incluir residuos voluminosos. Debe seleccionarse la localización para el acceso directo de los camiones de recolección. Zonas residenciales de alta densidad, zonas comerciales e industriales	La nieve dentro de los recipientes forma hielo que disminuye la capacidad y aumenta el peso. Es difícil llegar a los contenedores después de nevadas fuertes.
Contenedor mediano	Zonas comerciales de altos volúmenes. Residuos voluminosos en zonas industriales, zonas rurales de baja densidad. La localización deberá estar en una zona cubierta pero con acceso directo para los camiones	Los costos iniciales son altos. La nieve dentro del contenedor podrá bajar su capacidad.

Tabla obtenida del capítulo 7 del libro "Gestión integral de residuos sólidos" G. Thcobanoglous, H. Theisen y S. Vigil

### CARACTERÍSTICAS DE LA INFRAESTRUCTURA PARA ACOPIO, TRASBORDO Y ACONDICIONAMIENTO EN GRANDES CENTROS GENERADORES

El área de acopio y trasbordo es donde se transfieren los residuos comunes y subproductos reciclables generados, de los contenedores móviles a contenedores de 16 m<sup>3</sup>.

La zona deberá tener las siguientes características:

- Se instalará un elevador de plataforma para subir los contenedores de 100 y 200 litros.

- El piso deberá contar con una pendiente del 2% que permita el escurrimiento del agua hacia el drenaje que se localiza en el área de contenedores.

- Para evitar la caída de los residuos dentro de la fosa, en la parte superior se colocarán estructuras metálicas a 45°, estas se levantarán con un sistema mecánico para facilitar las maniobras del vehículo recolector que tiene una capacidad de 16 toneladas que engancha y levanta el contenedor móvil con sistema roll on-roll off de PVC.

- En el andén de descarga se colocará un tubo perimetral para apoyar los contenedores y verterlos dentro del contenedor para evitar el riesgo de que el contenedor caiga en el depósito.

- Contará con un área destinada para el almacenamiento de subproductos reciclables en la que se instalará una prensa hidráulica para el flejado de papel y cartón.

- Sistema de agua a presión para la limpieza del sitio y contenedores.

- Iluminación de tipo industrial con lámparas fluorescentes a una distancia de 2 m entre sí.

- Ventilación y un sistema captador de polvos.

- Se deberá establecer un programa de acopio y trasbordo.

- Al término de las actividades se realizará la limpieza del área.

- Se establecerá mensualmente un programa de fumigación de esta zona.

- No se permitirá la pepena en el sitio.

- Al salir los contenedores deberán cubrirse adecuadamente para su traslado.

- El transporte de los residuos se realizará preferentemente en horarios nocturnos.

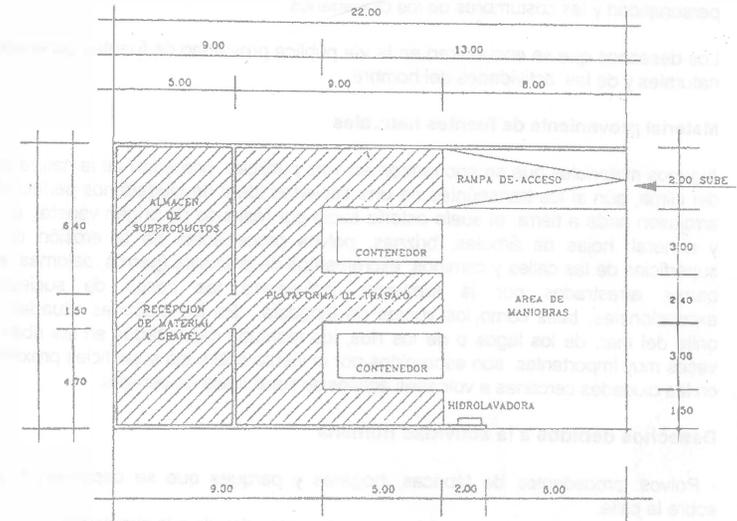


Fig. 4.1 Ejemplo de área de acopio y transferencia

## 4.5 LIMPIEZA DE CALLES Y ÁREAS PÚBLICAS

### GENERALIDADES

Resulta difícil definir lo que se entiende por una calle limpia, siempre se puede decir que una calle está limpia cuando no se ven en ella desperdicios de ninguna clase: arena, papeles, embalajes, hojas, manchas de aceite o de grasa, y que la cantidad de polvos que recubren los pavimentos no sobrepasa un límite razonable.

La limpieza deseable, respondiendo a parámetros de estética y de higiene, varía según la naturaleza de las vías, sus alrededores y las características de la sociedad, entre otros. Se puede exigir una calzada muy limpia delante de un bello monumento, pero por el contrario, tolerar cierta cantidad de polvo, e incluso hojas, en una calzada bordeada por un parque o un paseo de caballos.

Corresponde pues, a los responsables del servicio determinar el grado de limpieza de cada zona, para ello es conveniente considerar los diversos tipos de desperdicios

que ensucian la vía pública. El estado de las calles refleja en gran medida la personalidad y las costumbres de los ciudadanos.

Los desechos que se encuentran en la vía pública provienen de fuentes generadoras naturales y de las actividades del hombre.

#### Material proveniente de fuentes naturales

Algunos materiales que se encuentran en vías públicas proceden de la naturaleza y del clima, aún si los transeúntes de una sociedad ideal de ciudadanos perfectos no arrojasen nada a tierra, el suelo estaría sucio por residuos de origen vegetal, animal y mineral: hojas de árboles, briznas, polvos procedentes de la erosión de las superficies de las calles y caminos, excrementos de animales (perros, palomas, etc.), barros arrastrados por la tormenta, incluyendo los casos de suciedades excepcionales, tales como los vuelos de langosta. En las ciudades situadas a la orilla del mar, de los lagos o de los ríos, los residuos depositados en las riberas a veces muy importantes, son esparcidos por el viento sobre las superficies próximas y en las ciudades cercanas a volcanes activos se tiene lluvia de cenizas.

#### Desechos debidos a la actividad humana

- Polvos: procedentes de fábricas, hogares y parques que se depositan o caen sobre la calle.
- Desgaste de pavimento, neumáticos, zapatos, etc., debido a la circulación.
- Derrames de vehículos como aceites, grasas, gasolina, trapos.
- Cubos de basura rebosantes o mal cerrados.
- Detritus y residuos diversos como papeles, embalajes, periódicos, volantes, prospectos, sacos de azúcar, vasitos de helado, boletos de transporte colectivo, etc., cuyas cantidades aumentan con los pequeños gastos de la población y están en función de su prosperidad.
- Contaminaciones accidentales procedentes de accidentes de circulación, pérdidas de mercancías y otros.
- Desechos peatonales, son los arrojados por las personas como: colillas de cigarro, envases, envolturas de artículos.
- Desechos domiciliarios, que por una u otra causa son depositados en las vías públicas.
- Desechos arrojados por los vehículos como: arenas, hule, derrames accidentales de cargas transportadas, arcillas, polvo o todos pegados en las llantas.

La composición de estos desechos es muy variada, podemos encontrar: Papel, cartón, trapo, vidrio, madera, materia orgánica, plásticos, piedras, grava, cemento, tierra, materia fecal, hojas, colillas de cigarro.

#### Cantidades medias de residuos barridos

#### Cantidades medias de residuos barridos

Estas cantidades pueden ser muy variables según las localidades, por lo cual las cifras deben determinarse en investigaciones específicas para cada caso. En general dependen del modo de limpieza empleado y de lo que se entienda en cada ciudad por la palabra "barrido".

En el cálculo es preciso incluir o considerar por ejemplo, las arenas arrastradas por las lluvias muy fuertes y que proceden de zonas altas de la ciudad que no tienen pavimento.

En cualquier caso, en condiciones normales, se pueden contar aproximadamente de 3 a 5 grs/m<sup>2</sup>/día sin gran riesgo de error.

Con la intención de mantener bajo el volumen de residuos, pueden darse algunas recomendaciones y disposiciones normativas para reducirlos de forma natural:

- En la elección de los tipos de árboles de las avenidas, conviene según el clima, sembrar coníferas, evitar los follajes muy voluminosos y coriáceos, así como los árboles que dan frutos pesados o que desprenden suciedad.
- Evitar en las calles la aportación de arena y tierra procedente de las vías secundarias adyacentes o de las vías privadas de tierra batida: el desagüe de las aguas pluviales procedentes de estas vías debe hacerse en la red de evacuación de aguas pluviales y en caso de imposibilidad hacerlo mediante estanques de arena antes de su vertido en las cunetas.
- Atraer la atención del servicio de control de vehículos automóviles y particularmente de los vehículos pesados sobre las pérdidas de aceites y grasas debidas al mal estado de los vehículos.
- Exigir el empleo de recipientes cerrados para los residuos, prohibir su presencia prolongada sobre las aceras y tender a la generalización de los procedimientos de recolección que eviten todo vertido de residuos y polvo sobre las calzadas.
- Prohibir el vertido sobre las aceras de los productos de barrido de las tiendas o de limpiezas domiciliarias.
- Colocar papeleras a disposición de los peatones con objeto de hacer más efectivas las prohibiciones de arrojar sobre la calzada papeles, periódicos viejos y todo otro tipo de residuos.
- Prohibición de publicidad por lanzamiento sobre la vía pública de octavillas publicitarias, folletos, trípticos y todo tipo de volantes, además imponer reglas precisas a los anunciantes.
- Exigir que los vehículos que transportan escombros procedentes de desmontes estén provistos de cajas estancas en buen estado y que las ruedas de éstos vehículos sean lavadas a la salida de las obras cuando allí se tenga barro.
- Adoptar disposiciones para que los trabajos de toda índole que se efectúen en los inmuebles, tanto en el interior como en el exterior, no ensucien la vía pública ni depositen sus desechos en ella.
- Evitar los mercados al aire libre, si esto no es posible, poner a disposición de los comerciantes y usuarios los recipientes o sacos destinados a recibir los desperdicios.

• Evitar los mercados al aire libre, si esto no es posible, poner a disposición de los comerciantes y usuarios los recipientes o sacos destinados a recibir los desperdicios.

#### TIPOS DE BARRIDO

El barrido se puede efectuar por dos métodos: **manual y mecánico**

#### 4.6 BARRIDO MANUAL

El barrido manual se puede llevar a cabo de forma individual o por medio de cuadrillas.

##### Barrido individual

En este caso la persona encargada del barrido deja su carrito cerca de la esquina de la cuadra que esta barriendo, y barre un tramo de la cuadra formando un montón de desechos cada vez que lo considere conveniente, regresando por su carrito para levantarlos. Debe cuidarse que los desechos nunca pasen por encima de los enrejados de las alcantarillas para evitar que sean tapadas por los desechos.

##### Barrido por Cuadrillas

La cuadrilla se forma con dos hombres, uno se encarga del barrido propiamente dicho y el otro se encarga de mover el carrito y recoger los montones de desechos que le va dejando el otro miembro de la cuadrilla, los dos se turnan en estas actividades.

#### EQUIPO PARA PERSONAL DE BARRIDO

El personal de barrido manual debe utilizar el siguiente equipo:

- Uniforme de color llamativo, guantes de carnaza, mascarilla de protección de las vías respiratorias, casco y zapatos de seguridad.
- Carrito, el cual deberá tener un tamaño que sin ser una carga pesada para que lo empuje (sobre todo en topografía y pavimento accidentado), le permita hacer el mínimo de viajes al sitio de transferencia de los desechos sólidos. El depósito que lleva el carrito se aconseja pueda ser removido manualmente del chasis del mismo. La rueda deberá ser de preferencia neumática y de diámetro grande para tener menor resistencia al rodamiento; el carrito deberá contar con un lugar para llevar una escoba o cepillo, el recogedor y una pala.
- Escobas. Pueden ser de vara o de fibra, siendo los de vara apropiadas para suelos no pavimentados o cuando no se quiere barrer material fino como el polvo o

la arena. Las escobas, tienen generalmente el mango largo, lo que permite un barrido con movimientos laterales amplios, lo que representa un esfuerzo muscular menor.

d) Cepillos. Se utilizan en lugar de las escobas cuando el terminado deseado es importante, es decir, cuando se quiere recoger el material más fino.

La fibra recomendada tanto para escobas como para cepillos varían para cada caso, pero como norma general es conveniente usar las fibras locales o regionales por ser más económicas.

e) Recogedores. Se pueden utilizar dos láminas, que barriendo el suelo se aproxima una a la otra, teniendo la dificultad de que el operario se tiene que agachar durante la operación. Existen también recogedores de mango largo que evitan lo anterior. En ocasiones una pala se usa como recogedor, sobre todo cuando se tiene que recoger una gran cantidad de desechos.

#### RENDIMIENTOS Y FRECUENCIA DEL BARRIDO

La importancia y la frecuencia del barrido de calle están en función de la proporción del gasto que la municipalidad destina a mantener la limpieza de su ciudad.

Algunas ciudades se organizan distinguiendo varias categorías o clases de calles escalonadas en orden decreciente, teniendo en cuenta criterios como los siguientes:

- Importancia de la calle y de su tráfico según las horas
- Ancho de las calles y de las aceras
- Nivel de limpieza deseado
- Cantidad de residuos y de material que habitualmente ensucia en la zona
- Presupuesto disponible para mano de obra y herramientas

En general las calles suelen clasificarse en categorías, en función de: su importancia, del tráfico, de la actividad dominante, de las suciedades que son su consecuencia y, en definitiva de la amplitud de las operaciones de limpieza que exigen.

Por ejemplo lo que recomienda CEPIS para la distribución, dividir las en cinco clases para las calles de una determinada ciudad.

- clase. Calles comerciales de tráfico intenso (1 a 2 limpiezas por día)
- clase. Vías residenciales de tráfico comercial muy activo (1 limpieza por día)
- clase. Calle de viviendas de alta densidad (1 limpieza cada 2 días)
- clase. Calle de viviendas de densidad media (1 limpieza por semana)
- clase. Avenidas con villas y jardines (1 limpieza por quincena)

Tal clasificación es necesaria en todas las ciudades en que la aglomeración presenta alguna importancia, realmente es casi siempre empírica, pues esta en función de

numerosos factores como: longitudes de calles a limpiar, las dificultades encontradas en ellas y otros factores propios de cada lugar.

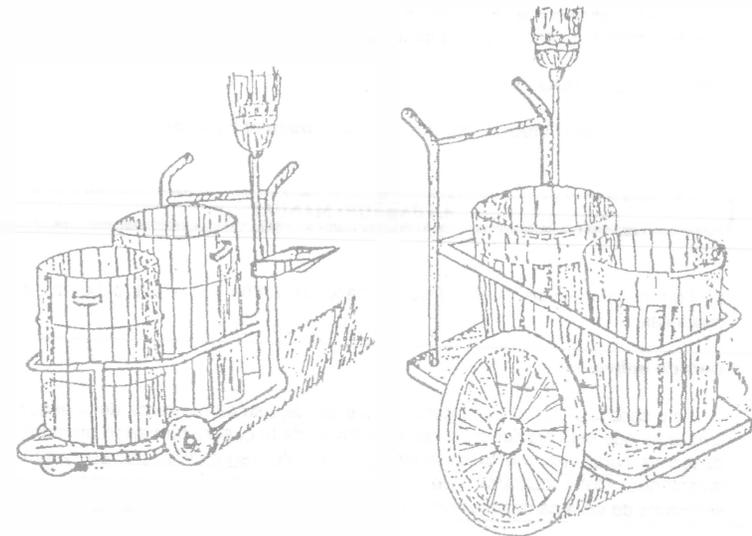
En México, generalmente se recomienda la frecuencia de barrido mostrada en el cuadro 4.6.

Para efectos de barrido en las ciudades grandes se recomienda dividir las zonas, de tal forma que cada una de éstas pueda ser atendida por 20 a 24 barrenderos, para evitar que el transporte de los desechos de la ruta al centro de transferencia sea mayor de 2 Km. El cálculo del número de operarios en cada zona debe estimarse con base al rendimiento promedio del barrendero y la frecuencia de barrido.

El rendimiento depende de muchos factores, entre ellos los siguientes: la cantidad de desechos por longitud de ruta, el pavimento, la pendiente, el tráfico, vehículos estacionados y los tiempos muertos de transporte. Un hombre debe barrer entre 2 y 4 Kms lineales de guarrión o sea de 1 a 2 Kms. lineales por ambos lados.

Cuadro 4.6 Frecuencia de barrido recomendada en México

DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA DE BARRIDO
Principal zona comercial	3 veces al día
Zona de mercados	3 veces al día
Centro de la ciudad	2 veces al día
Zonas comerciales suburbanas	2 veces al día
Calles secundarias del centro de la ciudad	1 vez al día
Calles principales suburbanas	1 vez al día



CARRITO RUEDA CHICA

CARRITO RUEDA GRANDE

Para evitar interferencias con vehículos estacionados al lado de las guarriónes, el municipio deberá establecer los días y horarios de barrido, se recomienda que sea nocturno en zonas comerciales y diurno en zonas habitacionales. Las fechas y horarios deberán darse a conocer a la población a servir, se recomienda poner el día y horarios en carteles colocados en los postes del alumbrado público o por medio de anuncios en radio y en periódicos locales.

La operación de transferencia, o sea cuando el personal de barrido manual entrega su carrito para que sea vaciado, puede realizarse de diferentes formas:

- Tener en el lugar de transferencia un vehículo en el cual se vierten directamente los desechos sólidos de los carritos que traen el personal de barrido manual.
- Almacenar los desechos en contenedores colocados en el lugar de transferencia, y vaciarlos mecánicamente a un vehículo con dispositivos para realizar dicha operación, o bien que pase un vehículo y remolque los contenedores hasta el sitio de disposición final.

## LEGISLACION LOCAL RELACIONADA CON EL BARRIDO

El Reglamento para el Servicio de Limpia en el D.F., cuya copia completa se anexa en el capítulo 10, publicado en el DOF el 27 de julio de 1989, establece:

**Artículo 11.** El servicio de limpia comprende:

- I. El barrido de vías públicas y áreas comunes;
- II La recolección de residuos sólidos y
- III El diseño, instrumentación y operación de sistemas de almacenamiento, transporte, reuso, tratamiento y disposición final de dichos residuos.

**Artículo 12.** El barrido de vías públicas y áreas comunes se hará por lo menos tres veces por semana, conforme a los horarios que señale el Departamento, los cuales deberán fijarse preferentemente entre las 22.00 horas y 14:00 horas del día siguiente

## MICRODISEÑO DE RUTAS

El microdiseño consistirá en el trazo de la ruta que deberá barrer cada uno de los hombres para cubrir la zona. En el trazo de éstas se deberán minimizar los tiempos muertos o de transporte.

Para el trazo de la microruta se hacen las siguientes recomendaciones:

- Empezar la ruta en el punto más alejando y trazarla hacia la estación de trasbordo
- Cuando se tienen topografías accidentadas la ruta se debe trazar de arriba hacia abajo.
- Escoger los horarios y frecuencia adecuadas para cada zona.
- Evitar que un barrendero pase más de una vez por el mismo lugar.
- De ser posible y con el objeto de minimizar tiempos muertos, se procurará evitar la estación de transferencia haciendo coincidir el momento en que el carrito de barrido esté lleno, con la presencia de un vehículo especialmente adaptado para verter los desechos; el barrendero luego que su carrito es vaciado continúa su ruta. Las rutas pueden ser lineales, o sea que un hombre le toque barrer una sola avenida, o compactas por manzanas.

## 4.7 BARRIDO MECÁNICO

Consiste en el barrido de las vías públicas mediante equipo mecánico. Este método se efectúa con la misma frecuencia y en las mismas zonas en que puede efectuarse el barrido manual.

Desde el punto de vista económico el uso del barrido manual o mecánico debe ser objeto de un análisis de costos unitarios y desde el punto de vista social el análisis debe hacerse con relación a la creación y mantenimiento de empleos

## EQUIPO

Existen varios tamaños de barredoras que van desde pequeñas máquinas para pavimentos peatonales hasta grandes barredoras de cunetas que usualmente tienen un motor auxiliar para proporcionar succión.

## a) Barredoras de 3 Ruedas.

Tienen al frente dos cepillos de fibra de acero, de eje vertical, cuya función es llevar los desechos hasta el centro de la barredora donde hay una mampara. Posteriormente tiene un cepillo de eje horizontal con fibra natural o sintética, y que gira en contra del movimiento de la máquina, recoge los desechos y los coloca en un transportador inclinado de tablillas, que las eleva al depósito. El depósito para descargarse, puede elevar los desechos y descargarlos a un vehículo como si fuera un cargador frontal. Las cargas o depósitos pueden ser de 1 a 5 m<sup>3</sup>. Tienen también un depósito de agua para regar al frente y evitar así que los cepillos levanten polvo. El volumen del depósito de agua es de alrededor de un metro cúbico y se gastan entre uno y dos tanques por jornada dependiendo del clima, y de la ruta, por lo que habrá que localizar en la ruta un lugar donde puedan cargar agua para evitar un regreso al garaje. Las velocidades de desplazamiento son lentas, por lo que es aconsejable que los garajes o estaciones de trasbordo no disten más de media hora de las rutas según las características de la ruta, frecuencia, el tipo de desecho y el tamaño de la tolva de almacenamiento, las barredoras llenarían esta última de 1 a 2 veces por turno, por lo que en caso necesario y si la distancia a la estación es muy larga, debería encontrar un vehículo de volteo en algún punto de su ruta para permitirle vaciar la tolva.

## b) Barredora de cuatro ruedas con escobas.

Funcionan bajo los mismos principios que las anteriores, con la única excepción de tener velocidades de traslado y operación mucho mayores ya que operan únicamente en vías rápidas donde no hay autos estacionados.

## DISEÑO DE BARRIDO MECÁNICO

Tanto el macro como el microdiseño de las rutas deben seguir guardando las debidas proporciones, y las mismas reglas que el barrido manual complementándose generalmente el uno al otro.

## VENTAJAS Y DESVENTAJAS

## a) Ventajas

- Tiene menos problemas de administración que el barrido manual, pues una barredora sustituye de 10 a 20 hombres barrenderos, dependiendo de su tamaño.
- Se emplea en caminos urbanos abiertos y en vías rápidas donde el barrido manual es peligroso.

## b) Desventajas

- Alto costo de las barredoras
- Difícil y costosas reparaciones
- Las barredoras están sujetas a daños secundarios por objetos pesados depositados en el camino o al recorrer caminos accidentados.

## PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE BARRIDO

De la planeación del sistema dependerá el éxito o fracaso del mismo, por lo que esta fase debe ser estudiada, analizada y evaluada de forma exhaustiva, considerando que cumplan con los requisitos de eficiencia y bajo costo en los municipios del país.

La planeación del **qué, cómo, cuándo y donde** se va a barrer, es quizá la parte más importante antes de pensar en el diseño y la operación del sistema, ya que de esta parte saldrán los lineamientos y parámetros para las etapas posteriores.

El conocimiento de **qué y donde** se tiene que barrer para mantener la imagen de una ciudad limpia, depende de factores políticos, sociales y económicos de la localidad, los cuales tendrán que conjugarse para elaborar la planeación del sistema.

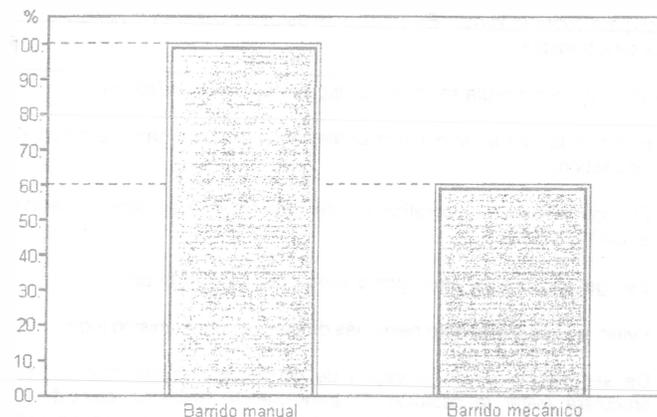
Puede darse el caso de localidades en las que sea necesario barrer la plaza principal y las calles que la circundan, pero habrá otros casos en que la selección de las zonas de barrido sea más extensa y que incluyan avenidas, vías rápidas y plazas principales de la ciudad

Para la planeación del sistema se debe contestar lo siguiente:

1. Qué zonas prioritarias se deben incluir en el sistema (mercados, palacio municipal, gobierno, zona comercial, etc.)
2. Cuales son las calles de mayor tránsito
3. Qué sitios históricos debe dársele prioridad

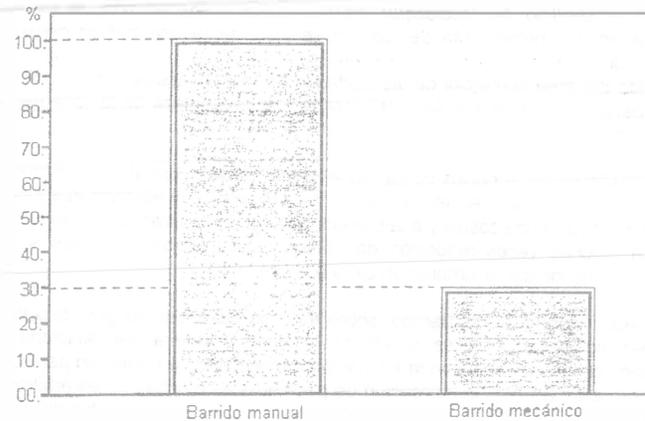
4. Cuales son zonas y lugares turísticos
5. Delimitar el primer cuadro o la zona del centro de la ciudad.
6. Problemas de vehículos estacionados (para el barrido).
7. Presupuesto con que se cuenta
8. Personal actual.
9. Equipo actual.
10. Lo que establece el Bando de Policía y Buen Gobierno o el Reglamento

Es importante considerar que el tipo de barrido influye también en el costo del servicio, en algunos lugares es más económico el barrido mecánico. En las siguientes figuras se muestra la comparación hecha por la CETESB de Sao Paulo (Brasil) referente al costo de barrido. En la primera figura se muestra el costo de barrido por metro lineal, donde se observa que el barrido mecánico cuesta cerca de un 40% menos que el barrido manual y en la segunda figura la comparación es hecha a base del costo por km<sup>2</sup> de barrido, que el barrido manual cubre únicamente un ancho de 0.60 m de la cuneta y que la máquina puede barrer hasta 1.90 m de ancho. La diferencia en este caso es del 75% menos que el barrido manual.



COSTO POR Km LINEAL DE BARRIDO

Fuente: Limpieza Pública LA. 09 Varricao Publica, CETESB



#### COSTO POR Km² DE BARRIDO

Fuente: Limpieza Pública LA. 09 Varricao Publica, CETESB

En lugares donde es difícil conseguir mano de obra barata, lógicamente el costo del barrido mecánico resultará más económico y en lugares en que existe falta de empleos seguramente el costo social puede ser alto.

Se debe considerar, además, las facilidades que se puedan encontrar en las vías para uno u otro sistema, cuando las calles son estrechas, con muchos obstáculos, se dificulta el barrido mecánico. Un ejemplo de ello lo tenemos en el barrido del centro de la ciudad de Santiago de Chile, donde el barrido mecánico resulta más costoso que el barrido manual.

BARRIDO DE CALLES	
<b>MANUAL</b>	
- Eficiencia personal	1-2Km/día
- Requerimiento personal	0.4 – 0.8 Trbj /1,000 hab.
- Costos	0.5 - 1.5 \$/ Km
<b>MECANICA</b>	
- Uso intensivo	Sólo en México
- Uso mediano	Brasil, Colombia, Chile, Ecuador y Venezuela

#### PROBLEMAS PARA MANTENER LIMPIA LA VIA PUBLICA

A menudo se observan inconvenientes para mantener la limpieza de las calles relacionados con el tipo de calzadas, los materiales que la constituyen o con obstáculos que suelen colocarse en las banquetas (aceras).

La limpieza y el lavado del "arroyo" de la calle, se facilita si su mantenimiento y sus pendientes, tanto longitudinal como transversal (bombeo) son adecuadas, también si se cuenta con pavimentos lisos, esto último puede oponerse a las necesidades de la circulación que exigen pavimentos rugosos, antiderrapantes, por ello el ingeniero deberá esforzarse para conciliar las dos exigencias de los pavimentos: antiderrapantes y que hagan fácil y eficaz la limpieza. Por ejemplo, los pavimentos de concreto asfáltico con granulometría bastante tupida presentan una rugosidad suficiente y son adecuados para la limpieza.

Es conveniente que las cunetas sean completamente lisas, para facilitar la circulación y que estén realizadas con concreto simple o armado, o con materiales prefabricados lisos o asfaltados. También conviene vigilar que la pendiente longitudinal de las cunetas sea suficiente para asegurar la evacuación de las aguas de lluvia o de lavado, no se deben utilizar pendientes menores de 1 cm por metro (1%) para evitar los charcos debido a ligeros e inevitables obstrucciones (con una leve variación de la convexidad de la calle, la pendiente de la cuneta puede ser mas fuerte que la del eje de la calzada).

Las mismas banquetas (aceras) deben presentar cierto grado de rugosidad para evitar resbalones en tiempos de lluvia. La gama de pavimentos está bastante extendida: asfálticos en frío o caliente, materiales prefabricados, cemento rugoso, las baldosas de piedra o de cemento son igualmente convenientes.

Por otra parte, los obstáculos naturales o los artificiales que constituyen los diversos equipos de la vía pública y su "mobiliario", suelen transformarse en un estorbo muy serio para el barrido manual o mecánico.

A modo de ejemplo podemos citar:

- Rieles del tranvía, luces empotradas.
- Árboles y las rejillas en sus pies
- Arbotantes
- Postes de señalización y parquímetros
- Bocas de incendios y postes de policía-socorro
- Buzones, armarios de correos y telégrafos
- Señales de kilometraje
- Paneles publicitarios y objetos colocados por los comerciantes
- Terrazas de cafés, mostradores y quioscos diversos
- Paraderos o terminales para los transportes públicos, bancos, cabinas telefónicas, etc

Muy a menudo, los inconvenientes debidos a estos obstáculos podrían ser reducidos considerablemente con una mejor elección de sus emplazamientos o de su forma, por ejemplo, alrededor de los árboles, en ciertos casos es posible reemplazar la rejilla tradicional, (receptáculo de todas las suciedades), por una jardinera con flores, continua si es posible, limitada por un bordillo liso.

#### 4.8 EXPERIENCIAS EN LATINOAMERICA

El barrido de calles y áreas públicas se efectúa principalmente en las vías pavimentadas de intensa circulación peatonal. En la mayoría de las ciudades latinoamericanas el rendimiento del personal es de 1,0 a 2,0 km/día de calle (o sea 2,0 a 4,0 km de cuneta), se recogen de 30 a 90 kg de basura por kilómetro barrido y se requieren entre 0.4 y 0.8 barrenderos por cada 1.000 habitantes, dependiendo del apoyo del barrido mecánico, de la proporción de calles pavimentadas y no pavimentadas, del grado de dificultad del barrido y de la educación y cooperación de la comunidad. Hay ciudades con mayor grado de dificultad, como Río de Janeiro que requiere de la limpieza de playas. El barrido mecánico tiene costos más bajos pero implica desplazamiento de mano de obra en países con altos índices de desempleo. En Chile, 93% de las localidades urbanas (370 ciudades) cuentan con algún tipo de barrido y limpieza en vías públicas, estimándose que 80% de las calles pavimentadas son atendidas por tales servicios. El 50% de los servicios de barrido en ciudades con más de 50.000 habitantes ha sido concesionado a empresas privadas.

El reemplazo del barrido manual por el mecánico es un aspecto crítico que se sigue discutiendo en ALC por los conflictos sociales que ocasiona el despido de personal en países con altas tasas de desempleo. Mas aún, cuando el barrido manual absorbe un elevado número de trabajadores, sobre todo mujeres, que no están calificados para otros tipos de empleo. Es frecuente que muchos servicios municipales de aseo urbano utilicen hasta 50% de su fuerza laboral en el barrido de calles y áreas públicas.

Este servicio de barrido es frecuentemente costoso ya sea porque el barrido manual utiliza mano de obra intensiva o porque el barrido mecánico requiere equipo importado caro y personal operativo capacitado, se convierte en un componente muy importante en el presupuesto de los servicios de aseo urbano.

La mayoría de las ciudades con más de 200.000 habitantes utiliza en forma combinada personal de barrenderos y barrenderas mecánicas. Las ciudades con menos de 200.000 habitantes generalmente emplean barrido manual. Las ciudades grandes cubren con barrido mecánico 100% de las calles pavimentadas del centro. La falta o las deficiencias en el mantenimiento del equipo es el mayor obstáculo del barrido mecánico.

Cuando el servicio de recolección es ineficiente o inadecuado, la cantidad de residuos sólidos proveniente del barrido se incrementa con basura domiciliar o residencial.

El barrido del área comercial de las ciudades es responsabilidad municipal, pero en varios países los residentes son responsables de la limpieza de la calle frente a su propiedad.

La concesión de los servicios de barrido al sector privado formal y microempresas es cada vez más frecuente en las ciudades de la Región, con ventajas interesantes en cuanto a reducción de costos y a la calidad del servicio. El traspaso al sector privado significa muchas veces reducción de personal, se suscitan conflictos sociales y violencia como los que ocurrieron en Lima durante 1996.

Un aspecto importante del barrido, sobre todo en las áreas de gran circulación de peatones donde además se concentra la venta callejera, se relaciona con la colocación de papeleras y con la educación ambiental de la población para cooperar con el servicio. En ALC la colocación de papeleras es muchas veces arbitraria y sin un plan determinado. Las campañas de educación sanitaria y ambiental no tienen continuidad, no se planifican ni tienen un respaldo en la educación formal ni en las organizaciones civiles de la comunidad, por lo cual no se obtienen los logros esperados.

En cuanto a los costos, para darnos una idea de lo que representa el barrido tanto manual como mecánico con relación a los otros aspectos del SAU, en el cuadro que se presenta a continuación se indican costos referenciales en los contratos de aseo urbano en México, según una ponencia presentada en el XXV Congreso de AIDIS celebrado en México en 1996.

SERVICIO	COSTO (en US\$)
Barrido manual	0.80-1.5 Kilómetro de calle
Barrido mecánico	0.25-0.5 Kilómetro de calle
Recolección	8.00-12.00 Tonelada
Relleno sanitario	4.00-8.00 Tonelada
Residuos médicos	0.3-0.8 Kilogramos

Fuente: Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe OPS/OMS. Washington 1998

#### 4.9 CONSIDERACIONES PARA UNA CIUDAD LIMPIA

Para mejorar el servicio de limpieza de las vías y áreas públicas son necesarias una serie de decisiones entre las que podemos citar la de mantener limpias las calles y el método para lograrlo. Se debe decidir sobre las funciones de limpieza a ejecutar, los lugares donde se hará la limpieza así como la frecuencia y cobertura del servicio, el método de barrido a utilizarse, colaboración de otros sectores como apoyo a las decisiones tomadas y la decisión del financiamiento del servicio.

Compete a la autoridad municipal tomar estas decisiones, las que deben estar basadas en fundamentos técnicos, y con la aceptación y participación ciudadana, de ahí la necesidad de contar en este sector con técnicos capacitados que conozcan y recomienden acciones técnico-económicas – sociales en beneficio de este servicio y de la comunidad.

#### Metodología para tener una ciudad limpia

La decisión de mantener una ciudad limpia debe venir acompañada de diversas medidas, en primer lugar es preciso que la recolección de basura se efectúe eficientemente, sin embargo, también es indispensable que se dicten ordenamientos que definan claramente las obligaciones del público, las que deben ser conocidas por éste. Tales ordenamientos tienen que prohibir:

- Tirar papeles, envases y basura de cualquier tipo en lugares públicos.
- Barrer el interior de las viviendas y locales comerciales hacia el exterior.
- Transportar materiales, y en especial tierra, de tal forma que se vayan cayendo de los vehículos.
- Efectuar en las vías públicas trabajos de mecánica que no sean de emergencia y por desperfectos leves, así como lavar vehículos en ellas.
- Quemar papeles, hojas o desperdicios en la vía pública.
- Sacudir alfombras, ropas y toda clase de objetos en la vía pública.

Para que se pueda exigir el cumplimiento de estas recomendaciones, se requiere instalar papeleros o depósitos para basura en las vías públicas, especialmente en los lugares en que circula gran cantidad de personas, estos depósitos para basura peatonal deben estar bien diseñados y ser funcionales.

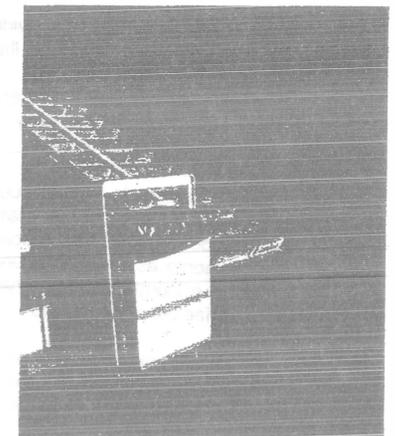
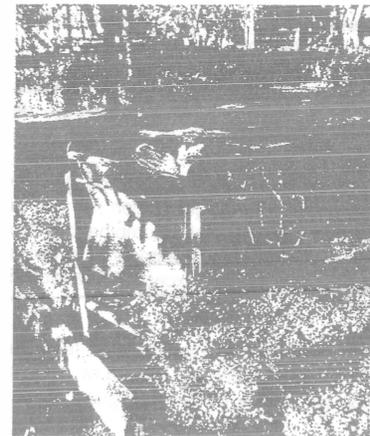
En algunas ciudades se instalan depósitos para la basura de diferentes capacidades tanto en los parques o sitios de reunión como en las aceras o banquetas, cuyas capacidades puedan variar y que están diseñados en forma funcional y agradable a la vista.

Es conveniente lograr el financiamiento de estos depósitos permitiéndose colocar propaganda de casas comerciales o de productos en venta, evitando los de bebidas alcohólicas o de cigarrillos, además es importante promover que los habitantes cobren conciencia para que cooperen utilizándolos y cuidándolos.

En general los papeleros o depósitos deben cumplir con los siguientes requisitos:

- La altura de la boca debe estar a 0.70 m del suelo (a la altura de la mano) para facilitar su uso.
- La boca debe ser de dimensiones grandes (alrededor de 0.35 m de diámetro) para evitar que al depositar un papel éste, caiga fuera.

- Para que los papeles no se vuelen con el viento es preferible hacer los papeleros bastante profundos y no ponerles tapa, ya que el público se resiste a empujar una tapa, que supone estará sucia (le da asco).
- El fondo de los papeleros debe tener algunas perforaciones para evitar que se llenen de agua cuando llueva, o de otro líquido.
- Deben ser fáciles de vaciar, por lo que requiere un mecanismo que permita que puedan voltearse girando sobre un eje horizontal sólo cuando va a ser vaciado.
- Deben estar sólidamente sujetos para evitar que sean robados. Los soportes tienen que ser resistentes para que golpes ocasionales y actos vandálicos no los doblen fácilmente.
- El color debe ser llamativo para atraer la vista pero que no altere la estética y las características intrínsecas del lugar donde se instala.
- El costo tiene que ser lo más accesible de acuerdo a la zona en que se ubique.
- Se deben colocar donde no obstruya el paso de peatones, por ejemplo al lado de un poste.
- Es necesario vaciar los papeleros una o más veces al día. De esta función podrán ocuparse los barrenderos del sector.
- Se deben colocar lo más cerca posible del paso de peatones, ya que es difícil que estos se desvíen de su camino para utilizarlas.



Finalmente, aún después de adoptarse las medidas antes señaladas, es necesario barrer las distintas vías y áreas públicas así como realizar la recolección de los desechos sólidos domésticos en forma eficiente y con frecuencias regulares.

### Funciones de limpieza por ejecutar

Otra decisión que debe tomarse es respecto a las funciones de limpieza que se deben prestar y a quién le compete esa responsabilidad en la vía pública, debiendo involucrar a la comunidad, en particular a los vecinos (particulares y comerciantes)

El barrido de las vías de circulación se debe hacer tanto en la de vehículos como en la de peatones. Hay que considerar que estas vías tienen normalmente tres superficies pavimentadas: el arroyo o calzada y las dos aceras o banquetas. Las aceras están un poco elevadas del arroyo y separadas de él por las guarniciones y por las cunetas

### RAZONES PARA EFECTUAR EL BARRIDO DE CALLES

1. - Los excrementos humanos y animales, así como la basura doméstica son dañinos para la salud y permiten el desarrollo de vectores que pueden transmitir enfermedades
2. - Si no se retiran los papeles, polvo, hojas, el aspecto de suciedad generalmente induce al público a tirar y seguir tirando todo tipo de basuras.
3. - El polvo afecta ojos, nariz, garganta y las vías respiratorias, también puede originar molestias de tipo alérgico, además puede ser peligroso para el tráfico.
4. - Algunos residuos cortantes (vidrio, metal, piedra, laja etc.) pueden producir lesiones a transeúntes y cortar llantas a los vehículos.
5. - Las basuras orgánicas muy secas pueden producir incendios, las húmedas pueden producir resbalones y caídas de las personas y hasta patinaje de vehículos.
6. - La acumulación de basura puede obstruir el drenaje del agua de lluvia y taponar las "cotaderas" ubicadas en las calles, mismas que deben permitir la entrada del agua de lluvia hacia el alcantarillado (pluvial o combinado), esto generalmente es causa de inundaciones. Por otra parte aumentan la carga orgánica e inorgánica del drenaje y puede presentarse exceso de azolve en las tuberías del alcantarillado.
7. - Las calles se deben limpiar por estética e imagen, ya que a nadie le gusta vivir en una ciudad sucia, además es un indicador de la cultura de sus habitantes y el vivir en una ciudad limpia es siempre motivo de orgullo

# INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

## CAPITULO 5 RECOLECCIÓN

- 5.1 CARACTERISTICAS GENERALES
- 5.2 EQUIPAMIENTO REQUERIDO
- 5.3 METODOS DE RECOLECCIÓN
- 5.4 RESPONSABILIDAD DE LOS QUE PARTICIPAN EN LA RECOLECCIÓN
- 5.5 FRECUENCIA DE LA RECOLECCIÓN
- 5.6 HORARIOS Y FORMAS DE TRABAJO DEL PERSONAL
- 5.7 SITUACION NACIONAL
- 5.8 SITUACION EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

### 5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

**Recolección.** Es la acción de transferir los residuos sólidos de las fuentes generadoras hasta el vehículo recolector.

La prestación del servicio de recolección, es una de las partes más caras de un sistema de manejo de residuos sólidos y una de las que presenta mayores oportunidades para la limitación de costos.

Los sistemas de recolección tienen la función de recorrer las áreas donde están ubicadas las fuentes de generación, recolectar los residuos sólidos municipales (RSM) y posteriormente transportarlos a los sistemas de transferencia, de tratamiento o de disposición final. Esta es una de las acciones relacionadas con la disminución de riesgos a la salud más importantes que se realiza en los Sistemas de Aseo Urbano (SAU), ya que debe minimizar el tiempo que los RSM permanecen en la fuente de generación.

La mayoría de los municipios y las delegaciones del Distrito Federal proporcionan y administran el servicio de recolección, sin embargo en algunas ciudades existen también recolectores privados, ya sea en el libre mercado o bajo concesión municipal, prestando el servicio de recolección a fuentes de generación de todo tipo.

En los primeros años de la década de 1990, se inició la prestación de estos servicios mediante la participación de la iniciativa privada siguiendo la modalidad de concesión. Así las ciudades de Puebla, Puebla; Torreón, Coahuila; Monterrey, Guadalupe y Santa Catarina, Nuevo León; Guadalajara, Jalisco; Mérida, Yucatán; Nuevo Laredo y Reynosa, Tamaulipas; Acapulco, Guerrero; Toluca y Metepec, México, Can Cun, Quintana Roo, reciben este tipo de servicio mediante contratos de concesión.

El costo de tonelada movida por este concepto es aproximadamente 90% del costo total del manejo, cuando se tiene una disposición final higiénica es uno de los factores que más influyen sobre el sistema, el cual deberá prever que el volumen acumulado de residuos sólidos no sea excesivo, y que el tiempo transcurrido desde la generación hasta la disposición final no exceda el ciclo de reproducción de la mosca.

Los servicios de recolección de residuos sólidos en zonas turísticas tienen que diseñarse en forma diferente a las otras ciudades, puesto que sus características, sobre todo sus hábitos son diferentes.

En los lugares turísticos puede presentarse una problemática específica, que es preciso estudiar, en relación con los siguientes aspectos:

- . Infraestructura urbana y urbanismo
- . Características de los residuos a recoger
- . Variaciones estacionales de la cantidad de residuos producidos
- . Volumen y densidad de población
- . Tipo de edificaciones
- . Sentido de circulación vial y tráfico
- . Anchura de las calles
- . Repercusiones posibles de la recogida nocturna
- . Distancia al centro de eliminación
- . Ordenanzas municipales

Partiendo de ello, puede estructurarse un servicio de recogida de residuos sólidos analizando la importancia que tiene la anchura de calles, tipo de edificaciones, densidad de los lugares a recoger, dirección de las calles, etc. Para elegir al tipo de vehículos recolectores más apropiados, y también la eventual conveniencia de realizar con carácter nocturno este tipo de servicio.

La característica de los residuos sólidos a recoger, no tiene en la actualidad mayor importancia, debido a la utilización por la mayoría de los municipios de vehículos recolectores compresores, ahora bien, es importante valorarlos a la hora de elegir el tipo de camión recolector, pudiendo señalar como características más importantes a tomar en cuenta:

- . Estanqueidad total, para evitar derrame de líquidos
- . Mayor índice de compresión, a fin de mejorar el rendimiento de los equipos
- . Rápida absorción de residuos
- . Bajo costo de mantenimiento
- . Seguridad de manejo
- . Compresibilidad de los residuos

Siempre que las características urbanas del lugar lo permitan, debe procurarse elegir recolectores de gran volumen de carga para evitar disminución del rendimiento que suponen los desplazamientos al centro de eliminación.

A la hora de elegir los equipos mas apropiados, se deberá tomar en cuenta, contar en el parque vehicular otros vehículos que realicen los servicios especiales ya que estos no pueden o no deben hacerse con camiones compresores, para servicios tales como recolectar animales muertos, productos sanitarios, derivados de actividades sanitarias y aquellos otros que por sus características no sea adecuada su compresión.

Dadas las condiciones económicas del país y los altos costos de adquisición y operación de los equipos, se hace necesario utilizar de la mejor manera posible los recursos con que se cuenta, estableciendo criterios técnicos para la adquisición, asignación y operación de

los equipos de recolección, evitando el uso irracional de dichos recursos.

Para la prestación de esta fase del SAU, las autoridades municipales generalmente cuentan con vehículos de recolección de diferentes tipos, estos vehículos están constituidos por el chasis cabina y por la caja, esta caja puede contener una serie de mecanismos para compactación o sin compactación como es el caso de camiones de volteo o los de redilas

Todos los tipos de vehículos pueden tener adaptaciones para dar servicio a contenedores y además existe otro tipo de vehículo que exclusivamente da servicio a contenedores son denominados Roll On, Roll Off, los hay de balancín o góndola, estos últimos son más utilizados en la industria de la construcción o para residuos de gran peso volumétrico

Desde hace tiempo para el servicio de recolección de RSM, se ha utilizado en las periferias de las grandes ciudades o áreas metropolitanas y en localidades rurales, la prestación del servicio por medios informales y formales mediante el uso de carretas de tracción animal, triciclos y pick ups.

Los equipos más utilizados son los camiones compactadores con capacidades de 10 a 15 m<sup>3</sup>, con los cuales se recolectan de 6 a 8 ton por viaje. En el caso de los contenedores, éstos varían de 0.5 hasta 18 m<sup>3</sup> cuando no tienen compactación y hasta 30 m<sup>3</sup> los de compactación; En municipios con marginalidad mayor es común encontrar que su flota de camiones son de tipo "volteo" hasta en un 50%, cuya capacidad oscila entre 6 y 8 m<sup>3</sup> y recolectan de 1.2 a 1.6 ton por viaje y los de redilas de 3.5 a 8 toneladas

Atendiendo al grado de especialización de los vehículos recolectores utilizados en la prestación del servicio, los métodos de recolección pueden clasificarse en métodos mecanizados, semimecanizados y manuales. Los métodos mecanizados y semimecanizados normalmente se utilizan en localidades altamente urbanizadas; mientras que los métodos manuales que normalmente se efectúan con equipos no convencionales, son más usuales en zonas marginadas y de difícil acceso, así como en localidades eminentemente rurales. Según el tipo de demanda por atender, se pueden tener dos tipos de métodos de recolección, para demandas de tipo continuo y semicontinuo y para demandas de tipo discreto. En el medio mexicano se puede encontrar toda la gama de métodos que resultan de la combinación de los dos criterios antes mencionados, aunque predominan los métodos semimecanizados de demanda discreta. Con base en esto, se puede decir que el método de recolección esta definido por el tipo de demanda exigida y por el grado de tecnificación de los equipos utilizados.

Es importante indicar que el método con el cual se lleva a cabo la recolección viene a ser la parte medular del sistema, ya que el nivel de organización que guarden los métodos de recolección de un determinado sistema, será el indicador más representativo del nivel de servicio con que se esté atendiendo a los usuarios, esto está directamente relacionado con

el nivel de servicio e inversamente con la participación del usuario en el cumplimiento del servicio.

## 5.2 EQUIPAMIENTO REQUERIDO

Una vez que los residuos sólidos urbanos han sido depositados en los tipos de recipientes descritos en el capítulo anterior, se procederá a su carga en vehículos adecuados y serán transportados a los centros de tratamiento o al tiradero controlado.

### VEHÍCULOS RECOLECTORES.

El equipo de recolección de residuos sólidos domésticos varía de modo significativo en cuanto a tamaño y características. La capacidad influye fundamentalmente en el costo de la recolección. La altura de la carga debe ser tal que permita una operación cómoda, sobre todo si la carga es manual. Existen varios tipos de vehículos para la recolección de basura, entre los más relevantes tenemos: camión abierto, camión cubierto y camión con compactación. Estos dos últimos se diferencian en que uno de ellos dispone de un sistema de compactación mecánica.

Los principales vehículos utilizados en la operación de recolección y transporte de los residuos urbanos son los siguientes:

- 1º. **Camión recolector con caja compactadora.**- Estos vehículos están equipados con una caja compactadora que dispone de una tolva para la carga de los residuos y un dispositivo de compresión que permite reducir entre 3 y 5 veces el volumen de estos.  
La caja compactadora suele estar construida con chapas de acero especial, de alta resistencia a la abrasión y a la corrosión, reforzada con vigas y tirantes de acero de gran resistencia y montada sobre un bastidor de soporte sumamente sólido.

El vaciado de la caja compactadora se realiza generalmente mediante una placa de expulsión accionada por un mecanismo hidráulico.

Los camiones recolectores-compactadores pueden ir equipados con un elevador de contenedores que se adapta a los diversos tipos normalizados de 2 o 4 ruedas facilitando la recolección hermética.

Este tipo de vehículos presenta las siguientes ventajas:

- Reducción del costo de transporte por tonelada;
- Reducción del tiempo de recolección;

- Al ser la caja hermética se mejoran las condiciones higiénicas, estéticas y de seguridad del servicio prestado.

- 2º. **Camión recolector con caja cerrada sin compactación.**- Las características técnicas de la caja son similares a las anteriores en lo referente a corrosión y estanqueidad, pero no disponen de mecanismo compactador por lo que su capacidad de carga es más reducida, ya que no existe en este caso compactación.

Suelen utilizarse en pequeños núcleos urbanos con poca generación de residuos, mientras que en ciudades de mayor entidad se emplean para la recolección de restos de arbolado y residuos de la limpieza de la vía pública.

- 3º. **Camiones para contenedores de gran capacidad.**- Son vehículos especiales que van equipados con elevadores tipo "cadenas" para poder levantar y depositar los grandes contenedores sobre el chasis del camión para su transporte al centro de tratamiento.

- 4º. **Camiones de caja abierta** - Este tipo de vehículos se suele utilizar en áreas rurales donde el volumen de residuos es muy reducido y no se dispone de suficientes medios económicos para realizar un servicio adecuado.

En las áreas urbanas este tipo de camión suele utilizarse para la recolección de residuos voluminosos como: electrodomésticos, muebles, etc.

El camión abierto no es el más apropiado, y en todo caso debe ser operado para evitar esparcimiento de basuras, aconsejándose disponer de toldos fácilmente plegables y limitar la altura de las redilas para que el camión no se sobrecargue. Deben operarse con mucho cuidado con el propósito de evitar al máximo las condiciones de desagrado que produce este tipo de acción.

El camión cubierto con una, dos o más puertas correderas para la carga, soluciona algunos de los inconvenientes que originan los camiones abiertos y aún permite disminuir el tiempo de descarga si se emplea un mecanismo que empuje la basura en el momento del vaciado en el sitio de disposición final.

- 5º. **Otros tipos de vehículos.**- Dentro de este concepto se incluyen los carros, remolque, volquetes, etc. que son movidos por tractores,

generalmente se usan en el medio rural donde el volumen de residuos generados es muy pequeño.

Este tipo de vehículos presenta iguales inconvenientes que los camiones de caja abierta, pero indiscutiblemente prestan un servicio a costo mínimo en áreas rurales de población muy dispersa o de poca densidad demográfica.

#### TOMA DE DECISIÓN PARA ESCOGER EL VEHÍCULO.

Una vez analizados los diferentes tipos de vehículos, sus ventajas e inconvenientes, debemos recordar que cada municipio tiene que analizar todos los factores antes de tomar una decisión sobre el tipo de vehículo tomando en cuenta las consideraciones económicas, higiénicas, estéticas y de seguridad en el servicio, es decir, que es importante reúna las características que en seguida se mencionan para conseguir un rendimiento óptimo de un vehículo recolector:

- Rapidez al recoger la basura.
- Llenado máximo y facilidad de vaciado.
- Tolva de carga que permita asegurar las operaciones de volcado de los recipientes fácilmente y en las mejores condiciones de higiene.
- Funcionamiento silencioso.
- Estanqueidad, estabilidad, facilidad de mantenimiento y de lavado.
- Reparto correcto de las cargas sobre los ejes.
- Seguridad.

Por lo anterior es importante considerar que una de las opciones que parece cumplir con todos estos requisitos es el tipo de camión cerrado con compresión mecánica, el cual permite aumentar enormemente su capacidad y un rápido vaciado de la basura.

Entre las ventajas del camión con compactación mecánica pueden citarse altura relativamente baja de las bocas de carga, aumento de la densidad de basura por compactación y un aspecto estético compatible con una operación de este tipo, sin embargo el chasis del camión debe ser mucho más resistente para soportar la basura y el peso que significa el mecanismo de compactación.

Se sugiere que antes de seleccionar el tipo de camión se realicen licitaciones públicas a fin de estudiar y analizar las bondades de unos en relación con los otros y decidir por el que más convenga a la comunidad de acuerdo con las condiciones locales que imperen en la población a la cual va a servir. Es recomendable mantener una sola marca en equipos para facilitar el mantenimiento.

La capacidad de los camiones recolectores varía enormemente; existen camiones

abiertos con capacidad para 1.5 a 16 m<sup>3</sup> o más y camiones con compactación mecánica los cuales varían en capacidad hasta 7 m<sup>3</sup> como máximo.

#### TOLVAS DE CAMIONES RECOLECTORES.

El conocimiento del tipo de tolva del vehículo recolector es importante ya que es uno de los factores que inciden sobre los tiempos y el rendimiento de la recolección, una descripción detallada de los tres diferentes tipos de Tolvas es la siguiente:

**1. TOLVA HEIL:** La basura es depositada en un recipiente trasero, de donde es empujada al interior de la tolva por una placa móvil, mientras otra impide que se devuelva la que está en el interior. Estas placas además de empujar los desperdicios dentro de la caja, la van compactando. Un dispositivo relativamente nuevo es la placa eyectora, que es una plancha que tiene la propiedad de deslizarse y cumple dos funciones:

Ayuda a aumentar la compactación de la basura y ayuda a bajar la basura (ver figura 5.1).

Para vaciar la basura la plancha se desliza desde el fondo de la caja hacia atrás sin tener que levantar toda la tolva, como ocurría en los modelos antiguos, con riesgo de volcarse el camión en los vertederos de basura por desplazamiento del centro de gravedad. Este tipo de tolva afecta los tiempos de recolección propiamente dicha, por esto es necesario detener el vehículo para efectuar la compactación.

**2. TOLVA KUKA:** La basura se vacía en la abertura trasera de un tambor giratorio, de forma tronco cónico y con hélices en el interior (ver figura 5.2). La rotación de dicho tambor y la forma que tiene, van empujando los residuos hacia el interior, y al mismo tiempo los compactan. Para descargar la tolva simplemente se le hace girar en sentido inverso. Los grados de compactación que se alcanzan son similares a los que se obtienen con la tolva Heil. Este tipo de tolva afecta a los tiempos de recolección por el hecho de existir una boca de carga angosta, lo que no permite que más de dos recolectores vacíen los receptáculos al mismo tiempo y además posee una altura de carga mayor que la tolva Heil. Un punto a su favor es su operación continua de compactación con vehículo en movimiento.

**3. TOLVA LEACH FRONT LOADER:** Un recipiente que va en la parte delantera del camión es tomado por dos brazos hidráulicos, que lo levantan por sobre la cabina y lo vacían por arriba en la tolva, donde una placa accionada por un hidráulico se encarga de compactar los desechos (ver figura 5.3).

Las ventajas de este sistema son:

No hay operador para realizar el levantamiento del contenedor para volcarlo en el camión.

- Mayor rendimiento de recolección.
- Mayor velocidad de recolección
- Mejor calidad del servicio de recolección

Como inconvenientes podemos destacar:

- Mayor costo de implementación.
- Dificultad de maniobrar en zonas de alta concentración de viviendas
- Necesidad de volúmenes altos de basura para optimizar su rendimiento

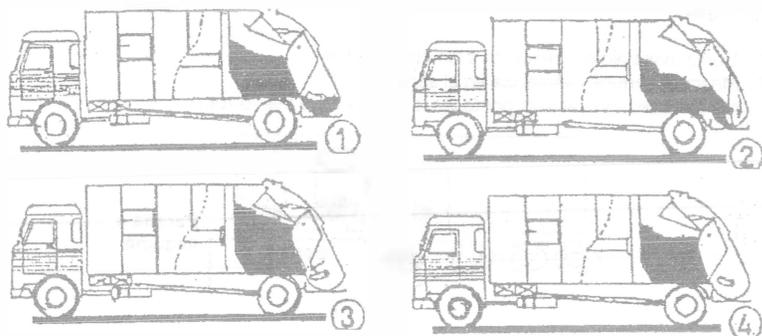


Figura 5.1 funcionamiento de la tolva Heil.

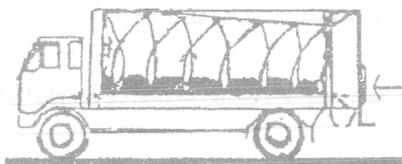


Figura 5.2 Tolva Kuka

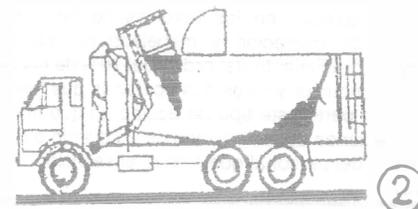
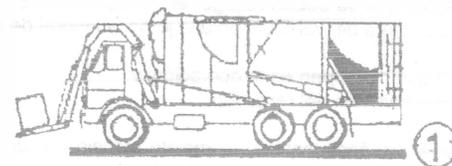


Figura 5.3. Tolva Front Loader.

#### CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE RECOLECCIÓN.

El equipo mecánico que se emplee en el servicio de recolección ha de ser lo suficientemente resistente para soportar la rudeza que caracteriza a estos trabajos. Los vehículos tendrán que circular por caminos buenos y malos; si tienen que llevar las basuras hasta los tiraderos de relleno controlado tendrán que utilizar normalmente malas carreteras, con el consiguiente desgaste y daño de las cubiertas y posibles deformaciones por torsión de chasis y bastidores. Todos los elementos mecánicos deben mantenerse en buen estado de servicio, dispuestos a operar en terreno desigual y pendiente. Si en la población nieva, será frecuente que estos vehículos tengan que participar también en las operaciones de retirada de nieves.

La política a seguir debe orientarse a lograr que los equipos funcionen lo mejor posible y al costo más bajo que las circunstancias permitan, para que los operarios que los manejan no pierdan la confianza en tales elementos mecánicos.

En relación a las carrocerías y cajas de carga de basura, se deben tener en cuenta el volumen y la capacidad de las cajas que se ha de colocar sobre el chasis del camión de recolección de basuras ya que implica una decisión que también ha de adaptarse en cada caso y para cada localidad. Estas dimensiones dependerán:

-De la cantidad de basuras que se deban recoger en el recorrido y que aseguren una carga completa o casi completa del vehículo en una jornada laboral de tipo medio;

- Del número de obreros que participen en la operación, y
- Del ancho de las calles o caminos del recorrido.

El camión con carrocería diseñada para su completo manejo por una sola persona puede resultar muy eficaz en aquellas comunidades locales que tengan la suerte de contar con un servicio de recolección en las aceras de las fachadas principales, es decir, donde no se necesita de un personal que tenga que ir hasta las puertas traseras de las viviendas a recoger los recipientes de basura. Hay quien afirma que si los recipientes de basura se colocan en los bordillos de las aceras, con un camión diseñado para este tipo de operación y manejado por un solo operario puede conseguirse unas cifras de rendimiento del orden del 70% de las correspondientes a la cuadrilla formada por un conductor y otros dos operarios que lleven un camión de tipo más convencional. Por otra parte este tipo de equipo en que el conductor se encarga por completo de las operaciones de recolección de un distrito o ruta puede fomentar el sentido de responsabilidad del personal que realiza el servicio.

### 5.3 METODOS DE RECOLECCIÓN

El servicio de recolección de residuos sólidos se puede prestar por medio de cualquiera de los siguientes métodos o por la combinación de alguno de estos.

- Método de Parada Fija o de Esquina (Demanda continua con alta participación del usuario).
- Método de Acera (Demanda continua-semimecanizada con mediana participación del usuario).
- Método Intradomiciliario o de llevar y traer (Demanda semicontinua semimecanizada con baja o nula participación del usuario).
- Método de Contenedores (Demanda discreta-mecanizada con alta participación del usuario).

#### 1. Recolección de parada fija o esquina.

En este método son recomendables los vehículos compactadores de carga lateral.

Se puede decir que es el método más económico, mediante el cual los usuarios del sistema, llevan sus recipientes hasta donde el vehículo recolector se estaciona para

prestar el servicio, normalmente una esquina, donde previamente se anunció su llegada a través del sonido de una campana o de otro medio de aviso. Una vez que han llegado hasta el vehículo forman una fila ordenada para que un operador les tome el recipiente, lo entregue a otro que se encuentra dentro de la carrocería del vehículo, el cual vacía su contenido y lo regresa al operario que se lo entregó, para que a su vez se lo devuelva al usuario, el cual después de ser atendido, se retire del vehículo. La operación anterior, se repite tantas veces como sea necesario, hasta atender a todos los usuarios que lo hayan solicitado.

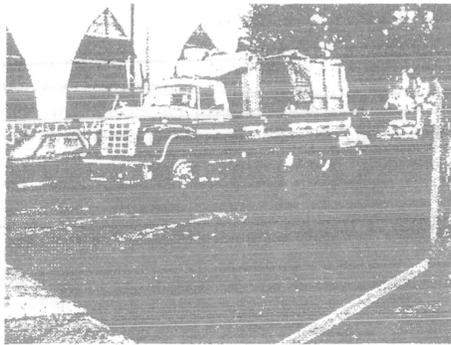
Una vez terminada la recolección en este sitio, el vehículo se dirige al siguiente punto para realizar la misma operación y así sucesivamente hasta terminar su ruta, como se observa en la figura 5.4

#### Ventajas:

- 1.- Costo mas bajo con respecto a los otros medios
- 2.- Mayor cobertura y eficiencia en el servicio
- 3.- No es necesario transitar por todas las calles en la macrorruta.



Figura 5.4 Método de recolección de parada fija



Camión de carga lateral

**Desventajas:**

- 1.- Molesta a los usuarios ya que reciben un baño de polvo y residuos al ser vaciados en el interior de la caja del vehículo.
- 2.- Se requiere de la participación activa de los usuarios para entregar los residuos sólidos a la cuadrilla de recolección y cuando no hay una persona atenta en la casa habitación al aviso de la llegada del vehículo, los residuos sólidos se acumulan en exceso en los recipientes con el riesgo de que sean arrojados clandestinamente a la vía pública o algún terreno baldío.

**2.- Recolección de acera o banqueta**

En este método son recomendables los vehículos compactadores de carga trasera, debido a su baja altura de carga.

Consiste en que el vehículo circula a una velocidad muy baja en ambos sentidos de la calle haciendo múltiples paradas a lo largo de la misma, con el motor en marcha, el personal operario del vehículo recolector, toma los recipientes con basura que sobre la acera han sido colocados por los usuarios del servicio, para después trasladarse hacia el vehículo recolector, con el fin de vaciar el contenido de dichos recipientes dentro de la tolva o sección de carga de dicho vehículo, regresándolos posteriormente al sitio de la acera de donde los tomaron, para que los usuarios atendidos los introduzcan ya vacíos a sus casas-habitación.

Para que se cumpla debidamente lo antes descrito se requiere, además de un amplio

civismo por parte de los usuarios del sistema, que el vehículo recolector transite a bajas velocidades en ambos sentidos de la calle; por consiguiente, es lógico pensar que este método tiene más posibilidades de ser implantado ordenadamente en aquellas localidades que cuenten con calles de doble sentido y de preferencia con camellones, como se muestra en la figura 5.5.

Este método, además de ser más costoso que el de esquina, presenta el inconveniente de que animales domésticos y no-domésticos como lo son perros, gatos y ratas entre otros, pueden verse atraídos por los recipientes con basura sobre la acera, pudiendo en un momento dado, dispersarla sobre la misma al buscar su alimento, dando por resultado que la recolección se lleve a cabo en forma más lenta. Para evitar o atenuar este inconveniente, se recomienda el uso de bolsa de polietileno herméticamente cerradas, así como el uso de canastillas elevadas en las aceras donde se colocan los recipientes con los residuos; sin embargo, esto puede involucrar un costo adicional para los usuarios, que no siempre están dispuestos a cubrir.

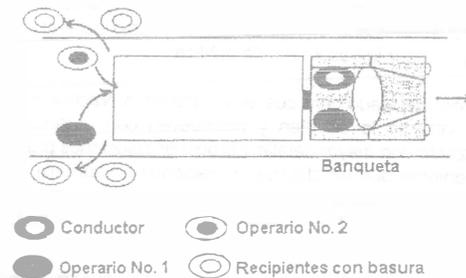


Figura 5.5 Método de recolección de acera

**3.-Recolección de llevar y traer (intra domiciliaria).**

Este método es semejante al anterior, con la variante de que los operarios del vehículo recolector, entran hasta las casas-habitación por los recipientes con basura regresándolos hasta el mismo sitio de donde los tomaron después de haberlos vaciado dentro de la caja del vehículo. Por esto, dicho método de recolección se considera más costoso que el de acera y aún más que el de esquina.

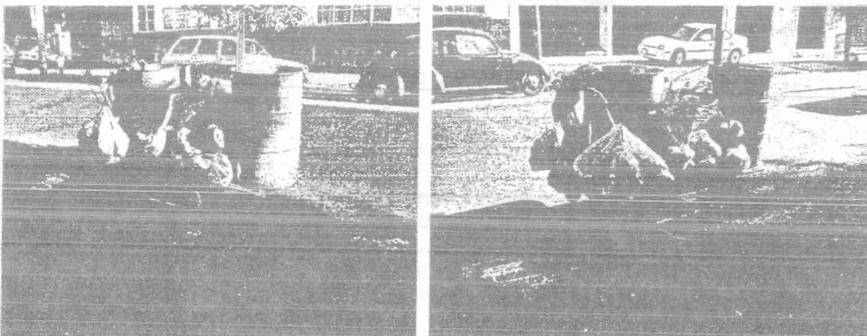
Aunque al igual que el método de recolección de acera, el servicio es prestado a un nivel

superior, los tiempos y los costos de operación de ambos son muy altos y son utilizados generalmente en las zonas residenciales de nuestro país, donde los usuarios otorgan gratificaciones (propina) a los operarios; en tanto no se establezcan sistemas de tarifas por servicio de recolección y dadas las condiciones económicas actuales de nuestro país, no es recomendable la generalización en el uso de este método

#### 4. Recolección acera esquina

En la ciudad de México se practica un método de recolección no autorizado y no recomendable considerándose un híbrido que podría denominarse "método de acera-esquina", que es realizado por el personal de limpia de manera informal, en donde participan los barrenderos y el personal de los camiones de recolección, consiste en lo siguiente: los barrenderos recogen bolsas de basura en los domicilios (método de acera), recibiendo por ello una iguala ya establecida, estas bolsas las trasladan en sus carritos hasta los camiones recolectores (método de esquina), entregando ahí las bolsas recolectadas y una cuota al responsable del camión (chofer). Lo anterior da comodidad al usuario al no trasladar la bolsa de su casa al camión y beneficia al personal de limpia que obtiene un ingreso extra, pero esta costumbre va en detrimento de la responsabilidad que tiene el barrendero al dedicarle menos tiempo al trabajo para el cual fue contratado, es decir para barrer y recoger la basura en vía pública.

Este método, no recomendado pero que se realiza en la práctica es un hecho consumado por que algunos vecinos lo solicitan y promueven con urgencia, por lo que debería estudiarse y analizarse con mayor detalle y proponer soluciones prácticas que beneficien a todos, sería conveniente que en algunas poblaciones se aplicara como plan piloto y con base en los resultados obtenidos utilizarlo en ciertas zonas, por ejemplo las de altos y medianos ingresos y en un caso dado hasta pudiera ser concesionado a particulares.



#### 5. Recolección en grandes contenedores

El método de contenedores, es semejante al de esquina en cuanto a que el vehículo recolector debe detenerse en ciertos puntos predeterminados para llevar a cabo la prestación del servicio. Se puede decir que este método es el más adecuado para realizar la recolección en centros o áreas de gran generación o de difícil acceso.

Entre dichas áreas se cuentan las zonas públicas, como pueden ser parques, escuelas, hospitales, auditorios, centros deportivos, áreas comerciales, hoteles, industrias y mercados de diversos tipos. La mayoría de los municipios exigen de los usuarios de las áreas comerciales un pago especial por los servicios de recolección de basura, o bien que contraten para dicha tarea a transportes privados. El pago de tarifas especiales en las áreas comerciales e industriales se justifica con el razonamiento de que su generación de residuos forma parte de la propia actividad mercantil e industrial y no debe ser objeto de subvención mediante la prestación gratuita de un servicio que se financia con los fondos procedentes de la recaudación general de impuestos.

Para este tipo de recolección se utilizan habitualmente los grandes contenedores, éstos suelen variar mucho de dimensiones, los primeros modelos que se emplearon se diseñaron para ser recogidos por un camión dotado de brazos elevadores, que los transportaban uno por uno hasta el punto de vertido. Posteriormente se ha optado por emplear camiones con grandes cajas de carga provistos de una amplia abertura en la parte superior, por la que se vacían los grandes contenedores mediante unos brazos elevadores que lleva el camión, con lo que indudablemente se reduce el número de viajes hasta la zona de vertido como se muestra en la figura 5.6. Algunos de los contenedores de mayor tamaño poseen un mecanismo propio o independiente de compactación, y otros han sido diseñados para ser llevados a remolque.

El empleo de contenedores de grandes proporciones ha permitido mejorar las condiciones de recolección en áreas donde se generan volúmenes excesivos de residuos y desechos. En épocas pasadas esas basuras se diseminaban por toda la zona, ensuciando los terrenos y favoreciendo la aparición de ratas, moscas, perros callejeros y otros animales molestos o peligrosos.

Con respecto a los residuos comerciales e industriales es frecuente que se exija a las empresas la adquisición de sus contenedores propios así como su mantenimiento en buen estado.

El principal inconveniente de este método es que al fallar el servicio, se crea un foco de contaminación al sobrecargar el contenedor y derramarse los residuos sólidos sobre el suelo.

Los tambos de 200 litros son muy utilizados como contenedores, y en este caso no son necesarios los vehículos de carga frontal, aunque las maniobras para la descarga de dichos tambos se dificultan por el peso de estos cuando están llenos.

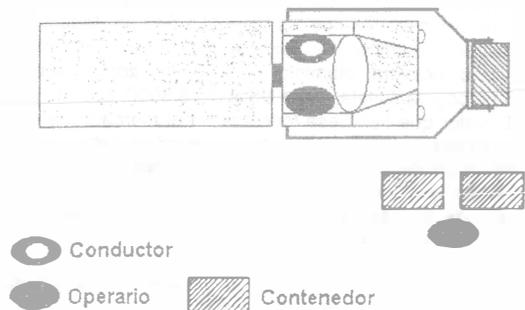


Figura 5.6 Método de recolección por contenedores

No debe pensarse que invariablemente en todos los casos, estos métodos de recolección se cumplen tal y como fueron descritos, puesto que de una y otra manera siempre existe alguna variante en cuanto al equipo, participación del usuario y número de empleados que prestan el servicio, por señalar algunas de ellas, que los diferencian de los antes mencionados. Para evitar que tales variantes afecten la concepción y filosofía original de un determinado método de recolección, de tal forma que se pierdan total o parcialmente las características fundamentales del mismo; a manera de establecer una correspondencia lógica entre equipos y métodos de recolección con el tipo de fuentes generadoras por servir, en el cuadro 5.1 se presentan las recomendaciones del caso

Dadas las características de los diferentes métodos de recolección, en el cuadro 5.2, se presenta alguno de los aspectos a considerar para la elección del método a emplear en la recolección.

Cuadro 5.2  
CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE RECOLECCIÓN

CARACTERÍSTICAS	PARADA FIJA O DE ESQUINA	DE ACERA O BANQUETA	LLEVA Y TRAER (INTRADOMICILIARIO)
Tiempo empleado	Regular	Mucho	Poco
Cargadores por vehículo	2 a 3	3 a 5	1 a 2
Costo	Bajo	Muy alto	Muy bajo
Necesidad de cooperación del público	Regular	Pequeña	Muy alta
Derrame en la calle	Regular	Nula	Alta
Aspecto visual	Regular	Bueno	Mal
Problemas con el público	No hay	No hay	Muchos por el ingreso del personal a las casas
Nivel de servicio	Bueno	Excelente	Regular

CUADRO 5.1 Correspondencia entre métodos de Recolección, Equipos Emplear y Fuente Generadoras por Servir

MÉTODO DE RECOLECCIÓN	EQUIPO CON POSIBILIDAD DE SER EMPLEADO	EQUIPO RECOMENDADO	FUENTES GENERADORAS POR SERVIR
De esquina o Parada fija	- Tipo volteo - Compactadores de carga lateral. - Compactadores de carga trasera	- Compactadores de carga lateral	Para la recolección de residuos sólidos de tipo domésticos preferentemente áreas o barrios populares, y en turnos matutino y vespertinos
De Acera	- Compactadores de carga trasera	- Compactadores de carga trasera	Para la recolección en zonas residenciales, preferentemente con calles anchas de doble viabilidad y con camellón, en cualquier turno, sobre todo nocturnos áreas con alto tráfico o de alta participación ciudadana
De llevar y traer o Intra domiciliario	- Compactadores de carga trasera, con o sin mecanismos elevadores de contenedores	- Compactadores de carga trasera, con o sin mecanismos elevadores de contenedores	Para la recolección en zonas residenciales, con calles anchas así como hoteles, hospitales, restaurantes y otras fuentes de generación, en cualquier turno, preferentemente nocturnos cuando se den las condiciones para ello.
De contenedores	- Compactadores de carga trasera o lateral, con mecanismo elevador de contenedores - Compactadores de carga frontal - Roll-on roll-off de distintas características	- Compactadores de carga frontal de gran volumen. - Roll-on roll-off de gran capacidad volumétrica y preferentemente con mecanismo de compactación.	Para la recolección en zonas de gran generación y/o de difícil acceso, como en hoteles, mercados, hospitales, centros comerciales, tiendas y zonas marginales, en cualquier turno, preferentemente nocturnos para hoteles y hospitales.

## 6.Recolección selectiva.

Cuando el municipio decide llevar a cabo una recolección selectiva para reciclar material orgánico o materiales reciclables, o ambos, los costos lógicamente suben pues el trabajo involucrado es mucho mayor. Los costos de recolectar la materia orgánica no deben ser mucho mayores que los US \$20 a \$40 por tonelada que cuesta la recolección convencional, sin embargo cuando se recolectan materiales reciclables como cartón, papel, vidrio, hojalata, aluminio, plástico, los costos suben mucho al grado que una tonelada recogida cuesta, entre US \$150 a \$600, cuando la recolección la hace el municipio. El valor que tiene esa tonelada en el mercado de reciclables es de US \$50 a \$70. Por eso casi todos los proyectos de reciclaje deben ser subsidiados por el municipio u otras instituciones, sin embargo la ventaja que tiene este tipo de proyectos es su alto impacto social ya que hacen participar a la población en la problemática del manejo de los residuos. A medida que mayor participación haya, menores serán los costos de recolección.

Una de las ventajas que se tiene es la de proporcionar un trabajo digno a los pepenadores que realizan esta labor de una manera informal en casi todas las ciudades de los países en desarrollo. Si a estas personas se les organiza de tal modo que la población haga la separación adecuada de los reciclables en el hogar y los saque solamente en ciertos días en que pasará el pepenador con su carreta u otro equipo a recoger estos materiales, entonces el costo para el municipio disminuirá sensiblemente.

La recolección selectiva se puede hacer de varias formas:

**Recolección en un solo camión :** El camión de recolección tiene compartimentos para los reciclables y para la basura común (y si hay materia orgánica deberá tener otro compartimento) y todo se recoge al mismo tiempo. Para esto se requieren camiones especiales que tienen un costo relativamente alto. Los residuos comunes deben ser compactados y van en una caja normal. En la parte de adelante hay compartimentos separados de la caja compactadora. Los camiones de los países desarrollados que tienen esta característica difícilmente servirán en nuestro países ya que la calidad de la basura es muy diferente por lo que habría que hacer diseños especiales.

**Recolección en dos camiones:** El camión compactador recoge los residuos comunes y otro camión no compactador recoge los reciclables. Esto puede hacerse el mismo día o puede hacerse por ejemplo haciendo pasar el camión compactador los días normales de recolección y el camión no compactador solo una vez a la semana para bajar costos

**5.4 RESPONSABILIDADES DE LOS PARTICIPANTES EN LA RECOLECCIÓN**

Con el fin de complementar el cuadro 5.1 del inciso anterior, en donde se describe una serie de recomendaciones para la adecuada implementación de los métodos de recolección, a continuación se presentan las obligaciones de cada uno de los participantes en el cumplimiento de los mismos.

a) Método de esquina o de parada fija, con vehículo compactador de carga lateral, y flotilla compuesta por el conductor y dos operarios ( fig. 5.4)

a.1) Obligaciones del conductor y su vehículo:

- No deberá parar exactamente en esquinas, ya que puede propiciar un punto de conflicto, obstruyendo por sí mismo, o por medio de los usuarios que acuden para que se les preste el servicio, la circulación de otros vehículos. Por tanto, lo deberá hacer antes de terminar la banqueta de la esquina.
- No deberá ubicarse en sentido contrario a la vialidad establecida.
- Deberá estacionarse donde no existan obstáculos para el cumplimiento del servicio, tales como árboles, postes de alumbrado, señalamientos viales, etc.
- El conductor deberá accionar el mecanismo de compactación, para compactar la basura recolectada por lo menos cada tres paradas fijas, haciéndolo siempre al final de la tercera.
- Deberá cumplir con el Reglamento de Tránsito en vigor.
- El conductor deberá tocar la campana o claxon melódico desde su asiento y respetar la ruta de recolección fijada por sus superiores, negándose a prestar cualquier servicio de tipo especial.

a.2) Obligaciones de los Operarios

- El operario No. 2 mientras se cumple con el servicio viajará dentro de la caja del vehículo, recibirá el recipiente que el operario No. 1 le entregue, lo deberá vaciar y sacudir (para que no de lugar a que el usuario lo sacuda en la calle, dejando los restos sobre el pavimento o la banqueta), para devolverlo a continuación al mismo operario No. 1. Este procedimiento se llevará a cabo hasta atender al último usuario. Además, este operario No. 2 cada tres paradas, deberá salir de la caja del vehículo, para que se lleve a cabo la compactación de los residuos



ACULTAD DE INGENIERIA

volviendo a entrar antes de iniciar el tránsito a la siguiente parada.

- El operario No. 1, siempre viajará dentro de la cabina del vehículo durante la prestación del servicio de recolección de basura. Al salir de la cabina, se colocará sobre la banqueta y de frente a la puerta de carga lateral de la caja del vehículo; recibirá por su izquierda, los recipientes de basura por parte de los usuarios del sistema, para entregarlos al operario No. 2 quién los vaciará dentro de la caja de la unidad recolectora, devolviéndoselos ya vacíos, para que a su vez, se los regrese nuevamente a los operario por su derecha. Este procedimiento se cumplirá, hasta que se haya dado servicio al último usuario por atender, después de lo cual el operario No. 1, montará nuevamente a la cabina del vehículo para continuar el viaje a la siguiente parada.

a.3) Obligaciones de los Usuarios:

- Deben colocarse por orden de prioridad de llegada en una sola línea de espera paralela a la guarnición de la banqueta, lo más cercano posible a la unidad de recolección, con el fin de no interrumpir la circulación de los peatones.
- Entregarán sus recipientes con basura al Operario No. 1, para después avanzar por su espalda hasta colocarse a su derecha, donde les serán entregados sus recipientes ya vacíos, para después retirarse hacia sus casas.
- Tendrán que adquirir un recipiente apropiado para el almacenamiento de los residuos sólidos que generan, que además tenga la capacidad adecuada que les permita guardarlos sin problema, hasta el siguiente día en que se deba prestar el servicio de recolección.

b) Método de Acera con vehículo compactador de carga trasera y flotilla compuesta por el conductor y dos operarios (fig. 5.5)

b.1) Obligaciones del conductor y su vehículo:

- Deberá transitar a una velocidad lo suficiente lenta, para dar tiempo a que los operarios del vehículo, tomen, vacíen y pongan nuevamente en su sitio, todos los recipientes ubicados sobre las calles del barrio o colonia por servir.

G. = 613266

- Deberá tocar desde su asiento, la campana o claxon melódico, durante el cumplimiento del servicio en cuestión
- Tendrá que respetar el Reglamento de Tránsito en vigor.
- Siempre transitará en el carril continuo a la acera a la que se le de servicio, cuando no sea posible atender ambas aceras con la misma trayectoria.
- Respetará la ruta de recolección fijada por sus superiores.
- No prestará servicio de tipo especial, que no esté especificado en su orden de ruta.

## b.2) Obligaciones de los Operarios

- Tanto el operario No.1 como el No. 2, recogerán los recipientes de la acera, los transportarán hasta el vehículo de recolección, los vaciarán y sacudirán dentro de la tolva trasera, para evitar que el usuario haga esto último y puedan dejar residuos en la calle, finalmente colocarán los recipientes en el sitio de donde los tomaron.
- Una vez que se haya llenado la tolva de carga del vehículo, el operario No. 1 se colocará de frente a los mandos hidráulicos de la carrocería, para accionarlos a fin de vaciar la tolva y compactar la basura dentro de la caja del vehículo.
- Los operarios del vehículo, viajarán en esta, solamente en los trayectos fuera de las rutas de recolección.

## b.3) Obligaciones de los usuarios:

- Colocará su recipiente sobre la acera con antelación conveniente (poco antes del paso del vehículo), de acuerdo al horario del servicio de recolección de basura.
- Dispondrá de recipientes en buen estado y capacidad suficiente para evitar fugas de líquidos o residuos sobre la vía pública.
- Evitará sacudir los recipientes en la vía pública, una vez recibido el servicio, para no dejar residuos sobre el pavimento.
- Recogerá su recipiente inmediatamente después del paso del vehículo recolector.

- El recipiente que empleen para almacenar los residuos que generen, deberá tener la capacidad adecuada para guardarlos sin problema hasta el siguiente día en que se deba prestar el servicio de recolección.

## c) Método de llevar y traer o Intradomiciliario, con vehículo compactador de carga trasera, y tripulación compuesta por el conductor y dos operarios.

## c.1) Obligaciones del Conductor y su Vehículo:

- Deberá hacer alto con su vehículo, frente a la casa-habitación o fuente generadora de residuos sólidos por servir, para dar tiempo a que los operarios del vehículo, tomen, vacíen y pongan nuevamente en su sitio todos los recipientes de la zona o barrio por servir.
- Respetará el Reglamento de Tránsito en vigor, así como la ruta de recolección fijada por sus superiores.
- Siempre transitará en el carril continuo a la acera a la que se le de servicio.
- No prestará servicio de tipo especial, que no esté especificado en su orden de ruta.

## c.2) Obligaciones de los Operarios:

- Tanto para el operario No. 1 como para el operario No. 2. serán las mismas obligaciones que para el método de acera, solo que para este caso, los operarios deberán penetrar hasta la misma casa-habitación o fuente generadora, para tomar el recipiente con basura, llevarlo al vehículo y vaciar su contenido dentro de la tolva de carga del mismo, para finalmente regresar el recipiente ya vacío al sitio donde lo tomaron.

## c.3) Obligaciones de los Usuarios:

- Disponer de recipientes en buen estado y capacidad para evitar fugas de líquidos o residuos sobre la vía pública.
- El recipiente que usen para almacenar los residuos sólidos que generen deberá tener la capacidad adecuada para guardarlos sin problema, hasta el siguiente día en que se deba prestar el servicio de recolección
- El recipiente de basura dentro de la fuente generadora, o casa-habitación, amén de contar con tapa hermética, deberá colocarse en un sitio accesible para el personal de la recolección e inaccesible a personas

extrañas, niños, animales domésticos y fauna nociva; además de ser limpiado y atendido diariamente, para evitar la proliferación de insectos y otro tipo de vectores

- d) Método de Contenedores con Equipos Especiales, y Flotilla Compuesta por el Conductor y un solo Operario (fig. 5.6)

d.1) Obligaciones del Conductor y su Vehículo:

- Deberá hacer alto con su vehículo, junto a los contenedores por atender, dando tiempo a que el operario único de recolección acomode los contenedores frente al mecanismo elevador del vehículo, para después accionar los mandos de dicho mecanismo, y para cumplir con el ciclo "ENGANCHE-ELEVACION-DESCARGA-ATERRIZAJE", con cada uno de tales recipientes.
- Respetará el Reglamento de Tránsito en vigor, así como la ruta de recolección fijada por sus superiores.
- Siempre transitará en el carril contiguo a la acera a la que se le da servicio.
- No prestará servicio de tipo especial, que no esté especificado en su orden de ruta.

d.2) Obligaciones del Operario Único:

- Viajará dentro de la cabina del vehículo recolector, saliendo de ella al parar dicho vehículo para cumplir con la prestación del servicio de recolección de basura. Al salir de la cabina, se dirigirá hacia la zona de acopio de los contenedores, para conducirlos hasta el frente del mecanismo elevador del vehículo, con el objeto de que tales recipientes sean atendidos; después de haber sido vaciados dentro de la caja de la unidad de recolección, dicho operario único, los traslade hasta el sitio donde los haya tomado. Este procedimiento se cumplirá hasta que se haya dado servicio al último contenedor por atender, después de lo cual dicho operario montará nuevamente a la cabina del vehículo, para continuar el viaje a la siguiente parada.

d.3) Obligaciones de los usuarios.

- Dentro de lo que cabe los responsables del cuidado y vigilancia de los contenedores deberán cumplir cabalmente con las recomendaciones indicadas en los incisos c 3 del punto C.

### 5.5 FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN

La frecuencia de recolección, es la periodicidad con la que se presta el servicio de manejar los residuos sólidos es decir, el número de veces al día, semana o mes en que el vehículo recolector sirve un sector, generalmente se da el número de veces por semana

Su valor depende fundamentalmente del tiempo en que los residuos sólidos inician su descomposición, de las condiciones climáticas, de la disponibilidad del equipo y de la cantidad de residuos sólidos generados por la población.

Entre los factores relevantes para la frecuencia de recolección de los residuos se tienen de las condiciones climáticas, la velocidad de generación de los residuos, del área socio-económica, pudiendo ser la periodicidad diaria, tres veces por semana, dos veces por semana o semanal. Los costos serán función de esta periodicidad, por ello la frecuencia de la recolección es un problema que debe ser estudiado en cada caso según las características locales.

El periodo 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 en que tarda la basura en producir olores desagradables en condiciones medias de la temperatura de la región en verano o en invierno.
- c) Ciclo de desarrollo de la mosca (Seis a siete días a la temperatura de verano). En sectores residenciales, la basura debe recogerse por lo menos tres veces por semana en verano y dos en invierno, aunque es preferible que sea diariamente. La recolección en hoteles y restaurantes tiene que ser diaria. En el caso de que la basura orgánica se recoja separada de los despojos, estos pueden ser recogidos a intervalos más distanciados.

La situación actual en nuestro país es de profundo desorden, ya que existen en las poblaciones zonas en las que el servicio se presta diariamente y hasta dos veces al día y otras zonas donde se presta una vez a la semana o definitivamente se carece del servicio.

Para la Ciudad de México el "Reglamento para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal" (ver anexos), señala en la periodicidad de la recolección, en su artículo 13 establece:

"La Delegación deberá informar periódicamente a la población las fechas y horas fijadas, mediante su publicación en mamparas o cartelones colocados en los sitios destinados para la recolección de residuos sólidos y en dos de los diarios de mayor circulación o a través de cualquier otro medio masivo de comunicación."

"La recolección de residuos sólidos deberá realizarse por lo menos tres veces a la semana, en los horarios y días que fije la Delegación."

Para determinar la cantidad diaria a recolectar, la frecuencia de recolección puede ser 6, 3, 2 o 1 vez por semana y se expresa en séptimas (6/7, 3/7, 2/7 y 1/7) los residuos sólidos se deben recolectar, transportar y disponer antes de que proliferen las moscas (cuadro 5.3), por lo que la frecuencia de recolección no debe ser menor de dos veces a la semana, para el caso de nuestro país, y debido al alto contenido de materia orgánica de los residuos sólidos, generalmente se recomienda de dos a tres veces por semana, para establecer esta frecuencia es necesario laborar de lunes a sábado para que exista uniformidad.

En algunos lugares de nuestro país es un lujo inaceptable la recolección diaria por su alto costo, por otra parte una frecuencia menor a dos veces por semana, representa riesgos para la salud.

Cuadro 5.3

DÍAS REQUERIDOS PARA EL DESARROLLO DE LA MOSCA

TIEMPO NECESARIO PARA QUE SE TRANSFORME		
TEMPERATURA	DE HUEVO A PUPA	DE HUEVO A ADULTA
20°C	10.1 DÍAS	20.5 DÍAS
27°C	5.6 DÍAS	10.8 DÍAS
35°C	5.6 DÍAS	8.9 DÍAS

EJEMPLO 1

En una población, determinar a cuántos usuarios puede dar servicio un camión recolector con capacidad de carga de dos toneladas, que da servicio una vez a la semana y transporta la carga al lugar de vaciado (estación de transferencia, tiradero o relleno sanitario).

Generación 0.772 kg/hab/día (tabla 3.2)  
 Capacidad camión 2 toneladas y 6 metros cúbicos

Solución

$$0.772 \text{ kg/hab/día} \times 7 \text{ días} = 5.4 \text{ kg/hab}$$

$$\frac{2000}{5.4} = 370 \text{ habitantes}$$

Podrá dar servicio a 370 usuarios cada día de la semana que preste el servicio.

EJEMPLO 2

En una zona habitacional donde está establecida la recolección por el método de "acera", se utiliza un camión recolector con dos trabajadores, los que requieren 2 minutos por cada parada, dar servicio a 4 casas habitación, cada una entrega semanalmente 25 kilogramos, ¿cuántos usuarios pueden atenderse, suponiendo que no se toma en cuenta el tiempo de traslado al relleno?

Solución

Considerando los turnos de 8 horas al día y un tiempo productivo de 6 horas (6 x 60 = 360 minutos) y 2 los dos minutos que toma el servicio en cada parada, serían:

$$\frac{360 \text{ min utos}}{2 \text{ min utos / parada}} = 180 \text{ paradas}$$

$$180 \text{ paradas} \times 4 \text{ usuarios / parada} = 720 \text{ usuarios}$$

EJEMPLO 3

Un área residencial de unas 40 Ha tiene 400 residencias unifamiliares y 8 Ha con unidades multifamiliares que alojan a 400 personas. Con dos recolecciones de acera por semana, ¿cuántos viajes diarios tendría que hacer cada camión empacador para dar servicio a esta área? Suponer cuatro habitantes por unidad unifamiliar y 50 habitantes por hectárea.

Solución

Población atendida:  
 Unifamiliar con 4 residentes por unidad = 1,600 personas  
 Multifamiliar con 50 residentes por hectárea = 400 personas  
 Total = 2,000 personas

Cantidad de residuos.

Suponiendo que la generación de residuos residenciales per cápita es de 1,1 kg/día (promedio nacional). Por tanto, la cantidad diaria para la recolección es:

$$2,000 \times 1,1 \times \frac{7}{2} = 7,700 \text{ kg} = 7.7 \text{ toneladas}$$

Así pues, en un día normal de recolección, cuando se ha recogido la mitad de los residuos semanales, un camión con caja compactadora de carga trasera de 4 a 5 toneladas métricas de capacidad tendría que hacer dos viajes para dar servicio al área en cuestión.

## 5.6 HORARIOS Y FORMAS DE TRABAJO DEL PERSONAL

### HORARIOS

La elección del horario de servicio de recogida de residuos sólidos no debe ser fruto de una decisión poco meditada por parte de los responsables del municipio, ya que evidentemente cada población tiene una serie de circunstancias tales como: alumbrado público, clima, densidad de circulación, situación y estado del lugar elegido para la disposición final de los residuos sólidos recolectados, etc. Que influyen notablemente a la hora de elegir un determinado horario.

Para poder alcanzar un mayor dinamismo del servicio se hace necesario elegir aquel horario en que exista menor intensidad del tráfico y cree menores problemas por impacto ambiental.

En poblaciones turísticas, por ser lugares donde generalmente hay vida nocturna, es aconsejable realizar el servicio a primeras horas de la mañana, evitando que los cubos o recipientes permanezcan en la calle durante la noche.

#### 1.- Horario a primeras horas de la mañana.

Tiene casi todas las ventajas y corrige muchos de los inconvenientes de la recolección nocturna, no produce embotellamientos de tránsito, los habitantes pueden sacar los receptáculos a la calle al levantarse, o sea poco antes de la pasada del camión, y el control puede ser eficaz.

Puede ocurrir que antes de comenzar el flujo de tránsito hay muy poco tiempo para recoger los residuos sólidos en el sector conflictivo. Una solución para este problema en ciertos casos, es destinar al receptor el máximo de camiones posibles para que terminen a tiempo la tarea, enviándose luego a otras zonas de la ciudad.

#### 2.- Horario diurno.

Es el horario más económico siempre y cuando no interfiera con el tránsito. Es más utilizado en las grandes urbes de nuestro país y sin considerar alteraciones al tránsito debido a que las paradas que efectúan el vehículo recolector la hace generalmente en doble fila.

Es posible utilizar los vehículos dos o más turnos por día, aunque el inconveniente es que existe una menor vida útil del equipo y es posible que el número de fallas aumente al disponerse de poco tiempo para el mantenimiento preventivo.

#### 3.- Horario nocturno.

Resulta necesario en los sectores con tránsito muy intenso durante el día. El lento avance del camión recolector puede producir grandes embotellamientos. También es recomendable el horario nocturno cuando se desea que los residuos sólidos no estén a la vista del público (lugares turísticos), sin embargo, se representan inconvenientes graves:

- El ruido inevitable produce molestias en zonas residenciales.
- El control es difícil y la eficiencia disminuye.
- En muchas partes los residuos sólidos se dejan en las veredas cuando los vecinos se retiran a dormir o cuando cierran los negocios por lo que los residuos permanecen largo rato en la vía pública hasta que pasa el camión recolector, agravándose el problema que se deseaba evitar.

#### 4.- Recolección en los días feriados

Usualmente no se trabaja los domingos cuando la recolección es diaria, el lunes habrá un 100% más de residuos sólidos por recoger que el resto de la semana, lo que exigirá contar con mucho más equipo y personal. Si la frecuencia es tres veces por semana, los lunes y martes solo habrá un 50% más de residuos, y si es dos veces por semana, de lunes a miércoles el aumento será solo de un 33%.

Si la velocidad de desplazamiento en la etapa de recolección es prácticamente constante e independiente de la cantidad de residuos sólidos, en los días más recargados se puede efectuar un viaje más de recolección por turno, aumentándose la jornada de trabajo solo en el tiempo necesario para ir y volver del lugar de descarga.

De ser posible se tendría que pagar tiempo extra, si tampoco fuera factible, no queda otra alternativa que planificar las rutas para los días más recargados, lo que indudablemente reduce la eficiencia del sistema.

En los días festivos que existan entre lunes y sábados tiene que efectuarse la recolección

de residuos sólidos en igual forma que en los días hábiles, ya que en un sistema bien planificado no habría medios para absorber la mayor cantidad de residuos sólidos que circularían, no se debe olvidar que se trata de un servicio público.

#### VARIACIONES ESTACIONALES EN LA PRODUCCIÓN DE DESECHOS

Es importante tener en cuenta que la producción de desechos es distinta en diferentes épocas del año. Las variaciones que experimenta el clima es uno de los factores más importantes que determina modificaciones en la producción de desechos ya que el factor climático actúa directamente sobre la abundancia de frutas frescas y verduras, la cantidad de vegetación en la ciudad, césped, árboles y arbustos en propiedades privadas, calles y parques. En algunas ciudades un importante factor asociado a la variación estacional es el número de turistas.

En grandes urbes latinoamericanas, existe una disminución en la producción de desechos en el periodo de verano, debido a que es un periodo de vacaciones y es mayor la cantidad de personas que sale de la ciudad que la que entra. En lo referente a su composición existe un aumento en la densidad en los residuos esto se debe al aumento del consumo de frutas y verduras, disminuyendo el consumo de productos que vienen envasados ya sea en papel, plásticos, cartón o metal.

#### FORMAS DE TRABAJO PARA RECOLECCIÓN

Básicamente hay dos formas de trabajar en la recolección de residuos sólidos:

1.- **Por jornada.** Se diseñan las rutas y se continúa recogiendo residuos sólidos hasta que se cumpla la jornada de trabajo. Al día siguiente se empieza donde se quedó el día anterior, para continuar con la siguiente ruta asignada, y así sucesivamente.

2.- **Por tarea.** Se estudian las rutas de modo que puedan atenderse, en condiciones normales, dentro de la jornada de trabajo, si algún día hay menos residuos sólidos o si el personal se apresura más y termina antes de su recorrido, se retira más temprano; pero a la inversa, si se retrasa termina más tarde su tarea. Lo importante es efectuar un estudio previo muy cuidadoso de cada ruta y revisarlo periódicamente para no cometer injusticias en la distribución del trabajo.

El sistema de "jornada" no exige un diseño tan exacto de las rutas, por lo que tiene el grave inconveniente que el público no sabe cuando se le recogerán los residuos. El sistema de "tarea" es utilizado casi universalmente por sus muchas ventajas.

#### TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RECIPIENTES

En la etapa del manejo integral de los residuos sólidos municipales, el recipiente es donde son almacenados temporalmente por los propios usuarios para posteriormente ser

retirados. En el cuadro 5.4 se presenta los tiempos empleados cuando se utilizan diferentes tipos de recipientes.

Cuadro 5.4 Tipo de recipientes para los residuos sólidos

TIPO DE RECIPIENTES	VOLUMEN MEDIDO (LITROS)	TIEMPO DE VACIADO TOTAL (SEG.)	TIEMPO DE VACIADO POR LITRO (SEG.)	OBSERVACIONES
CAJAS DE CARTON CHICAS	44.20	13.40	0.30	SE ROMPEN FACILMENTE Y ESTAN LOS RESIDUOS SÓLIDOS EXPUESTOS A LA VISTA
CAJAS DE CARTON GRANDES	156.50	16.40	1.10	
CAJONES DE MADERA CHICOS	42.50	13.80	0.33	SE DEBEN RECHAZAR POR ESTAR LOS RESIDUOS SÓLIDOS EXPUESTOS A LA VISTA
CAJONES DE MADERA GRANDES	173.50	21.10	1.12	
TAMBOS DE 200 LITROS	171.60	34.30	0.21	PELIGROSOS POR SU PESO EXCESIVO
TAMBOS PARTIDOS EN DOS	116.80	20.40	0.18	DEBEN TENER TAPA Y ASAS.
RECIPIENTES DE METAL O PLASTICO	39.40	14.70	0.37	DEBEN TENER TAPAS Y ASAS.
BOLSAS DE PLASTICO	40.00	3.50	0.09	EXCELENTE

#### Factores que determinan la temporalidad de los almacenamientos.

- 1.- Composición de los residuos
  - a) Biodegradables (no más de tres días)
  - b) No biodegradables
- 2.- Cantidad
- 3.- Calidad
- 4.- Peso volumétrico
- 4.- Espacio disponible
- 5.- Frecuencia de recolección

**5.7 SITUACION NACIONAL**

Los métodos de recolección son variados pero destacan los de esquina o parada fija, los de acera anunciados por medio de campaneo, en ocasiones cuentan con canastillas y de ahí van recolectando, puede ser de acera modificados, los que son servidos por medio de contenedores. En la actualidad, ya no es común entrar por los residuos dentro de los domicilios, pero existe el servicio de contenedores el cual es utilizado en diversas fuentes de generación.

Regularmente, el personal de operación en los vehículos de recolección consiste en el chofer y dos peones y en los vehículos que proporcionan servicio a contenedores sólo participa el operador. En ocasiones, la misma cuadrilla está compuesta por más elementos, no incluidos en la nómina municipal, que se destinan a realizar la denominada pepena, que consiste en separar los subproductos valiosos que son factibles de comerciar sin ningún tipo de problema, como son: cartón, papel periódico y papel limpio, botellas enteras de aceites, refrescos, cerveza y licores, metales y latas de aluminio principalmente.

El chofer paga a este personal adicional o se trata de voluntarios en la fase de hacer méritos, una vez que terminan su ruta o se han llenado los camiones en el recorrido al sitio de transferencia, tratamiento o disposición final, se desvían a vender los subproductos recuperados. Esto y los trabajos de pepena en la unidad de recolección causan un impacto negativo en la eficiencia del sistema de recolección. Además del cobro informal al usuario.

Generalmente existe una multivariedad de chasis cabina incluso en una misma localidad, utilizando vehículos a gasolina y a diesel y de todas las marcas comerciales que hay en el mercado nacional, esta situación complica el ya muy deficiente sistema de mantenimiento de las unidades.

La cobertura en población servida promedio a nivel nacional se estima en 78%. Para las zonas metropolitanas se ha calculado en 95%, mientras que para ciudades medias entre el 70% y 85%. En áreas urbanas pequeñas se ubica entre el 50 y 70%.

La recolección por lo general se realiza en dos turnos y ocupa entre dos y cinco trabajadores por camión incluyendo chofer y voluntarios (pepenadores), esto depende de factores como la generación por zona o sector, la concentración urbana, el grado de dificultad de la ruta así como las condiciones climáticas y topográficas de la localidad y sobre todo de las actividades de pepena. En promedio cada jornalero (personal destinado a actividades exclusivas de recolección), recolecta entre dos y cuatro toneladas por turno.

La mayoría de los camiones tienen un rango de operación entre 8 y 12 años, lo cual

sobrepasa la vida útil de los mismos -estimada en siete años-. La falta de mantenimiento preventivo en muchos municipios del país mantiene en condiciones críticas el parque vehicular.

Los costos de recolección en las ciudades medias varían de 120 a 230 pesos por tonelada dependiendo principalmente de la cobertura del servicio, las toneladas a recolectar, el estado físico de los camiones y el diseño de las rutas de recolección.

El cuadro 5.5 muestra información comparativa sobre la situación de recolección que guardan algunos municipios del país, así como índices de cobertura, flotillas de recolección y personal asignado a este servicio.

**Costo**

En México, como se mencionó en el capítulo 1, los costos típicos estimados para la recolección representan del 43 al 45% del manejo de los residuos sólidos, lo que equivale a un costo entre US \$ 15 y 40 por tonelada.

Los costos de recolección representan el 95% de los costos totales del servicio cuando este no incluye los procesos de transferencia o disposición final controlada, en el cuadro 5.6, se presentan los porcentajes de distribución del presupuesto en las fases de los servicios de aseo urbano.

Cuadro 5.6 Porcentaje de distribución de los costos en los diferentes procesos

Procesos	Tiradero a cielo abierto	Relleno sanitario sin transferencia	Relleno sanitario con transferencia	
	México	México	México	EUA
Recolección barrido	95%	82%	53%	64%
Transferencia	--	--	29%	14%
Disposición final	5%	18%	18%	22%
Total	100%	100%	100%	100%

Fuente: Sancho y Cervera J., Rosiles G., Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. Sedesol. 1999

### 5.8 SITUACION EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

Varias ciudades grandes de América Latina, como Buenos Aires, Santiago, Rosario, La Habana, México, D.F., Sao Paulo, Río de Janeiro, Bogotá, Medellín, Cali, Montevideo, Brasilia y Caracas tienen una cobertura de recolección de 90 a 100%. En Chile 99% de la población urbana dispone de un servicio regular de recolección de RSM. Sin embargo, en muchas zonas metropolitanas como México, Sao Paulo y otros no se incluye a las zonas marginadas ubicadas en áreas metropolitanas conurbanas.

La cobertura promedio de recolección es de 89% en las ciudades grandes y en las de menor tamaño es de 50 a 70% (cuadro 5.8). La recolección ocupa 0,2 a 0,4 trabajadores por cada 1.000 habitantes dependiendo de la generación por habitante, la concentración predial y el grado de dificultad de la ruta. En promedio cada trabajador recolecta 2 a 5 t/jornada. El equipo más usado es el camión compactador con capacidad de 10 a 15 m<sup>3</sup> y dos viajes de 4 a 8 toneladas por turno. Cuando por condiciones laborales sólo se hace un viaje, los camiones tienen que trabajar dos turnos. Las zonas de alto y mediano ingreso están bien atendidas pero en las zonas marginadas los servicios son esporádicos. Desgraciadamente, se les presta menos atención por la poca capacidad de pago de sus habitantes, por las difíciles condiciones topográficas, por el mal estado de las calles o por el carácter ilegal de los asentamientos.

Cuadro 5.5 Información de los servicios de recolección de varios municipios del país

LOCALIDAD	ESTADO	POBLACION SERVIDA	GEN. PER CAPITA (kg/hab/día)	GEN. día (ton)	Cobertura (%)	No. de rutas de recolección	No. de camiones	No. de emple recol	No. de emple/1000 hab.	No. de camiones/10,000 hab.
Los Cabos	Baja California Sur	63,900	1.252	80	90	10	9	18	0.254	1.263
Piedras Negras	Coahuila	135,000	0.593	80	100	15	8	48	0.356	0.593
Celaya	Guanajuato	273,750	1.096	300	75	32	20	76	0.208	0.548
Taxco de Alarcón	Guerrero	102,000	0.471	48	85	6	9	27	0.226	0.750
Naucaipan	México	855,000	1.404	1,200	95	120	120	480	0.533	1.333
Morelia	Michoacán	493,000	1.014	500	85	100	24	80	0.138	0.414
Tepic	Nayarit	293,000	1.024	300	100	27	21	126	0.430	0.717
Linares	Nuevo León	59,500	0.672	40	70	7	7	24	0.282	0.824
San Juan Bautista	Oaxaca	108,800	1.057	11	65	8	8	56	0.438	0.625
Puebla	Puebla	1,229,707	0.747	919	96	N/D	75	450	0.352	0.587
Tequisquiapan	Querétaro	47,500	0.526	25	95	8	6	22	0.440	1.200
Jose Maria Morelos	Quintana Roo	18,000	0.278	5	60	2	2	N/D	N/D	0.667
San Luis Potosí	San Luis Potosí	552,500	1.086	600	85	N/D	31	197	0.303	0.477
Puerto Peñasco	Sonora	24,000	1.250	30	60	6	6	18	0.450	1.500
Altamira	Tamaulipas	105,000	0.952	100	70	12	10	40	0.267	0.667
Huamantla	Tlaxcala	5,000	0.889	48	90	8	4	12	0.200	0.667
Zacatecas	Zacatecas	108,000	0.833	90	90	42	38	76	0.633	3.167

Fuente: Dirección General de Infraestructura y Equipamiento Urbano, SEDESOL. (N/D No disponibles)

La encuesta nacional de saneamiento básico efectuada en 4.425 municipios del Brasil por FIBGE, en 1989, reveló que el equipo de recolección de residuos sólidos en esos municipios ascendía aproximadamente a 39,000 unidades en total, con la siguiente distribución:

· Camiones compactadores	4.200 (11%)
· Camiones basculantes	3.600 (9%)
· Camiones tipo "prefectura"	400 (1%)
· Otros tipos de camiones	2.300 (6%)
· Carretas a tracción animal	1.200 (3%)
· Carretas manuales	27.300 (70%)
· Total	39.000 (100%)

En países como Bolivia, Brasil, Colombia, Guatemala, El Salvador, Honduras, México y Perú se han ensayado métodos no convencionales de recolección con participación comunitaria. Estos métodos de recolección primaria sustituyen parte del equipo de recolección convencional con carritos, triciclos y carretas manuales o semimecanizados, lo que da ocupación a algunos de los habitantes de la zona servida. Hasta ahora el resultado de las experiencias ha sido variable. Otros métodos consisten en la colocación de contenedores que se cargan mecánicamente con camiones compactadores provistos de izadores. Los habitantes de los alrededores se organizan para llevar su basura hasta esos recipientes, lo que reduce los costos de los servicios. Donde no hay servicio oficial de recolección, especialmente en áreas marginadas, la recolección ocasionalmente lo hace el sector informal y frecuentemente arroja los residuos a tiraderos clandestinos.

En la Región, los costos de recolección varían de 15 a 40 dólares por tonelada y en Estados Unidos de 50 a 125 dólares. Como resultado de políticas nacionales, los que más adelantos reportan son algunos países del Caribe, Cuba y Chile. En este último, la cobertura de recolección en las poblaciones urbanas ha alcanzado 98%. En el resto de los países, las ciudades medianas y pequeñas del interior alcanzan coberturas mucho más bajas y están siempre en condiciones críticas de equipamiento. En los cuadros 5.7 y 5.8 se muestran datos sobre la recolección en algunos países y ciudades.

Ante la falta de datos para comparar la eficiencia de la recolección entre los diferentes servicios municipales, se están empleando indicadores tales como tonelada de recolección/persona, operario de recolección por 1 000 habitantes y habitantes por camión de recolección. Aunque la tecnología de recolección entre los países de la Región es similar, con gran dependencia de equipo importado, la productividad y eficiencia varía grandemente entre ciudades, no todos los servicios municipales de las ciudades grandes utilizan técnicas para optimizar las rutas y el transporte; en las ciudades intermedias y pequeñas los procedimientos son totalmente empíricos y consecuentemente ineficientes

Los costos de recolección comparados con los países industrializados son inferiores, debido exclusivamente al bajo costo de la mano de obra latinoamericana. Las deficiencias y limitaciones anteriores están siendo superadas por empresas privadas, las que están incurriendo cada vez más en la recolección, no ocurre lo mismo en las ciudades menores, donde probablemente las microempresas se proyectarán con mayores posibilidades como sucede, por ejemplo, en Costa Rica y Perú.

Otras características de la recolección en la mayor parte de ALC son el uso de equipo convencional, camiones compactadores de carga trasera o lateral que operan bien en zonas urbanas pavimentadas, pero presentan problemas en calles con pendientes elevadas o en ciudades situadas a mucha altura sobre el nivel del mar, también hay problemas en el sistema de compactación debido a la mayor densidad de la basura y el sistema de mantenimiento es deficiente por falta de repuestos, de ahí que muchos servicios de recolección utilizan camiones de redilas y de volteo cuya adquisición, mantenimiento y operación son de bajo costo, ya que la menor eficiencia se compensa con los bajos salarios de los operadores.

La frecuencia de recolección municipal es generalmente de dos o tres veces por semana y también diaria en algunos sectores donde la generación de residuos sólidos comerciales así lo demanda (zonas céntricas, mercados, centros comerciales, áreas de turismo intenso, etc.). En algunas ciudades como Lima, la frecuencia de recolección es diaria en áreas residenciales de altos ingresos, lo que representa costos elevados, sin embargo, los usuarios se sienten satisfechos a pesar de que todos los días deben sacar pequeñas cantidades de basura. En el otro extremo, en las zonas marginadas la frecuencia de recolección es de una vez por semana, una vez cada dos semanas o en forma ocasional.

Las áreas metropolitanas y ciudades grandes están resolviendo el problema del servicio de recolección mediante contratos al sector privado, como sucede en Buenos Aires y Sao Paulo, o mediante el otorgamiento de concesiones a consorcios privados, como en Bogotá o incluso a recolectores privados del sector informal, como en la ciudad de Guatemala. Actualmente en Chile 80% de los servicios de recolección en ciudades de más de 50.000 habitantes son operados por empresas privadas. La productividad es superior en el sector privado que en los servicios de la municipalidad. En Colombia por ejemplo, mientras Cali emplea 0.4 operarios por 1,000 habitantes bajo el sistema de recolección municipal, Bogotá requiere 0.17, Barranquilla 0.15, y Santa Marta 0.12/1,000 habitantes bajo el sistema privado.

En las ciudades intermedias y menores, se identifican como aspectos críticos de la recolección, la baja cobertura y la escasa o nula atención a los asentamientos marginados urbanos

5.7 Cobertura de recolección y disposición final de residuos sólidos en las capitales latinoamericanas y en algunas ciudades mayores

Ciudad y año*	Servicio (grupo o subgrupo)	Ingesta/Ciudad (1,000/1000)	Número de Empleado(s)	Eficiencia por 1,000/1000	Proveído
M.S. Pinar (95)	Privado	10,000	0.6	2.2	2.2
M.Mexico (84)	Municipal	17,000	1.1	1.1	1.1
M.B. Arica (91)	Privado (97%)	-	-	-	-
J. De Janeiro (96)	Misto	12,000	1.2	0.8	0.8
Santiago (95)	Privado	-	-	-	-
Bogotá (95)	Privado	2,000	0.5	1.5	1.5
M. Lima (95)	Misto	5,500	0.7	0.6	0.6
Caracas (95)	Privado	2,110	1.7	0.7	0.7
Belo Horizonte (96)	Misto	-	-	-	-
M. Monterrey (98)	Misto	-	-	-	-
Salvador (96)	Misto	2,345	0.8	1.2	1.2
Santa Domingo (94)	Privado	-	-	-	-
Brasilia (95)	Misto	745	0.4	2.1	2.1
Guayaquil (98)	Riesgo	843	0.4	1.7	1.7
La Habana (81)	Municipal	1,800	0.9	0.3	0.3
Cali (98)	Municipal	1,313	0.7	1.0	1.0
Quilich (95)	Riesgo	-	-	-	-
Montevideo (95)	Municipal	2,143	1.7	0.5	0.5
Guatemala (92)	Misto	584	0.5	2.0	2.0
Audunon (95)	Municipal	1,100	0.9	1.0	1.0
San José (95)	Municipal	900	0.9	1.1	1.1
Santiago (99)	Misto	859	0.7	1.4	1.4
Quito (94)	Municipal	1,100	0.8	0.3	0.3
Paraná (95)	Municipal	2,100	2.8	0.4	0.4
Mexico (97)	Misto	750	0.5	1.0	1.0
Rosario (95)	Privado	-	-	-	-
San Salvador (92)	Municipal	1,150	0.9	0.5	0.5
Tempeque (95)	Municipal	480	0.5	1.4	1.4
Managua (94)	Municipal	-	-	-	-
Puerto España (93)	Misto	-	-	-	-
Castroja (95)	Misto	-	-	-	-
La Paz (98)	Privado	450	0.9	0.5	0.5
JOB. Paises (98)	Misto	700	1.0	0.3	0.3
Total	Municipal (52%)	71,712	0.3	1.0	1.0

\* Año de la última actualización.  
 Fuente: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Bogotá, Colombia, 1994.  
 M.M. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1995.  
 M.B. Arica: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Arica, Chile, 1991.  
 J. De Janeiro: Informe de la Comissão de Resíduos Sólidos, Prefeitura Municipal de Arica, 1996.  
 Santiago: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Santiago, Chile, 1995.  
 Bogotá: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Bogotá, Colombia, 1994.  
 M. Lima: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Lima, Perú, 1995.  
 Caracas: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Caracas, Venezuela, 1995.  
 Santa Domingo: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Santo Domingo, República Dominicana, 1994.  
 La Habana: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, La Habana, Cuba, 1981.  
 Cali: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Cali, Colombia, 1998.  
 Quilich: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Quilich, Colombia, 1995.  
 Montevideo: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Montevideo, Uruguay, 1995.  
 Guatemala: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Guatemala, 1992.  
 Audunon: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Audunon, Uruguay, 1995.  
 San José: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, San José, Costa Rica, 1995.  
 Santiago: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Santiago, Chile, 1999.  
 Quito: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Quito, Ecuador, 1994.  
 Paraná: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Paraná, Uruguay, 1995.  
 México: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, México, 1997.  
 Rosario: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Rosario, Argentina, 1995.  
 San Salvador: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, San Salvador, El Salvador, 1992.  
 Tempeque: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Tempeque, El Salvador, 1995.  
 Managua: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Managua, Nicaragua, 1994.  
 Puerto España: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Puerto España, Trinidad y Tobago, 1993.  
 Castroja: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Castroja, Chile, 1995.  
 La Paz: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, La Paz, Bolivia, 1998.  
 JOB. Paises: Informe de la Comisión de Estudios de Residuos Sólidos, Job. Paises, Chile, 1998.

Cuadro 5.8  
Datos sobre recolección en algunas ciudades

Ciudad(millones habitantes)	Almacenamiento	No. camiones(camión/No. hab)	Rendimiento	Frecuencia
La Habana, Cuba (2)	10% individual 90% comunal(contenedores)	200 (1/10,000)	3 min/100 m	6/7, 3/7
México, D.F., México (11)	individual normalizado	1.500 (1/7,300)	4 v/pers.	6/7
Río de Janeiro*, Brasil (5)	individual normalizado	565 (1/10,000)	3,3 v/pers.	3/7
Caracas, Venezuela (3)	individual normalizado	350 (1/8,000)	4,5 v/pers.	2/7
San José, Costa Rica (0,25)	70% bolsa plástico	35 (1/7,000)	3-5 v/pers.	6/7
Bogotá, Colombia (5,6)	Individual Normalizado		0,17 trab/1.000 hab	6/7, 3/7, 2/7
Medellín Colombia (1,5)	Individual Normalizado	115 (1/13,000)	0,20 trab/1.000 hab.	6/7, 3/7, 2/7
Cali, Colombia (1,8)	Individual Normalizado	109 (1/16,000)	0,40 trab/1.000 hab.	6/7, 3/7, 2/7
Barranquilla, Colombia (1,0)		49 (1/20,000)	0,15 trab/1.000 hab.	6/7, 3/7, 2/7
Sao Paulo, brasil (16,4)	Individual Normalizado	600 (1/27,000)		3/7
Brasilia, Brasil (1,8)	Individual Normalizado	144 (1/12,500)	0,65 trab/1.000 hab.	6/7, 3/7, 1/7, 1/5
Montevideo, Uruguay (1,4)	Individual Normalizado	169 (1/8,300)	0,43 trab/1.000 hab.	6/7, 3/7
Asunción, Paraguay (1,2)		50 (1/24,000)	0,19 trab/1.000 hab	6/7, 3/7, 1/7
Monterrey, México (2,8)		183 (1/15,300)	0,08 trab/1.000 hab.	3/7, 2/7
Estados Unidos (media)	Individual Normalizado	(1/4,000 hab)	5-8 v/pers.	1/7, 2/7, 2/7

Fuente: OPS El manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe, 1995, Serie Ambiental No. 15.

OPS. Sistema de Monitoreo de Residuos Urbanos, SIMRU, 1996

OPS BID, Informes de expertos locales para el presente diagnóstico, 1996

## INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

### CAPITULO 6 TRANSPORTE Y TRANSFERENCIA

- 6.1 TRANSPORTE EN MACRORUTAS
- 6.2 ESTRUCTURA VIAL
- 6.3 TRANSPORTE EN MICRORUTAS
- 6.4 TRANSPORTE CON TRANSFERENCIA
- 6.5 IMPACTOS AMBIENTALES EN LA RECOLECCIÓN

## 6. TRANSPORTE Y TRANSFERENCIA

El transporte de los RSM se puede dividir en macro-recorridos (macro-rutas) y micro-recorridos (micro-rutas). El primero se refiere a las áreas o distritos cubiertos por los itinerarios de recolección y el segundo a cada itinerario concreto que dentro de un distrito determinado, seguirá el camión de que se trate y la cuadrilla que va con él. La expresión macro-recorrido también puede aplicarse al conjunto de los itinerarios que se asignan diariamente al total de las cuadrillas de un distrito. Si la política del municipio consiste en efectuar una sola recolección a la semana -y son numerosas las comunidades locales que operan con esta frecuencia- a la cuadrilla puede asignársele un recorrido distinto para cada día laborable, como ejemplo tenemos para el Distrito Federal (ver anexos ) que su Reglamento para el Servicio de Limpia en el Artículo 6 menciona lo siguiente:

"Corresponde al Departamento por conducto de las Delegaciones:

Fracción VI Establecer rutas, horarios y frecuencias en que debe presentarse el servicio público de limpia pudiendo, después de escuchar a los vecinos, modificarlos de acuerdo a las necesidades de dicho servicio"

### 6.1 TRANSPORTE EN MACRORUTAS

El primer problema de la recolección de desechos sólidos consiste en determinar el número de vehículos que deben utilizarse dada la generación de basura y la potencialidad económica del municipio, la solución se puede encontrar modelando mediante Programación Lineal Entera y deberá apoyarse con un tratamiento de confiabilidad del servicio que esos camiones deberán proporcionar.

Enseguida se plantea el problema, una vez que ha sido dividida la ciudad en "n" áreas de recolección, determinar qué tipo y cantidad de vehículos recolectan, en un tiempo mínimo la totalidad de basura generada en cada una de las áreas. La solución recomendada se encuentra mediante el algoritmo del Transporte

Conociendo la vialidad de cada una de las áreas de recolección, queda por definir el ruteo individual de cada vehículo que la sirve solucionándose por métodos Heurísticos o Determinísticos o como se recomendaba anteriormente mediante la aplicación del algoritmo de Little que ha resuelto el problema del "Agente Viajero" o el algoritmo del "cartero chino"

Finalmente, cuando el sitio de disposición final es lejano y los vehículos invierten tiempo en transportar basura, descargar y regresar, se prefiere localizar estaciones de transferencia en sitios estratégicos que permitan, con vehículos especiales con carga máxima de basura, tener el tiempo mínimo de transporte. La decisión de construir o no una estación de transferencia siempre será una decisión económica, comparando costos de transporte

por tonelada considerando costos con o sin estación de transferencia

### Determinación del número óptimo de camiones

Se presenta a continuación el planteamiento de un programa lineal que consiste en minimizar una función objetivo que no es otra cosa que el costo unitario por tonelada de los vehículos de recolección:

### MÉTODO DETERMINISTICO

$$\Sigma = \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

$c_i$ : costo unitario de carga de cada tipo de camión empleado, en \$/ton  
 $x_i$ : número de camiones de cada tipo empleado  
 $n$ : número total de tipos de camiones empleados

es evidente que se tiene la condición:

$x_i \geq 0$  para toda  $i$   
 sujeto a las siguientes restricciones:

#### 1a. Restricción:

La frecuencia de recolección de basura para un asentamiento humano depende principalmente del tiempo que tarda la basura en producir olores desagradables en función del clima de la ciudad y el ciclo de reproducción de la mosca.

Las opciones de frecuencia de recolección durante una semana son las siguientes:

- que se recoja la basura:

- diariamente
- cada tercer día
- dos veces a la semana
- una vez a la semana

Si una población genera una cantidad "S" de basura por día y, analizando las frecuencias anteriores, se llega al cuadro 6.1

Cuadro 6.1  
 RESULTADO DEL ANALISIS DE LA OPERACION DEL  
 SISTEMA EN FUNCION DE LA FRECUENCIA DE RECOLECCION

FRECUENCIA DE RECOLECCION	INVENTARIO DE BASURA EN EL SISTEMA		BASURA QUE QUEDA EN LA CIUDAD EL DOMINGO	BASURA MAX QUE DEBE RECOGERSE	DIAS EXTRAORDINARIOS DE RECOLECCION	RESTRICCION
	BASURA QUE QUEDA	BASURA QUE SE RECOGE				
Diariamente	0	S	S	2S	Lunes	$0 \leq \sum_{i=1}^n \frac{w_i x_i N_i}{F_i} = S$
Cada tercer día	S/2	S	3/2S	3/2S	Lunes y Martes	$S/2 \leq \sum_{i=1}^n \frac{w_i x_i N_i}{F_i} = S$
Dos veces a la semana	S	S	2S	4/3S	Lunes, Martes y Miércoles	$\sum_{i=1}^n \frac{w_i x_i N_i}{F_i} = S$
Una vez a la semana	Crece continuamente y nunca se estabiliza, por lo que no se recomienda					

donde:

$w_i$ : peso en Kg de la basura que puede recolectar cada tipo de camión empleado.

$N_i$ : número de viajes por día de cada tipo de camión empleado. Los viajes se prefieren completos aunque pueden hacerse fraccionarios.

$F_i$ : factor que implica la eficiencia de llenado de cada tipo de camión empleado

$S$ : generación de basura diaria en Kg. de la población de proyecto

$$S = (PG + B) \frac{7}{d}$$

donde:

P = población en habitantes

G = generación en Kg/hab. día

B = otro tipo de basura recogida en la ciudad, en Kg.

d = días laborales a la semana

### 2a. Restricción

$$\sum_{i=1}^n k_i x_i \leq W$$

donde:

n : número de vehículos

$k_i$ : costo diario por mano de obra de operación de cada tipo de camión empleado.

W: costo diario de operación de presupuesto de los vehículos, que el municipio está erogando

### 3a. Restricción:

$$\begin{aligned} x_1 &\leq a \\ x_2 &\leq b \\ x_{n-1} &\leq p \end{aligned}$$

donde:

a, b, ..., p: número de camiones actuales de cada tipo empleado

### 4a. Restricción

$$P_a x_j \leq L$$

donde:

$P_a$ : precio de adquisición de un chasis con carrocería de recolección, nuevo.

$X_j$ : número de vehículos de recolección nuevos

L: cantidad que el municipio puede erogar para adquirir equipo nuevo.

La aplicación de esta formulación proporciona entonces el número de cada tipo de camión y su solución será la que minimice la función objetiva propuesta

### Camiones adicionales para una confiabilidad en el Sistema de Recolección.

Un sistema de manejo de desechos sólidos trabaja regularmente durante ocho o más horas al día, seis días a la semana, cincuenta y dos semanas al año generalmente, por lo que se dice que este sistema es ininterrumpido.

La mayoría de las veces, la falla en un sistema es ocasionada por la falla en uno de sus componentes

Nuestro interés radica en conocer cuánto dependemos de un sistema, lo cual obliga a conocer la confiabilidad del sistema, que puede definirse como la probabilidad de no fallar en el tiempo "t" sea:

$$\begin{aligned} R(t) &= p\{0, t\} && \text{o bien} \\ R(t) &= 1 - p\{x \geq 1, t\} \end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned} R(t) &= \text{confiabilidad} \\ x &= \text{número de fallas en el tiempo "t"} \\ p\{x \geq 1, t\} &= \text{probabilidad de una o más fallas en el tiempo "t"} \end{aligned}$$

aceptando que la falla ocurre como discreta, siempre e independiente, la posibilidad de exactamente x fallas en el tiempo t está dada por la fórmula de la distribución de Poisson:

$$p\{x, t\} = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!}$$

donde:

$$\mu = \text{número esperado de fallas} = \lambda t \quad (\lambda \text{ es la tasa promedio de fallas por unidades de tiempo})$$

si  $x = 0$ , o sea el caso de cero fallas la confiabilidad quedará:

$$R(t) = p\{0, t\} = e^{-\lambda t}$$

el esfuerzo para lograr una confiabilidad deseada de un sistema deberá ser dirigido para prevenir una falla o una combinación de fallas en el equipo de recolección que ocasionen que el sistema falle.

Para lograr este objetivo deberá ponerse especial interés en tener equipo de reserva, y efectuar prácticas de mantenimiento preventivo y correctivo, esto permite que todo sistema de manejo y disposición de desechos sólidos tenga las siguientes metas:

- a) Lograr un manejo adecuado de la basura producida por cualquier asentamiento humano desde el punto de vista sanitario, y

b) Conseguir una operación del mismo, de manera eficiente y económica.

Se dice que ocurre una falla, cuando un vehículo de recolección tiene un problema que le impide operar o ejecutar la recolección. Cuando ocurre la falla de un vehículo de recolección se pierde la realización satisfactoria de la recolección de basura doméstica, hasta que se le ejecuta el servicio de reparación o mantenimiento correctivo.

Por el contrario se dice que ocurre un funcionamiento defectuoso cuando el vehículo tiene un problema que no le impide recolectar basura. Sin embargo, un funcionamiento defectuoso puede producir una operación inconveniente o ineficiente.

Para un sistema de recolección de basura doméstica las horas totales de operación del equipo "h" serán igual a la cantidad de vehículos operando cada día multiplicado por el número de horas estimadas de operación y por día y multiplicado por el número de días trabajados al año, sus unidades son horas/año.

El tiempo medio entre fallas " $\bar{T}$ " será igual a las horas totales de recolección entre el número de fallas por año:

$$\bar{T} = \frac{h(\text{horas totales})}{\text{no. de fallas al año}}$$

El tiempo entre funcionamiento defectuoso " $\bar{T}$ " será igual a las horas totales de recolección entre el número de funcionamientos defectuosos al año:

$$\bar{T} = \frac{h(\text{horas de recolección})}{\text{no. de funcionamientos defectuosos al año}}$$

El ciclo de trabajo "CT" será igual al número de horas que operara el vehículo al día entre el número de horas que opera el sistema al día.

La tasa de fallas " $\lambda$ " es la tasa a la cual las fallas ocurren durante un intervalo del tiempo de recolección y es el recíproco del tiempo medio entre fallas.

$$\lambda = \frac{1}{\bar{T}}$$

Los vehículos de reserva con que deberá contar la flotilla para asegurar un funcionamiento adecuado del sistema, por lo menos durante el año del análisis, se determinará mediante un árbol de decisiones que permitan conocer la confiabilidad del sistema por día, semana y mes.

El árbol contiene la probabilidad de que la descompostura ocurra en cada uno de los vehículos de recolección, contemplando además la probabilidad de descompostura y no descompostura de cada vehículo en base a datos históricos.

#### Asignación de Camiones a las Áreas de Recolección

Nuestro problema de asignación, en particular la asignación de vehículos de recolección a trabajos de recolección de basura que debe ejecutarse, con base a la basura generada en cada área de recolección.

La división de áreas debe efectuarse teniendo en consideración los siguientes factores:

- Las fronteras naturales como son los ferrocarriles, carreteras o calles muy transitadas y los ríos o canales que atraviesen a la ciudad.
- Las diferentes densidades de población, generación y tipo de basura de la ciudad.
- El tiempo y la distancia empleada para un viaje redondo hasta el sitio de disposición final o a la estación de transferencia.

Este problema puede plantearse empleando la matriz de tiempos por Kg. transportado:

$$t(i,j) = T(i,j)/S_j$$

que resulta de asignar una unidad de recolección "i" al trabajo de recolectar la basura en el área "j". Estos tiempos son independientes, esto es, el tiempo que un camión asignado a una ruta de recolección ocupa en cubrirla, no depende del modo en que los otros camiones se asignan a las otras rutas.

VEHÍCULO DE RECOLECCIÓN	AREAS DE LA CIUDAD						CANTIDAD DE BASURA QUE PUEDE SER TRANSPORTADA POR CADA CAMIÓN EN KG
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	...	A <sub>i</sub>	...	A <sub>n</sub>	
V <sub>1</sub>	t <sub>1,1</sub>	t <sub>1,2</sub>	...	t <sub>1,i</sub>	...	t <sub>1,n</sub>	S <sub>1</sub>
V <sub>2</sub>	t <sub>2,1</sub>	t <sub>2,2</sub>	...	t <sub>2,i</sub>	...	t <sub>2,n</sub>	S <sub>2</sub>
...	...	...	...	...	...	...	...
V <sub>i</sub>	t <sub>i,1</sub>	t <sub>i,2</sub>	...	t <sub>i,i</sub>	...	t <sub>i,n</sub>	S <sub>i</sub>
...	...	...	...	...	...	...	...
V <sub>m</sub>	t <sub>m,1</sub>	t <sub>m,2</sub>	...	t <sub>m,i</sub>	...	t <sub>m,n</sub>	S <sub>m</sub>
CANTIDAD DE BASURA PRODUCIDA EN CADA AREA EN KG.	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	...	S <sub>i</sub>	...	S <sub>n</sub>	

Puede ocurrir que la suma de la cantidad de basura que puede ser transportada por los camiones sea igual a la cantidad de basura producida en todas las áreas, o sea que:

$$\sum_{i=1}^m s_i = \sum_{j=1}^n S_j$$

y se tendrá entonces un problema balanceado de asignación

Si esto ocurre se dice que el problema es desbalanceado y se requerirá no sólo conocer la asignación de camiones a rutas, sino determinar que partes de ciertas áreas no se recogerán con este equipo si:

$$\sum_{i=1}^m s_i < \sum_{j=1}^n S_j$$

o bien que camiones no deben utilizarse si:

$$\sum_{i=1}^m s_i > \sum_{j=1}^n S_j$$

Es obvio que el problema más frecuente será que los camiones sirvan a varias rutas de áreas distintas, por lo que los trabajos de recolección se harán con una combinación de camiones. Como tanto en los trabajos de recolección y en la capacidad de los camiones se han expresado con el mismo tipo de unidades (Kg de basura) el problema es un problema de distribución.

Se hace notar que un camión puede surtir varias áreas, lo que implica una nueva zonificación que agrupe las nuevas zonas servidas, que en este momento constituyen las rutas de recolección buscadas.

### DISEÑO DE RUTAS

Para analizar sistemas de recolección donde se puedan minimizar los costos, existen diversas técnicas. Considerando un sistema simple como el de la figura 6.1, los residuos generados en cuatro áreas de recolección (indicados por los centroides de cada área o zona, especialmente si los sitios de disposición están cerca de las rutas de recolección), los que pueden ser enviados a dos sitios de disposición. El objetivo es obtener el costo mínimo.

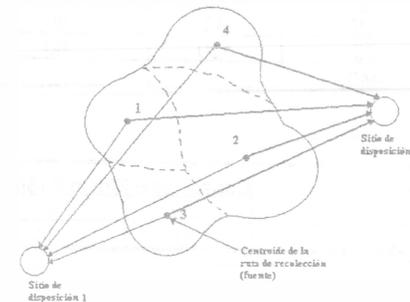


Figura 6.1 Elementos simplificados de un sistema de manejo de residuos sólidos utilizados en el ejemplo

3°. Todos los desechos transportados deben ser una cantidad positiva (no negativa).

$$X_{ik} \geq 0$$

En donde:

$B_k$  = Capacidad de disposición del sitio k, en cantidad de desechos por unidad de tiempo.

$W_i$  = Cantidad total de desechos generados en la fuente i por unidad de tiempo.

EJEMPLO:

Supongamos la generación de sólidos y su disposición mostrados en la figura 6.1.

#### TRANSPORTE

Fuente i	Generación $W_i$ (Ton/semana)	Costo de transportación $C_{ik}$	
		sitio1 (\$/ton.)	sitio2 (\$/ton.)
1	100	50	120
2	130	70	50
3	125	40	80
4	85	130	60
TOTAL	440		

#### DISPOSICIÓN

Sitio de disposición k	Capacidad $B_k$	Costo $F_k$ (\$/ton)
1	450	40
2	20	60

Se pueden calcular los costos para varias opciones:

##### Opción 1

Suponiendo que se enviarán todos los residuos al sitio de disposición final 1 ( $k=1$ ), el costo será

##### 1.1 Costo del transporte

Para el diseño se deben cumplir los siguientes requisitos:

- 1°. La capacidad de cada sitio de disposición final es limitada
- 2°. La cantidad de basura a disponer deberá ser igual a la basura generada
- 3°. Los centroides de las rutas de recolección no pueden considerarse como sitios de disposición; o la basura transportada desde cada área de recolección deberá ser mayor que o igual a cero.

El problema se reduce a minimizar la siguiente **función- objetivo**:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K X_{ik} C_{ik} + \sum_{k=1}^K \left[ F_k \sum_{i=1}^N X_{ik} \right]$$

En donde:

$N$  = Número de fuentes i

$K$  = Número de sitios de disposición k

$X_{ik}$  = Cantidad de desechos transportados de la fuente i al sitio de disposición k en unidades de tiempo.

$C_{ik}$  = Costo por cantidad de desechos transportados de la fuente al sitio de disposición k

$F_k$  = Costo de la disposición por cantidad de desechos dispuestos en el sitio k (capital + operación).

El primer término de la **función-objetivo** son los costos de transportación y el segundo son los costos de disposición.

Con las siguientes restricciones:

- 1°. La suma de todos los residuos transportados fuera de cada área, debe ser igual o menor que la capacidad de los sitios de disposición que reciban los desechos.

$$\sum_{i=1}^N X_{ik} \leq B_k \text{ para todos los } k$$

- 2°. La suma de todos los sólidos transportados de un área o zona (a cualquier sitio de disposición) tiene que ser igual a la cantidad generada en esa sección.

$$\sum_{k=1}^K X_{ik} = W_i \text{ para todos los } i$$

Disposición al Sitio K	De la Fuente i	Desechos a transportar (ton/semana)	Costo de transporte al sitio (\$/ton)	Costo del transporte (\$/semana)
1	1	100	50	5000
1	2	130	70	9100
1	3	125	40	5000
1	4	85	130	1150
<b>TOTAL</b>		<b>440</b>		<b>30,150</b>

1.2 Costo de operación = 440 ton/semana x 40 \$/tonelada = 17,600/semana

Costo total = 30,150 + 17600 = \$ 47,750/semana

Opción 2

El costo anterior tal vez no sea la mejor solución para buscar el costo mas bajo, es conveniente analizar la utilización de los dos sitios de disposición final utilizando el algoritmo de transportación:

Disposición al sitio (k)	De la fuente (i)	Desechos a transportar (ton/semana)	Costo del transporte (\$/semana)	Costo del proceso (\$/semana)	Costo total (\$/semana)
1	1	100	5,000	4,000	
1	2	25	1,750	1,000	
1	3	125	5,000	5,000	
<b>SUMA 1</b>		<b>250</b>	<b>11,750</b>	<b>10,000</b>	<b>21,750</b>
2	2	105	5,250	6,300	
2	4	85	5,100	5,100	
<b>SUMA 2</b>		<b>190</b>	<b>10,350</b>	<b>11,400</b>	<b>21,750</b>
<b>TOTAL</b>		<b>440</b>	<b>22,100</b>	<b>21,400</b>	<b>43,500</b>

Tenemos el costo mínimo de \$ 43,500

Costo menor, con un ahorro entre las dos opciones de:  
\$ 47,750 - \$ 43,500 = \$ 4,250 semanales

Nótese que se tiene capacidad disponible en el relleno 1 de 450-250 = 200

## 6.2 ESTRUCTURA VIAL

Los cada vez más frecuentes problemas de circulación que se presentan en las ciudades, obligan a realizar un análisis detallado sobre la infraestructura vial con la que se cuente en la zona de estudio, el considerar este factor es de suma importancia debido a que por

estas vialidades circularán los vehículos recolectores y de transferencia

Existen una serie de restricciones para la circulación de acuerdo al tipo de vialidad, estas pueden ser por el tipo de vehículo o en horarios determinados

Las vías públicas se clasifican en red vial primaria y en secundaria, a continuación se presenta su subclasificación:

### Red vial primaria

#### Vías rápidas de acceso controlado

Las vías de acceso controlado son de alta velocidad y se restringen en los horarios diurnos para el tránsito del transporte de carga, tanto público como mercantil que se realice con vehículos clasificados como pesados por el Reglamento de Tránsito, y que pueden ser utilizadas en los horarios nocturnos que se determinen, siempre y cuando por su peso, dimensiones y características no dañen los pavimentos de estas vías de circulación. (Figura 6.2)

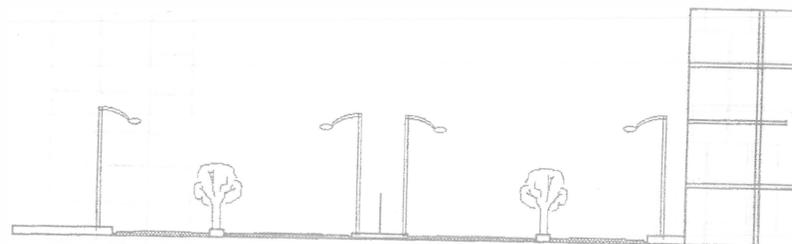


Figura 6.2 Sección transversal de vía de acceso controlado

#### Avenidas principales

Estas vías son arterias ortogonales destinadas al tráfico de larga distancia y de velocidad moderada, generalmente con tráficos opuestos separados por una faja central divisoria. Este tipo de vías cuentan con un sistema de semáforos sincronizados para agilizar el flujo vehicular; en estas vialidades es posible que circulen vehículos pesados y de grandes dimensiones como son los de transferencia. (figura 6.3 y 6.4)

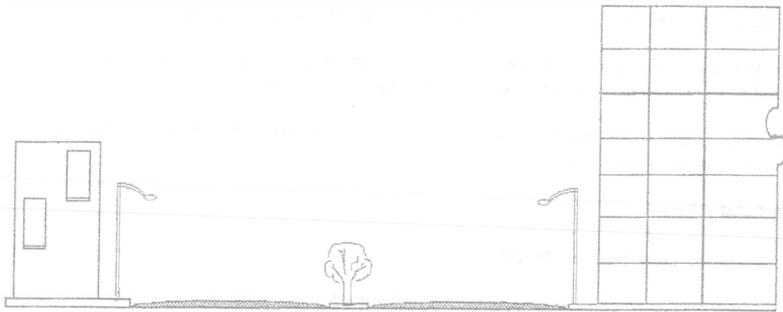


Figura 6.3 Sección transversal de avenida principal



Figura 6.5 Sección transversal de calle principal

#### Calle local

Este tipo de vías son las que se encuentran en zonas habitacionales, por estas vialidades se restringe en algunos casos la circulación de vehículos pesados, por lo que es conveniente analizar la geometría que presentan estas zonas, las rutas a seguir y el equipamiento que atenderá a estas zonas (Figura 6.6)

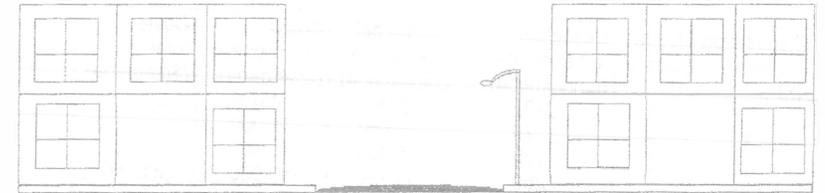


Figura 6.6 Sección transversal de calle local

#### Integración de información

Una vez recopilada la información es conveniente realizar un diagnóstico con la finalidad de establecer, en primer lugar, los indicadores referentes a la generación de residuos sólidos que se presentan normalmente tanto en el volumen general, como en lo que se refiere al tipo de desechos que se generan con mayor incidencia; y a los patrones de conducta observados en la población relacionados con el manejo de residuos, identificando los diferentes esquemas que se presentan en la zona de estudio, esto es importante para contar con información que permita medir más claramente las características actuales que demanda el sistema en estudio y para tener bases sólidas al hacer el planteamiento sobre la necesidad de contar o no, con una o varias estaciones de transferencia.



Figura 6.4 Sección trasversal de eje vial

#### Red vial secundaria

##### Calle principal

Estas vías alimentan a la red vial primaria, donde transitan volúmenes de tráfico inferiores, las normas de diseño no son tan estrictas como en la red primaria además, es factible que circulen camiones pesados como son los vehículos recolectores exclusivamente. (Figura 6.5)

La información recabada se vaciará en planos de la zona de estudio, con lo que se estará en posibilidades de iniciar la aplicación de la metodología para el emplazamiento de las rutas y las estaciones de transferencia.

### 6.3 TRANSPORTE EN MICRORUTAS

Se le llama así al recorrido específico que deben cumplir diariamente los vehículos recolectores en los sectores de la localidad donde han sido asignados, con el fin de recolectar en la mejor forma posible los residuos generados por los habitantes de dicha zona o sector.

El diseño de microrutas, de acuerdo a la localidad, debe hacerse con base en una serie de factores variables, los cuales se enuncian a continuación.

#### FACTORES VARIABLES DE DISEÑO DE MICRO-RUTAS

- Traza urbana de la localidad
- Topografía de la localidad
- Ancho y tipo de calles
- Método de recolección
- Equipo de recolección
- Generación de residuos sólidos
- Frecuencia de recolección

Cabe aclarar que un mal diseño de las micro-rutas, trae aparejados graves daños al sistema de recolección, entre los cuales se pueden citar los siguientes: a) Desperdicio del equipo y personal de la recolección de los residuos; b) reducción en la cobertura del servicio de recolección; c) incremento de los costos del servicio de limpia; d) la proliferación de tiraderos clandestinos a cielo abierto en diferentes puntos de la localidad y e) protestas de la comunidad por deficiencias en el servicio.

Si se pretende operar un servicio de recolección eficiente en cualquier localidad, se deberá poner especial interés en señalar adecuadamente las micro-rutas.

Existen tres métodos para el diseño de las micro-rutas de recolección de residuos sólidos.

- Diseño con base en el juicio y experiencia del proyectista
- Métodos Heurísticos
- Modelos Determinísticos

Actualmente en el medio mexicano, el método más empleado para el diseño de las

micro-rutas, es con base en el juicio y experiencia del proyectista; aunque en la mayoría de los casos quien determina la ruta de recolección, es el Jefe de Limpia, o los chóferes de los vehículos recolectores, quienes hacen las veces de "proyectistas". Obviamente que el criterio y experiencias tanto de los chóferes como del jefe de limpia, no es el mejor, por lo que las rutas de recolección diseñadas por tales "proyectistas" dejan mucho que desear en cuanto al aspecto técnico, aunado a lo anterior, está el hecho de que generalmente las rutas que establecen los chóferes de los vehículos recolectores "casualmente" atienden a aquellas casas habitación, comercios y cualquier otro tipo de fuentes generadoras que proporcionan un buen pago extra por el servicio de recolección (propina). Aunque el proyectista, fuera en realidad una persona con criterio y experiencia en el área en cuestión, es muy difícil que pueda evaluar correctamente todas las variables que entran en el diseño de las rutas de recolección.

Por lo anterior, se considera que el método de diseño antes descrito, es más ineficiente y por tanto el menos recomendado de cuantos existen.

De los métodos heurísticos, se puede decir que son aproximados y que se basan en el sentido común del proyectista y en ciertas reglas de "dedo". Aparentemente, requiere de un mínimo de tiempo, de recursos económicos y materiales, además varios autores consideran que son adaptables a un amplio rango de problemas.

Los costos operativos de los itinerarios de la recolección suelen representar un valor importante dentro de la gestión de los residuos. El estudio de los itinerarios y sus características facilitara mejorar su eficacia y por consiguiente la gestión de los residuos.

En un momento determinado muchas personas expresaron su confianza en que el potencial analítico que ofrece el ordenador electrónico permitiría la obtención de itinerarios de recolección de basuras que dieran un máximo de eficiencia al servicio y redujeran los costos operativos al mínimo posible. Algunos expertos en computadoras intentaron preparar modelos de programación que proporcionaran soluciones adecuadas, como son los algoritmos del "problema del agente viajero" y el del "cartero chino", pero pronto se advirtió que el gran número de variables en juego, (ancho de vía, sentido e intensidad del tráfico, pendientes, etc.) y la dificultad de su respectiva evaluación hacían que no resultase práctico éste método de enfocar el problema.

La alternativa que queda consiste en estudiar los itinerarios conjuntamente con los administradores de la entidad municipal utilizando al máximo los conocimientos y la experiencia de quienes en la práctica han realizado estas tareas. Se trata -como se indica en un reciente informe elaborado por la EPA- de lo que se conoce con la denominación de "determinación heurística de itinerarios" ("heuristics routing") que puede definirse como "un proceso interactivo, lógico y de sentido común que con base en la experiencia permite organizar ideas, conceptos e información con vistas a

obtener una solución o resultado útil". Se reconoce abiertamente que quienes son responsables de la realización del trabajo, son precisamente los que están en mejor posición para introducir mejoras en los itinerarios, sin más que atenerse a unas pocas reglas y directrices lógicas.

Las principales reglas de "dedo", empleadas para el diseño de las rutas de recolección por métodos heurísticos son las siguientes:

- Seguir el sentido de circulación
- Minimizar vueltas a la izquierda
- Iniciar la ruta lo más cercano al lugar de encierro
- Eliminar vueltas en "U"
- Evitar la recolección en calles de tránsito pesado durante horas pico
- Debe preferirse rutas rectas y largas.

En lo que se refiere a la determinación de itinerarios concretos (microrecorrido), las reglas heurísticas de la EPA pueden proporcionar una orientación constructiva al proyectista y al administrador de los servicios de recolección y eliminación de residuos sólidos. Estas reglas son:

- Limitar cada itinerario a un área que sea lo más "compacta" posible. No fragmentar ni superponer itinerarios. Igualar las cargas de trabajo de modo que resulte razonablemente equiparado el tiempo invertido en cada recorrido de recolección y acarreo.
- Iniciar el itinerario de recolección en el punto más próximo posible al garaje o centro de operaciones, teniendo siempre en cuenta la existencia de calles de tráfico intenso y de un solo sentido.
- Evitar que la recolección en las calles de más circulación tengan lugar a las horas de mayor intensidad de tráfico. Si en el área predominan las calles de un solo sentido conviene iniciar el itinerario en uno de sus extremos y debe hacerse en forma de "rizos" aprovechando las calles transversales, como se indica en la Figura 6.7.
- Incluir las calles sin salida (callejones) en el área de recolección de las calles que se cruzan. Programar la recolección de forma que los camiones cambien de dirección mediante giros a la derecha. Ello resulta especialmente importante cuando se trata de camiones que no llevan más operario que el conductor.
- Cuando se trate de un área con cuestas empinadas, iniciar en lo posible la recolección en el punto de máxima elevación. Recoger las basuras de ambos

lados de la calle mientras el vehículo circula cuesta abajo. Este procedimiento mejora la seguridad de la operación, reduce el desgaste del vehículo y ahorra combustible y lubricantes

- Para facilitar la recolección a ambos lados de la calle en el mismo recorrido conviene programar los itinerarios siguiendo rutas largas y rectilíneas, intentando atravesar la vía perpendicular a la dirección que llevamos antes de girar para retroceder haciendo "rizos", generalmente en el sentido de las agujas del reloj. En la figura 6.6 se observan las maniobras aconsejadas, sin olvidar que es importante la realización de un estudio "in situ", es decir debemos recorrer la zona con el objeto de identificar los puntos críticos.

Estas reglas generales resultan más aplicables cuando se trata del sistema normal de trazado de calles en cuadrícula, pero actualmente son pocas las calles de nuevo trazado que se ajustan a este modelo de forma tan estricta y constante como en otras épocas, por lo que con trazados de calles en curva, por ejemplo, tanto los directivos como los operarios que realizan el servicio deberán prestar aun mayor atención en la particular manera en que se efectuara cada recorrido.

Cuando se trata de áreas céntricas en poblaciones grandes, es necesario que la retirada de los desechos voluminosos se efectuó sobre la base de un sistema cuidadosamente organizado. Los residentes de estos barrios tienen menos oportunidad de trasladar los desechos hasta los puntos preestablecidos para la descarga de residuos voluminosos, situados generalmente en el extrarradio o periferia del núcleo urbano. Además, es frecuente que los residentes con ingresos escasos carezcan de recursos suficientes para acarrear estos desechos asumiendo su costo.

Recordando la recomendación de CEPIS, a los métodos determinísticos, a continuación solo se mencionan los más utilizados para que el lector los conozca e identifique.

Métodos **determinísticos** en ellos, se pueden involucrar todos los parámetros que con cierto peso inciden en el diseño de las rutas de recolección de basura, además algunos autores consideran que con este tipo de métodos se obtienen rutas óptimas de recolección de basura. Ahora bien dos de los más importantes métodos determinísticos para el diseño de las microrutas, son los siguientes algoritmos:

- Algoritmo de Little para resolver el problema del **agente viajero** (método de esquina)
- Algoritmo **del cartero chino** (método de acera)

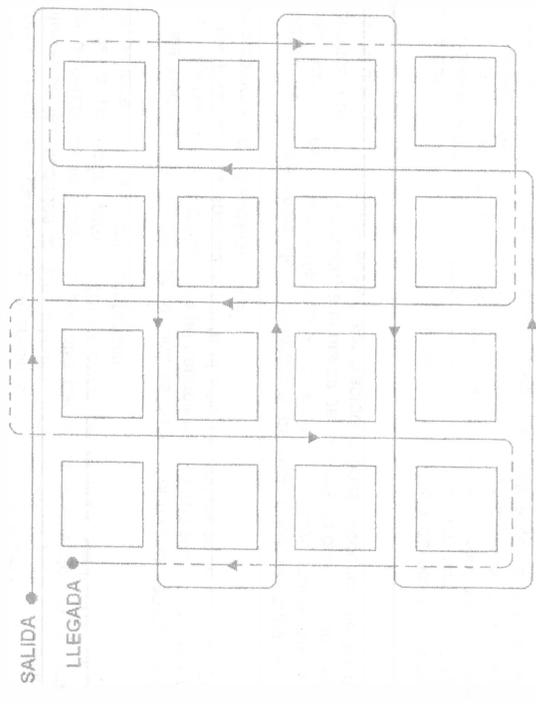
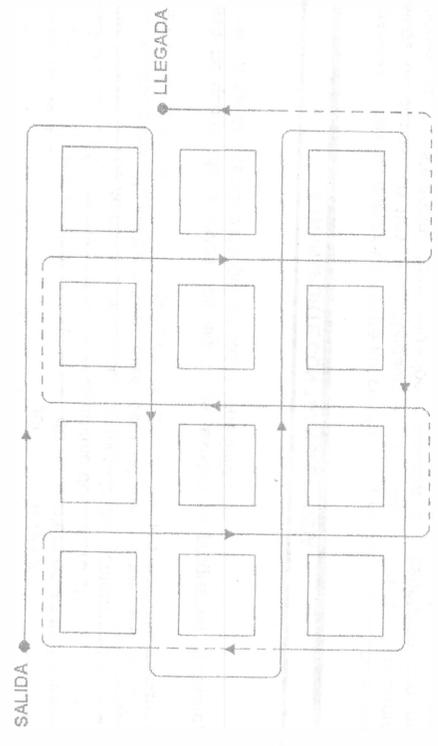
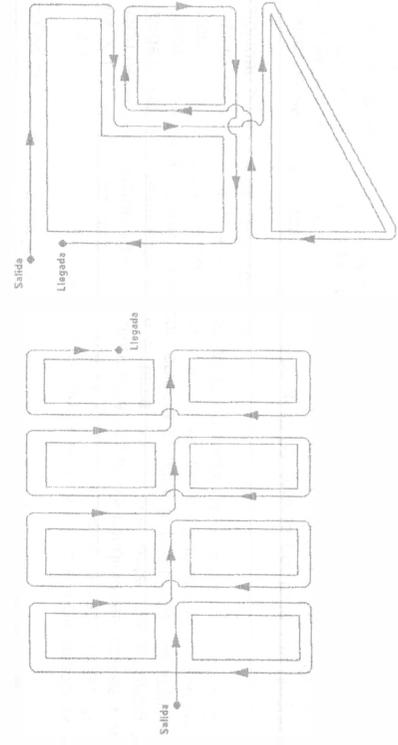
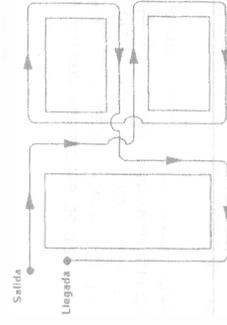
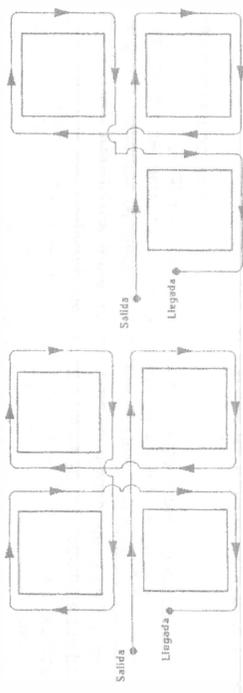


Figura 6.7 Organización de itinerarios

Continuación Figura 6.7 Organización de itinerarios

El primero de ellos se aplica en los casos en que la demanda es continua o semicontinua, de acuerdo con esto último, el algoritmo que resuelve el problema del agente viajero, se deberá emplear cuando el método de recolección es exclusivamente de esquina o parada fija; mientras que con el algoritmo del cartero chino, se diseñaran las rutas cuando se cuente en la localidad con un método de recolección tipo acera o intradomiliaria o bien alguna de sus variantes, cabe aclarar que este último algoritmo, también se puede emplear para el diseño de las rutas de barrido manual y mecánico.

En caso de querer utilizar estos dos algoritmos, existen ya programas (software) de computación que se pueden conseguir en casas especializadas.

#### 6.4 TRANSPORTE CON TRANSFERENCIA

Las grandes distancias que existen entre los centros de gravedad de las poblaciones a los sitios de disposición final, han obligado a los municipios al uso creciente de estaciones de transferencia. Esta situación comienza a presentarse con mayor frecuencia en las poblaciones medias del país que desarrollan actividades económicas importantes, ya que esto trae consigo el crecimiento de los asentamientos humanos en las periferias de las ciudades lo que dificulta localizar sitios para disposición final cercanos al centro de la localidad, por otra parte, los costos de los terrenos y el rechazo de la población para la construcción de rellenos sanitarios, dificulta la selección de terrenos en las zonas periféricas.

Existen dos modalidades de transporte, una es cuando el mismo vehículo recolector realiza el viaje hasta el sitio de vaciado (al tratamiento o a la disposición final) y la otra cuando los RSM son transportados hasta el sitio de transferencia para su posterior traslado a tratamiento o disposición final.

El propósito de los sistemas de transferencia es recibir los residuos sólidos de vehículos recolectores para transferirlos a un vehículo de mayor capacidad y así ser transportados (con un menor costo) a la planta de tratamiento o al sitio de disposición final, estos grandes vehículos suelen ser tractocamiones, vagones de ferrocarril o barcos.

A medida que los sitios de relleno escasean y la distancia de acarreo aumenta, se hace excesivo el tiempo que la tripulación del camión recolector (compactador) emplea en recorridos improductivos. En ese caso puede ser más económico transferir los residuos de pequeños vehículos de recolección local a unidades de mayor capacidad, capaces de recorrer en forma económica distancias más largas al transportar mayor volumen en un solo vehículo.

La operación se lleva a cabo en una **estación de transferencia** en la cual los camiones recolectores de tres personas entregan de 4 a 5 toneladas métricas de desechos para su transferencia (por lo común con una compactación adicional) a camiones con remolque con capacidad de 27, 46 y hasta 60 m<sup>3</sup>, manipulados por una persona, que pueden transportar entre 15, 20 y 25 toneladas métricas y reciben un promedio de 5 a 6 vehículos recolectores. Se puede hacer un análisis económico de arreglos alternativos de acarreo (como se muestra en la Figura 6.8 y 6.9), para establecer si una estación de transferencia sería ventajosa, tomando en consideración las distancias o el tiempo de traslado.

En la actualidad, como ya se mencionó, el sistema de transferencia para residuos sólidos municipales se está volviendo una instalación necesaria en las grandes ciudades, debido al continuo alejamiento de los sitios de tratamiento y de disposición final.

Actualmente en nuestro país, existen estaciones de transferencia en las ciudades de Guadalajara y Tepatlilán, Jalisco (2), Distrito Federal (13), Tijuana, Baja California, Cd. Juárez, Chihuahua (2), Querétaro, San Luis Potosí, Ciudad del Carmen, Campeche, Tlalneplantia, Estado de México y en el Área Metropolitana de la Ciudad de Monterrey (3). El Distrito Federal es un ejemplo de excelentes estaciones de transferencia.

Esta modalidad del transporte incrementa el manejo de los residuos y por supuesto agrega costos al manejo derivado de su construcción y operación. La pregunta es entonces, ¿Cuándo se considerara beneficiosa una estación de transferencia para una aplicación particular? o sea, ¿Cuándo el incremento de costos que implica una estación de transferencia estarán cubiertos por los ahorros que la mismo origina?

La transferencia se torna viable cuando la distancia entre los núcleos generadores de residuos y los centros de disposición final es grande. Aunque la factibilidad de la instalación debe ser considerada particularmente según las condiciones locales y sus necesidades, estudios realizados sobre el tema indican que, ante una distancia de aproximadamente 25 a 30 Km. ya es conveniente estudiar la posibilidad de implantar una estación de transferencia para minimizar los costos de transporte. Lógicamente este criterio no es el único, siendo necesario en cada caso realizar un estudio de prefactibilidad para una decisión correcta.

Los costos de estos servicios varían de 5.00 a 17.00 dólares por tonelada, según la distancia de acarreo. Los costos actuales en los Estados Unidos fluctúan entre 15 y 25 dólares. En el cuadro 6.2 se presentan datos sobre algunas estaciones de transferencia de la Región. En Brasil los costos de transferencia están alrededor de US \$0.25 T/Km.

La mayoría de las ciudades de América Latina y el Caribe con más de un millón de habitantes cuenta con estaciones de transferencia que tienen diseños con ligeras variantes. Los camiones recolectores descargan la basura directamente en grandes remolcadores que transportan cargas grandes hasta la disposición final, estos remolques que usualmente no tienen compactación, a veces reciben desechos compactados como en las estaciones de transferencia de Bogotá y Buenos Aires, donde existen compactadores estacionarios. El Distrito Federal de México cuenta con 13 estaciones de transferencia. En Brasil, según encuesta de FIBGE en 1989, de los 4.425 municipios encuestados, sólo 19 tenían estaciones de transferencia que transbordaban 7,716 T/Día.

Cuando es necesario transportar grandes cantidades de residuos sólidos a una distancia larga para deshacerse de ellos, conviene examinar las posibilidades del transporte por ferrocarril. Las condiciones propuestas por Stone (1977) para que el transporte por tren sea competitivo con los camiones de remolque son:

- La distancia del viaje redondo de acarreo sea mayor de 160 Km.
- Se transporten al menos 900 toneladas.
- Los residuos se empaquen en la estación de transferencia.
- Los vagones de ferrocarril se usen exclusivamente para residuos sólidos.

Al instalar una estación de transferencia, recordemos que no solamente se reducen los costos y los tiempos, sino que además representa las siguientes ventajas:

- Disminución de los costos globales de transporte (combustible, desgaste, etc...) y de horas improductivas de mano de obra empleada en la recolección, solo se necesita un operario (el conductor).
- Reducción del tiempo improductivo de los vehículos de recolección en su recorrido al sitio de disposición final y el regreso a su ruta.
- Mayor regularidad en el servicio de recolección, aumento de la vida útil y disminución en los costos de mantenimiento de los vehículos recolectores, al no transitar con carga hasta el sitio de disposición final, por caminos que generalmente están en malas condiciones
- Economía de transporte, la carga útil puede ser de 14 a 25 toneladas (considerando un peso volumétrico de 350 Kg/ton), en comparación con los 4 a 6 toneladas de los vehículos recolectores, esto reduce los viajes al centro de disposición, permitiendo así que la flota de recolección permanezca más tiempo en sus rutas, lo que reduce costos de capital y operación.

- La flexibilidad de los sistemas de transferencia permiten cambiar el destino final de los residuos sólidos con un mínimo impacto en la operación de recolección.
- Reducción del frente de descarga en los rellenos, dado que el tamaño de este está determinado por el número y tipo de vehículos utilizado, una reducción en la cantidad de vehículos demandara una disminución del área de trabajo en la descarga, también producirá mayores condiciones de seguridad debido a reducción del tránsito de vehículos.
- Si las condiciones operativas de costos, sanitarias, etc., lo permiten, las estaciones de transferencia pueden dar una excelente posibilidad de reciclado primario de algunos materiales, previamente a su disposición final.
- Incremento en la eficiencia del servicio de recolección, por medio de una cobertura más homogénea y balanceada en las rutas de recolección y hasta disminución de unidades
- Reducción en la contaminación ambiental durante el transporte
- Se reducen las enfermedades, beneficiándose así la salud pública

Los vehículos de transferencia que se recomienda utilizar son de dos tipos: los que están equipados con sistema hidráulico de compactación y descarga y los que tienen un piso móvil con cadenas sin fin o el denominado piso vivo o "walking floor" para el acomodo y descarga de los RSM en los sitios de tratamiento o disposición final.

Las estaciones de transferencia son variables en sus formas, pero algunas son instalaciones en las cuales, con base en rampas se logra que las unidades de recolección queden a un nivel superior al de las unidades de transferencia, de tal forma que puedan descargar por gravedad los RSM al interior de las cajas de la unidad de transferencia necesarias.

El tamaño y capacidad de la estación, el número de unidades de transferencia necesarias y que puedan ser cargadas simultáneamente y la cantidad de unidades de recolección que puedan descargar simultáneamente son función de las necesidades y soluciones del proyecto y diseño de cada estación.

Dentro de las principales medidas de protección ambiental con que cuentan las estaciones de transferencia, se encuentran: a) construcción de techumbre y paredes acústicas, b) sistema de extracción y purificación del aire, c) sistema de aspersión a la descarga, d) zonas interiores de encolamiento, e) zonas de amortiguamiento jardinadas y d) brigada de limpieza constante.

Los costos de la transferencia representan aproximadamente el 29% del monto total del servicio integral, en el caso de operación de un relleno sanitario, los montos varían de acuerdo a la cantidad de RSM manejados y la distancia que se recorre al sitio de disposición final. Los costos tienen un amplio aspecto de variación reportándose desde \$22.00 hasta \$145.00 por tonelada.

En el cuadro 6.2 se tienen datos comparativos de varias ciudades de América Latina y el Caribe (AL y C).

Cuadro 6.2 Datos sobre transferencia de algunas Ciudades

Ciudad (habitantes)*	Tipo y número	Ton/día (%)**	Unidades	Personal	Camiones	Costo por T, US\$
México, D.F., México (11)	Directas Sin Almacén 14	3 000 (30%)	Compactadoras 60m <sup>3</sup> Sin compactar, con piso móvil	260	50	
Río de Janeiro, Brasil (9.9)	Sin compactación 4	3.700 (40%)	30 a 45 m <sup>3</sup> con y sin compactación	70	40	5
Lima, Perú (7.5)	Directas y sin compactación	2.500 (37%)	60 m <sup>3</sup> Sin compactación	-	12	13
Caracas Venezuela (3.0)	Directa 1	1200	2 x 24 m <sup>3</sup>	-	12	-
La Paz, Bolivia (0.7)	Varias	320 (85%)	-	18	9	5
Buenos Aires Argentina (11)	Combinadas, 3	5.000 (45%)	60 m <sup>3</sup>	150	45	17 (con depreciación)
Sao Paulo, Brasil (18.4)	Sin compactación 3	5.600 (35%)	40-60 m <sup>3</sup>	180	45	6
Brasilia, Brasil (1.8)	-	600 (40%)	-	15	13	-
Cali, Colombia	-	80 (6%)	-	7	10	-
Monterrey, México (2.3)	3	2.200 (90%)	-	-	42	-
Santiago, Chile (5.3)	1	3 000 (65%)	-	-	-	-

\* Considerada en millones de habitantes

\*\* Porcentaje del total que se genera

Fuente: OMS/OPS Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe, Washington D.C. 1998

## 6.5 IMPACTOS AMBIENTALES EN LA RECOLECCIÓN

Como esta operación se realiza dentro de las ciudades, es importante tomar en cuenta para su prevención los impactos que se presentan como se muestra en la figura 6.8

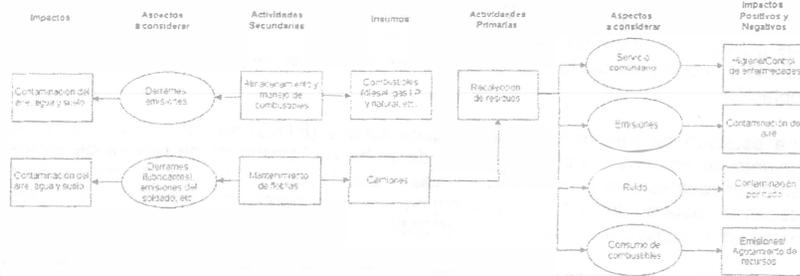


Fig. 1.5 Aspectos e impactos ambientales en operaciones de recolección de residuos

# INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

## CAPITULO 7 ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

- 7.1 JUSTIFICACIÓN ECONOMICA
- 7.2 CRITERIOS DE UBICACIÓN
- 7.3 MÉTODOS DE DESCARGA
- 7.4 TIPOS DE ESTACIONES
- 7.5 TRANSFERENCIA EN EL D. F.
- 7.6 EQUIPOS DE TRANSFERENCIA Y TRANSPORTE
- 7.7 PROYECTO DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

### 7 ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

Las estaciones de transferencia de residuos sólidos (ETRS) han ido surgiendo a nivel mundial debido a la problemática en la recolección y transporte de los residuos sólidos municipales, debido a los análisis de costo beneficio, ya que los costos de recolección se elevan y los tiempos que se hacen hacia el sitio de disposición final son cada vez más grandes, debido a que se alejan del centro urbano a medida que este crece cada vez más, lo que propicia la ineficiencia del servicio de recolección a los usuarios de la población.

Una estación de transferencia de residuos sólidos (ETRS) se consideran como "el conjunto de equipos e instalaciones donde se hace el trasbordo de basura de varios vehículos recolectores a uno con mayor capacidad de carga, el cual transportará dichos desechos hasta su destino final" y su objetivo es "incrementar la eficiencia y reducir los costos en el transporte de las basuras (RSM)".

#### 7.1 JUSTIFICACIÓN ECONOMICA

Para la evaluación técnico-económica de una estación de transferencia, se presenta este ejemplo en el que se determinaron los siguientes costos:

- Operación del equipo de recolección que incluye los cargos fijos de consumo y de personal.
- Operación del equipo de recolección....0.042 U.S. \$/ton-min.
- Operación del equipo de transporte y transferencia, que considere los cargos fijos, de consumo y de personal.
- Operación del equipo de transferencia.....0.005 U.S. \$/ton-min.
- Fijos de la estación de transferencia, que sólo tomen en cuenta los costos de inversión de la instalación.
- Inversión de la estación de transferencia ....0.1 U.S: \$/ton.
- Variables de la estación de transferencia, que incluyen exclusivamente al personal que la opera.
- Operación de la estación de transferencia ....1.01 U.S. \$/ton.

Con estos valores se construyó la gráfica que se presenta en la figura 7.1 de la cual es posible concluir lo siguiente:

El punto de equilibrio de la gráfica, que establece el tiempo de transporte a partir del cual debe considerarse la posibilidad de contar con una estación de transferencia, se ubico sobre los 30 minutos, tiempo máximo aceptable para que un vehículo recolector realice un viaje de ida-vuelta hasta el relleno sanitario. Por otro lado, en este caso, según estimaciones promedio un vehículo recolector realiza aproximadamente 1.5 viajes por turno dependiendo de la ruta de recolección que tenga asignada hasta el

relleno sanitario. Considerando lo anterior, queda plenamente justificada la necesidad de contar con una estación de transferencia de residuos sólidos municipales, para la zona de estudio.

Ahora bien, si se toma un valor promedio de 1 hora y 10 minutos para un viaje de "ida-vuelta" de cualquier vehículo recolector sin considerar la estación de transferencia, la operación con vehículos de recolección cuesta actualmente alrededor de 2.94 U.S. \$/ton; valor que se vería reducido en 1.48 U.S. \$/ton. mediante el empleo de la citada estación, ya que su operación costaría 1.3 U.S. \$/ton; lo cual significa un ahorro de U.S. \$2,905 por día para la situación actual que implica un manejo de 1,963 ton/día.

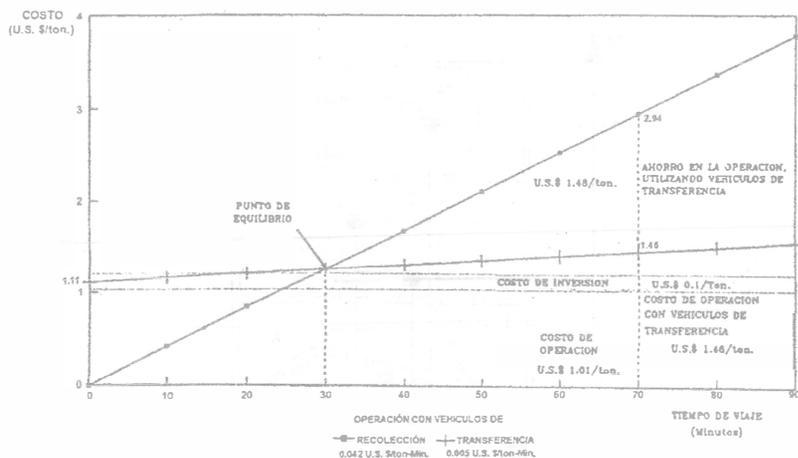


Figura 7.1 Determinación de la necesidad de contar con una estación de transferencia, considerando tiempos de viaje redondo.

Para una mejor comprensión, se presenta otro ejemplo para determinar la ubicación de una estación de transferencia, tomando los datos presentados en la figura 7.2, donde se hacen una comparación hipotética de los costos de transporte de los residuos sólidos al lugar de disposición. Esta grafica considera un costo de 10.30 dólares por tonelada-kilómetro para camiones compactadores que transportan 5 toneladas y un costo de \$0.06 dólares por tonelada-kilómetro para camión con remolque (vehículos de transferencia) que acarrean 10 toneladas. Suponiendo que la estación de transferencia tiene un costo anual, por capital y operación de \$12.00 dólares por tonelada métrica.

En la gráfica se ve que la estación de transferencia que tiene camiones con remolque es más económica que la que presenta el transporte directo con camiones compactadores, sobre todo cuando la carga es mayor y el punto de equilibrio se encontró a los 50 kilómetros.

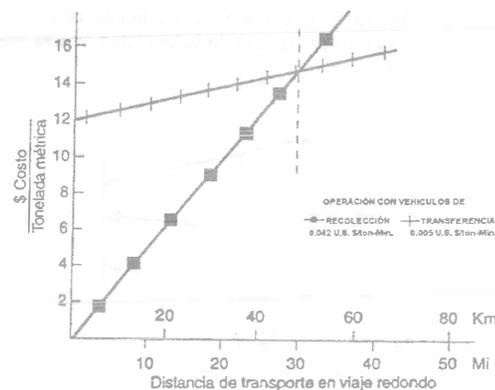


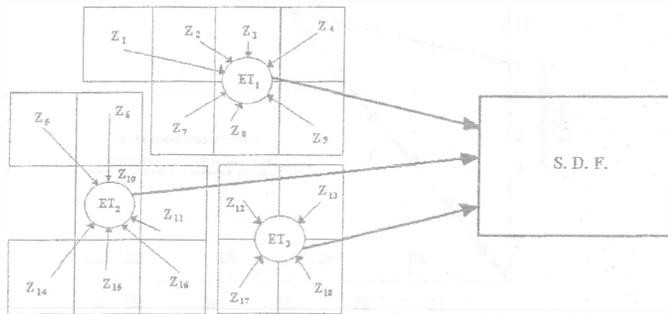
Fig 7.2 Determinación de la necesidad de contar con una estación de transferencia, considerando distancias de viaje redondo.

### 7.2 CRITERIOS PARA SU UBICACIÓN

El objetivo básico de las instalaciones de transferencia, es incrementar la eficiencia global del servicio de recolección de residuos sólidos, lo que se logra tanto al disminuir los costos y tiempos de transporte, como en la disminución del tiempo ocioso de la mano de obra y de los equipos disponibles. En la figura 7.3 se ilustra de forma gráfica la función de una estación de transferencia.

La premisa fundamental es que una instalación de este tipo, siempre debe quedar lo más cerca posible al centro de gravedad geográfico de la región por atender, con el fin de disminuir la suma de los recorridos de las rutas de recolección hacia dicha instalación. El centro de Gravedad Geográfico (C.G.G.) de una determinada región que tiene problemas en el servicio de recolección de residuos sólidos, es el punto de partida para estudiar y definir el establecimiento de una ETRS.

Se deberá definir una región factible donde pueda instalarse la ETRS, considerando las alteraciones que el centro de gravedad geográfico pueda sufrir por restricciones obligadas del sistema, como lo es la ubicación de los sitios de encierro de los equipos de recolección; o bien, las desviaciones o desplazamientos que pudiera sufrir al agregar a las variables geográficas otro tipo de variables, como son: la densidad de población, la generación de los residuos sólidos, las pendientes promedio del terreno, la traza urbana de la localidad, la cercanía con áreas forestales, la posibilidad de obtener un terreno disponible y adecuado, o cualquier otra que pueda ser de consideración según sean las características de la localidad que se trate



Z: ZONA DE RECOLECCION DE RESIDUOS SOLIDOS  
 ET: ESTACION DE TRANSFERENCIA  
 SDF: SITIO DE DISPOSICION FINAL

Figura 7.3 Ubicación de estaciones de transferencia.

La determinación del Centro de Gravedad Geográfico implica la definición de las zonas o sectores de recolección, el cálculo de su superficie y de sus coordenadas centrales en un sistema cartesiano; para después determinar los momentos de transporte de cada una de las zonas o sectores. Los momentos resultantes divididos entre la superficie total de la mancha urbana, serán las coordenadas del centro de gravedad de toda la región considerada.

La descripción gráfica de esta metodología, se presenta en la figura 7.4.

Algebraicamente, la descripción del centro de gravedad geográfico, quedara definido por las siguientes expresiones.

$$Xp = \frac{\sum_{i=1}^n (Ai \cdot xi)}{\sum_{i=1}^n (Ai)} \quad \text{ecuación 7.1}$$

$$Yp = \frac{\sum_{i=1}^n (Ai \cdot yi)}{\sum_{i=1}^n (Ai)} \quad \text{ecuación 7.2}$$

Donde:

- Xp, Yp Coordenadas del centro de gravedad geográfico
- n: No. De polígonos que componen la región por atender
- Ai: Superficie que ocupa la mancha urbana en el polígono "i"
- Xi: Distancia del centro de gravedad del polígono "i", al eje cartesiano "X"
- Yi: Distancia del centro de gravedad del polígono "i", al eje cartesiano "Y"

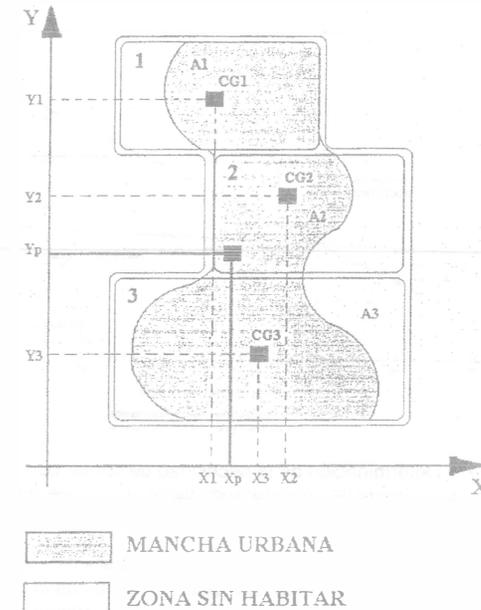


Fig. 7.4 Definición del centro de gravedad geográfico por el método de momentos en un sistema cartesiano

La determinación de cualquier otro centro de gravedad, puede expresarse de la siguiente manera, a partir de las ecuaciones 7.1 y 7.2

$$\bar{X}_p = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i f_j x_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i f_j)}$$

$$\bar{Y}_p = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i f_j y_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i f_j)}$$

Donde:

$j = 1, 2, \dots, m-1, m$

$f_j$  = Factor de ajuste que engloba dentro de la superficie de la mancha urbana del polígono  $i$ , otros aspectos complementarios que además de los puramente geográficos, permitan incluir en el análisis algunas otras consideraciones que sean de vital importancia para la situación que se trate. Ejemplo de estas consideraciones, podrían ser las siguientes variables:

- Poblacional
- Por generación de residuos
- Por vialidad topográfica
- Urbanísticas
- Ecológicas
- Socioeconómicas

$n$  = No. de variables consideradas en el análisis.

En el cuadro 7.1 se presenta la descripción del factor de ajuste del centro de gravedad, tomando en consideración diferentes variables urbanas.

Agregar este tipo de variables dentro del análisis para definir la región donde debe ser ubicada la ETRS, permitirá que la elección del sitio, se haga implícitamente de manera racional, lo cual es difícil de lograr cuando se considera únicamente la variable geográfica; ya que por lo regular las actividades que se dan en el asentamiento humano, son tan disímolas y de orden tan diverso, que le dan una gran heterogeneidad, tanto a su densidad poblacional, como a su distribución geográfica y socioeconómica, amén de las propias diferencias que trae consigo el desarrollo urbano y la dotación de infraestructura para la presentación de los servicios públicos.

Se obtendrá un centro de gravedad por cada variable complementaria que se agregue al análisis para la definición de la Región Factible, la cual se determinará entonces, concentrando los centros de gravedad de cada una de las variables consideradas en el análisis y se obtiene por tanto un polígono cerrado. En la figura 7.5 se presenta como ilustración la descripción de un ejemplo hipotético.

Cuadro 7.1 Algunos factores de ajuste para la corrección del centro de gravedad geográfico debido a diferentes variables urbanísticas

Tipo de variable	Formulación del factor de ajuste	Descripción de la formulación
Geográfica	$F=1$	El factor es igual a la unidad
Poblacional	$F=D$	El factor es igual a la densidad de población "D", expresada en hab./ha
Por generación de residuos	$f=D \cdot G$	El factor es el producto de la densidad de población "D" en hab./ha, por la generación per capita de residuos sólidos municipales en Kg./hab.-día
Por vialidad	$f=D \cdot G \cdot N$	El factor es el producto del anterior por el No. adimensional "N" que es la sumatoria de las calificaciones de las vialidades puede hacerse según la importancia de la vialidad, su No. de carriles y el tránsito en horas pico.
Por pendiente del territorio	$f=D \cdot G \cdot P$	El factor es producto del obtenido para la variable referente a la generación de residuos, multiplicado por el No. adimensional "P" que es la pendiente en % dividida entre 10.

La definición de la región factible, puede expresarse algebraicamente de la manera siguiente:

$$R = \{(X_{pj}, Y_{pj}) \mid j = 1, 2, \dots, m-1, m\}$$

$$R = \{(X_{p1}, Y_{p1}), (X_{p2}, Y_{p2}), \dots, (X_{pm-1}, Y_{pm-1}), (X_{pm}, Y_{pm})\}$$

Así pues, se puede concluir que cualquier sitio que se halle dentro de la región Factible, podrá ser considerado para la ubicación de una ETRS, sin menoscabo de la eficiencia del sistema. Esto no debe interpretarse como una limitación contundente para eliminar aquellos sitios que se hallen fuera de la Región Factible, solamente establece que entre más nos alejemos de ella, menor será la eficiencia del sistema.

Cuando no exista sitio alguno dentro de la Región Factible, deberá trazarse círculos concéntricos a partir del centroide del polígono que define dicha región, de manera tal que la vayan envolviendo hasta encontrar uno o más sitios, para proceder a su revisión y análisis, como se indica en la figura 7.5. en teoría el sitio con mayor viabilidad desde el punto de vista económico, será aquel que se halle más cerca de los límites de la Región Factible.

VARIABLE	X	Y
GEOGRÁFICA (A)	7.05	6.50
POBLACIONAL (B)	7.92	7.28
POR GENERACION DE R. (C)	6.65	7.76
POR VIALIDADES (D)	8.01	8.04
POR PENDIENTE DEL TERRENO (E)	7.35	8.21

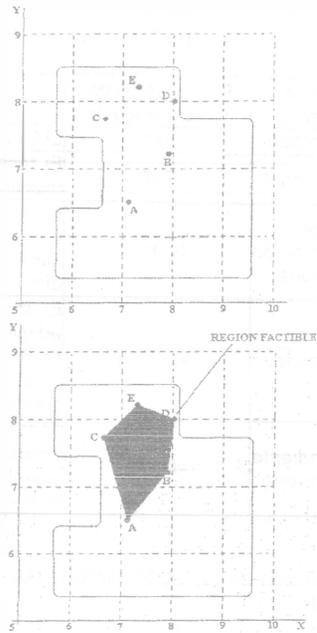


Figura 7.5 Construcción de la región factible a partir de los centros de gravedad obtenidos para diferentes variables urbanísticas consideradas (ejemplo hipotético).

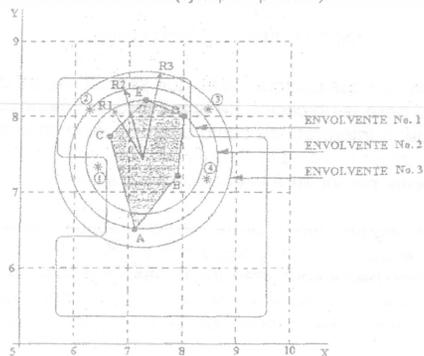
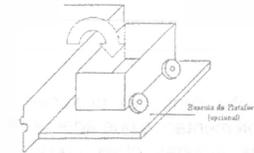


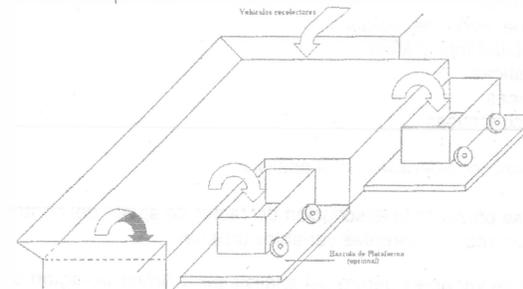
Fig. 7.6 envoltentes sobre las Región Factible para identificación de posibles sitios fuera de ella.

### 7.3 METODOS DE DESCARGA

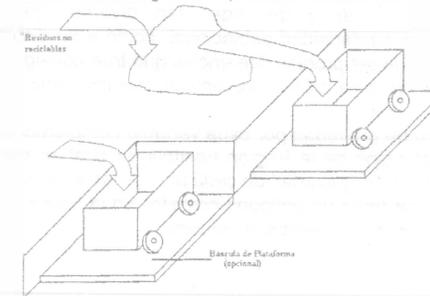
- Residuos descargados de vehículos recolectores directamente en un trailer abierto, en instalaciones de compactación, o en un transportador móvil para llevarlos a instalaciones de procesamiento, compactación o disposición.



- Residuos descargados desde los vehículos de recolección hacia el foso de almacenamiento, de ahí en un buldózer o palas frontales se carga el trailer de transporte abierto para ser llevados a instalaciones de procesamiento, compactación o disposición.



- Residuos descargados en plataformas de descarga donde se hace la separación, después de separar los materiales reciclables, el resto de los residuos no reciclables se cargan con palas frontales en trailers de transporte.



#### 7.4 TIPOS DE ESTACIONES

Las diferentes formas de vertir o descargar los residuos en las transferencias, ha mejorado debido a las necesidades y experiencias obtenidas en los diferentes países del mundo, lo que permite clasificar las estaciones de transferencia en tres tipos que son los más comunes:

- Estaciones de descarga directa
- Estaciones de descarga indirecta
- Estaciones combinadas o mixtas

##### A) Estaciones de "descarga directa"

Este sistema de transferencia consiste en el trasbordo de los residuos sólidos de los vehículos recolectores mediante vaciado por gravedad a un trailer descubierto, con una capacidad que varía de 20 a 25 toneladas. Este tipo de estaciones recibe a los vehículos recolectores, los cuales son registrados y pesados, posteriormente se dirigen a las rampas de acceso del patio de maniobras donde se ubican las líneas de servicio, la cuales cuentan con un número determinado de servidores (tolvas), que permiten descargar los residuos al vehículo de transferencia. Paralelamente los vehículos de transferencia se colocan en el patio de carga, una vez llenos, se realiza el "despunte" para posteriormente colocar una lona que cubre los residuos y evitar que se dispersen durante su traslado al sitio de disposición final.

Estas estaciones tienen la característica de no almacenar los desechos, lo que exige que siempre haya un vehículo de transferencia en condiciones de recibir los residuos de los vehículos recolectores, por lo que si el recolector llega a la estación y no hay vehículo de transferencia para recibir los residuos, el recolector debe esperar hasta la llegada de uno vacío.

La falta de equipamiento en las estaciones puede provocar filas de camiones recolectores en las horas pico, así como una mayor demanda de vehículos de transferencia y transtornos en las rutas de recolección. Sin embargo, las estaciones de descarga directa son construidas preferentemente debido a su simplicidad y bajo costo de inversión.

Para su buen funcionamiento deben contar con lo siguiente.

##### a) Instalaciones

- Taller
- Oficinas
- Acceso de recolectores
- Patio de maniobras de vehículos recolectores

- Jardines
- Techumbre de lámina de asbesto
- Líneas de servicio con cuatro servidores (tolvas)
- Aspersores de agua para el control de polvos en las tolvas
- Sistemas de ventilación mecánica
- Caseta de control
- Básculas
- recolectores
- Salida de recolectores
- Acceso de vehículos de transferencia
- Patio de maniobras de vehículos de transferencia
- Estacionamiento de vehículos de transferencia
- Área de despunte de vehículos de transferencia
- Salida de vehículos de transferencia

##### b) Equipo requerido

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| Equipo de recolección       | Equipo de transferencia   |
| - Carga lateral rectangular | - Tractocamiones caja abierta c/mecanismo de descarga por medio de cadenas o piso móvil |
| - Carga lateral tubular     |   |
| - Carga trasera             |   |
| - Volteo                    |   |
| - Minirecolector            |   |
| - Contenedores              |   |
| - Redilas                   |   |

En las figuras 7.7 y 7.8 se muestra un modelo de este tipo de estaciones.

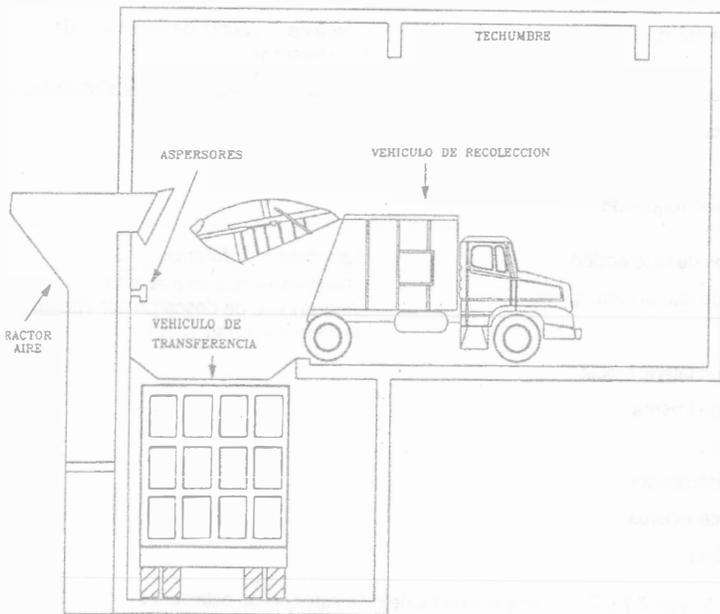


Figura 7.7 Transbordo en estaciones de "descarga directa"

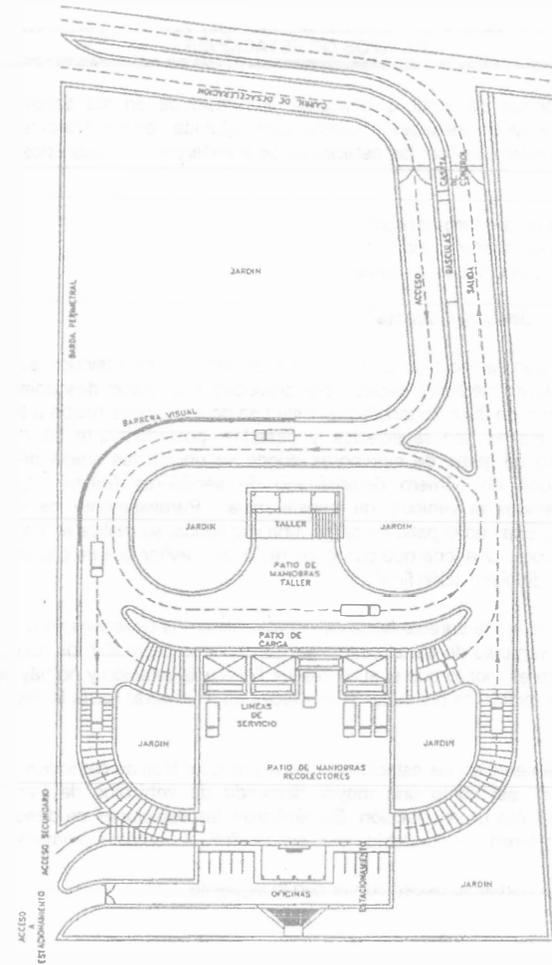


Figura 7.8 Planta de conjunto tipo de estaciones de transferencia con descarga directa (Tlalpan D.F.)

### B). Estaciones de "descarga indirecta"

En estas estaciones la descarga de residuos de los vehículos de recolección se realiza a una fosa de almacenamiento o sobre una plataforma donde posteriormente los residuos son cargados en los vehículos de transferencia con equipos auxiliares. (figuras 7.10 y 7.11)

Los camiones recolectores se registran y pesan en básculas computarizadas, posteriormente, éstos se dirigen a la plataforma para verter los residuos a la fosa, regresado después a la báscula donde son pesados nuevamente, obteniéndose así la cantidad de residuos transferidos.

Los residuos son removidos de la fosa con grúas de almeja o cargadores frontales o con tractor de hoja topadora a las cajas de transferencia, las cuales son movidas por un montacargas a la zona de despunte, posteriormente es enganchada al tractocamión que la transportará al sitio de disposición final. En este tipo de instalación los vehículos recolectores nunca tienen que esperar para descargar los residuos transportados.

Regularmente en Estados Unidos y Canadá se utilizan sistemas de carga indirecta y como medida de seguridad se incluye el sistema de carga directa el cual es utilizado en caso de falla del equipamiento que atiende la fosa. Adicionalmente este tipo de instalaciones cuentan con áreas destinadas al acopio de subproductos reciclables.

En dichos países los usuarios menores llevan separados los subproductos reciclables para depositarlos en los diferentes contenedores de vidrio, metales, papeles, cartón y plástico, disminuyendo de esta forma el pago por el servicio de transferencia. Posteriormente pasan a la báscula con el resto de los residuos donde son pesados inicialmente antes de ser vertidos en la fosa, una vez realizado esto los vehículos retornan a las básculas para ser pesados y con esto calcular la tarifa que pagará el usuario.

Para su buen funcionamiento deben contar con lo siguiente:

#### a) Instalaciones

- |   |  |
|---|--|
| - Fosa principal cuenta con 20 líneas de descarga simultánea  | - Rampa de acceso de vehículos recolectores    |
| - Diseño especial de vías de seguridad en el borde de la fosa | - Patio de maniobras de vehículos recolectores |
| - Aspersores de agua para el control de polvos en la fosa     | - Estacionamiento de tractocamiones            |
| - Sistema de ventilación mecánica                             | - Estacionamiento de cajas de transferencia    |
| - Techumbre del patio de descarga                             | - Área de despunte de cajas de transferencia   |

- |                     |  |
|---------------------|--|
|                     | transferencia                          |
| - Básculas          | - Salida de vehículos de transferencia |
| - Taller            |  |
| - Oficinas          |  |
| - Jardines          |  |
| - Caseta de control |  |

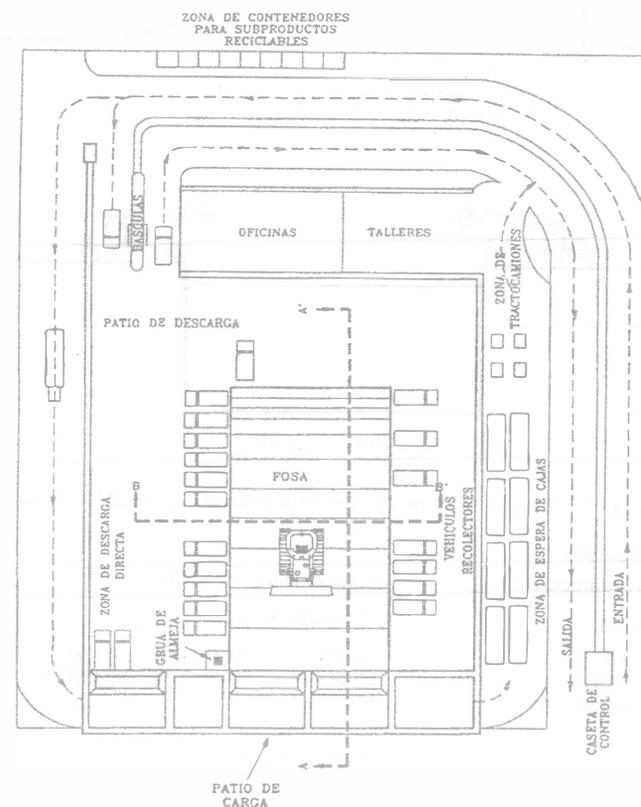


Figura 7.9 Planta de conjunto tipo de estaciones de transferencia con descarga indirecta

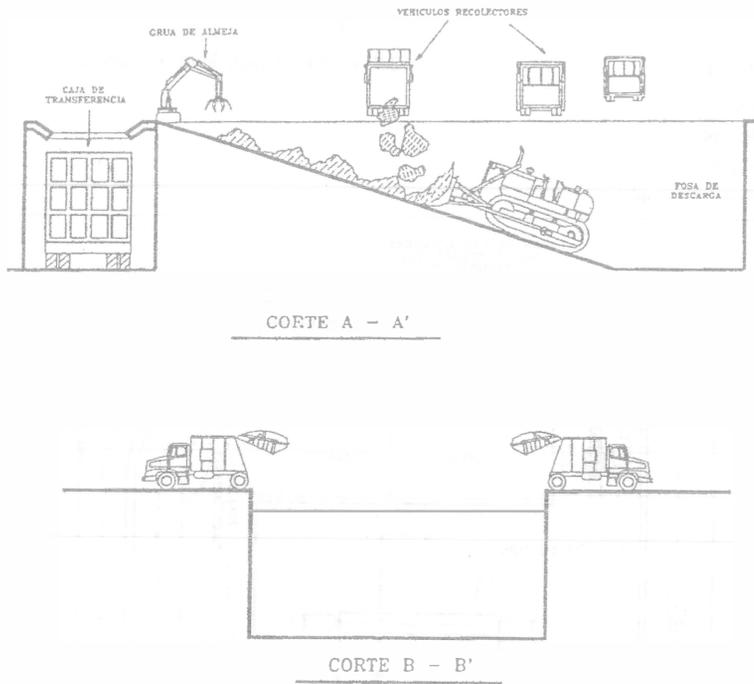


Figura 7.10 Transbordo de residuos en estaciones de "descarga indirecta"

b) Equipo empleado

**Equipo de recolección**

- Carga trasera
- Carga frontal
- Contenedores
- Automóviles particulares

**Equipo de transferencia**

- Tractocamiones
- Cajas de transferencia abiertas o mecanismos de descarga por medio de cadenas y piso móvil
- Grúas
- Cucharón de almeja
- Tractores con hoja topadora

- Cargadores frontales
- Montacargas

**7.5 TRANSFERENCIA EN EL DISTRITO FEDERAL**

Uno de los principales problemas que enfrentan diariamente las grandes ciudades como la de México, en la prestación de los servicios públicos, es el manejo de los residuos sólidos generados por los habitantes.

Ante esta situación y debido a la necesidad de fortalecer y hacer eficientes los servicios para el control de los residuos sólidos, es imprescindible contar con la infraestructura idónea que posibilite en el corto plazo, el mejoramiento y la uniformidad de tales servicios en todo el Distrito Federal, parte fundamental de dicha infraestructura, son las estaciones de transferencia.

En la ciudad de México (año 2000), existen 13 estaciones de transferencia ubicadas en las delegaciones:

Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Iztapalapa (Central de Abastos I y II), Coyoacán, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Tlalpan, Venustiano Carranza y Xochimilco.

Estas estaciones fueron diseñadas y construidas tomando en cuenta criterios ecológicos para el control de ruido, polvos, partículas suspendidas, entre otros, por ello las nuevas estaciones y las ya existentes son cerradas, con paredes acústicas, contando con sistemas hidroneumáticos para el lavado y riego, así como equipos de control de calidad ambiental interior.

Este concepto de instalar ETRS involucra, como ya se vió, elementos constructivos tales como: a) carril de desaceleración, b) carril de encolamiento, c) muros acústicos, d) techumbre, e) sistema de aspersores, f) extractores de aire con filtros especiales, g) talleres, h) oficinas. Con estos componentes es posible garantizar una eficiente operación de estas estaciones.

La figura 7.11 indica la ubicación de las ETRS en las Delegaciones del Distrito Federal, así como la generación promedio de cada una en Toneladas/día.

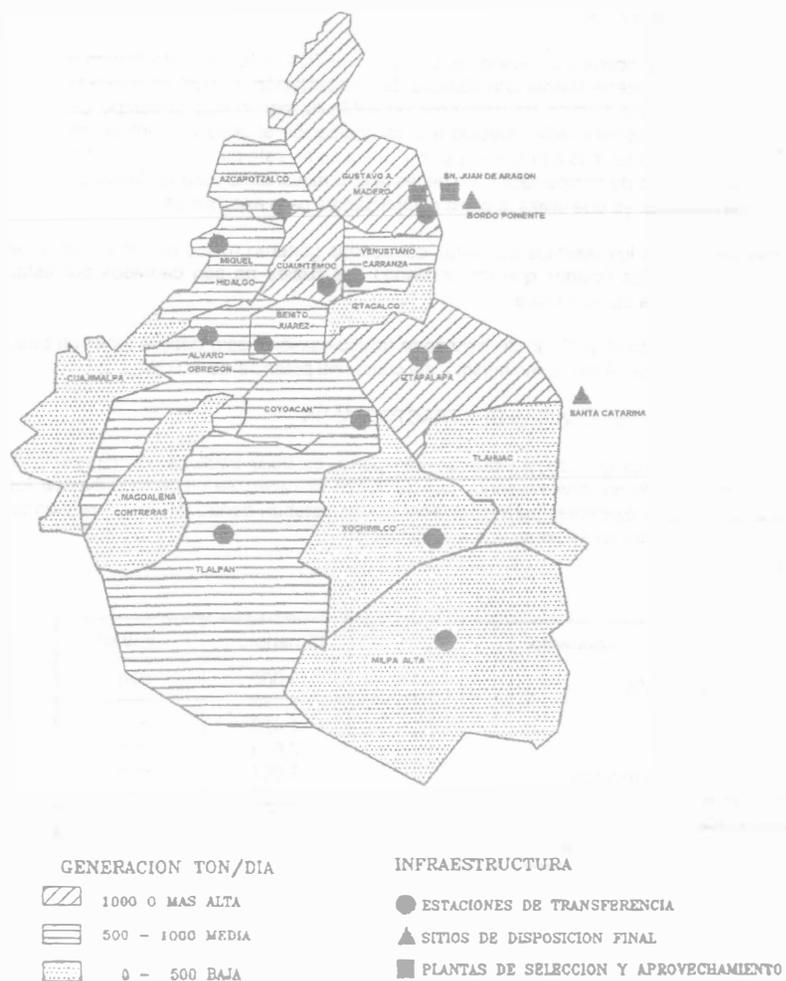


Figura 7.11 Sistema de transferencia en el Distrito Federal

**7.6 EQUIPO DE TRANSFERENCIA Y TRANSPORTE**

Considerando las características generales con que normalmente cuentan todos los equipos de transferencia, fue posible determinar el peso de cada uno de los componentes de las unidades, como se muestra en el cuadro 7.2. Estos datos son para un vehículo de transferencia con caja abierta de 70 m<sup>3</sup> de capacidad.

En la figura 7.12 se presenta gráficamente la distribución de cargas para el tipo de vehículo considerado.

**Cuadro 7.2**  
Peso de los componentes de la unidad de transferencia considerada

Elemento	Peso (Kg)
Chasis (estimado)	9,000
Carrocería (estimado)	13,000
Residuos sólidos (estimado)	20,000
Peso bruto combinado (mínimo requerido)	54,000

**CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONALIDAD DEL EQUIPO**

Este equipo está compuesto por un tractocamión y por su respectiva carrocería que en este caso es un remolque, el cual puede ser abierto o cerrado.

a) Carrocería abierta

En este tipo de carrocería pueden descargar hasta 4 vehículos recolectores simultáneamente, el tiempo de llenado es más corto con respecto a la carrocería cerrada, una desventaja es que no cuenta con sistema de compactación, por lo tanto, el peso volumétrico de los residuos es muy bajo. Para este tipo de carrocerías existe una gran variedad de sistemas para descargar los residuos, entre los más utilizados están los mecanismos de cadena, plataforma viva y volteo.

Los mecanismos de cadena y plataforma viva son colocados a todo lo largo del piso de la carrocería, de estos, el mecanismo más frágil es el de plataforma viva ya que no se pueden descargar residuos de construcción directamente, debido a que se dañan las tabletas que dan movimiento al equipo.

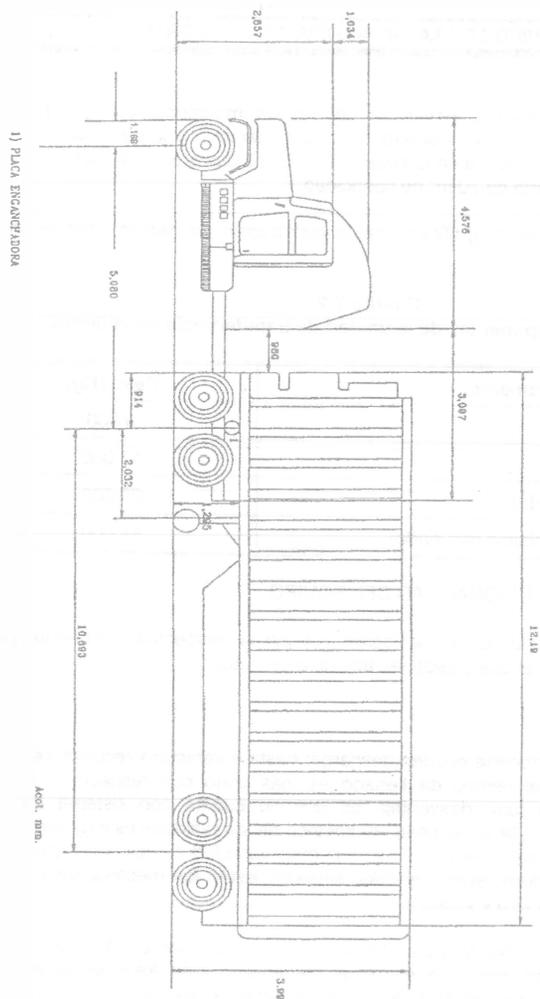


Figura 7.12 Dimensionamiento del equipo de transferencia seleccionado

## b) Carrocería cerrada

En esta carrocería sólo puede descargar un vehículo a la vez, esto debido a que la carrocería cuenta con sistema de compactación, el cual es activado cada vez que termina de descargar un vehículo, por lo que el tiempo de llenado es considerable. Debido a la compactación el peso volumétrico de los residuos es más alto que el de una caja abierta, esta carrocería al contar con sistema de compactación no necesita otro mecanismo para la descarga de residuos, ya que utiliza la placa compactadora para expulsarlos.

El compactado de los residuos por estas carrocerías generan malos olores así como el escurrimiento de los líquidos que los contienen, los cuales no son captados por estas carrocerías y van a dar al drenaje.

Por lo que respecta al vehículo de transporte (tracto-camión), este deberá tener un peso bruto combinado de 54 ton. como mínimo, así como una potencia de 410 Hp.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TRACTOCAMIÓN

Teniendo en cuenta que los equipos de transporte, es decir tractocamión (figura 7.13) dentro del mercado nacional presenta características similares, se procedió a evaluar los diferentes equipos existentes para establecer cuales estaban dentro del rango requerido. Los rangos establecidos se presentan a continuación:

## a) Dimensiones

Concepto	Dimensión	Unidad
Distancia entre ejes	5,080	mm.
Volado delantero	1,168	mm.
Volado trasero	1,425	mm.
Largo total	7,673	mm.
Distancia libre de montaje	3,097	mm.
Altura total	3,896	mm.
Ancho total	2,550	mm.
Altura de piso a plato enganchador	1,295	mm.

## b) Motor

Concepto	Capacidad	Unidad
Potencia	410	Hp
Cilindros	14,000	cm <sup>3</sup>

## c) Pesos y capacidades

Concepto	Capacidad	Unidad
P.B.C.	54.00	ton.
Eje delantero	5.44	ton.
Eje trasero	120.87	ton.
Suspensión delantera	5.44	ton.
Suspensión trasera	20.87	ton.

## d) Sistema combustible

Concepto	Capacidad	Unidad
No. de tanques	2	Pza.
Capacidad	530 c/u	Lt.

## e) Bastidor

Concepto	Capacidad	Unidad
Modulo sección	246.05	cm <sup>3</sup>
Resistencia a la cedencia	7.73	Kg/cm <sup>2</sup>

## f) Ruedas y Llantas

Concepto	Capacidad	Unidad
Rueda	62.23x21.59 cm	—
Llanta radial	62.23 cm	11 R de 16 capas

## Especificaciones técnicas de la caja de transferencia

El remolque o caja de transferencia (Figura 7.14) utilizados comúnmente presentan las características que se muestran a continuación:

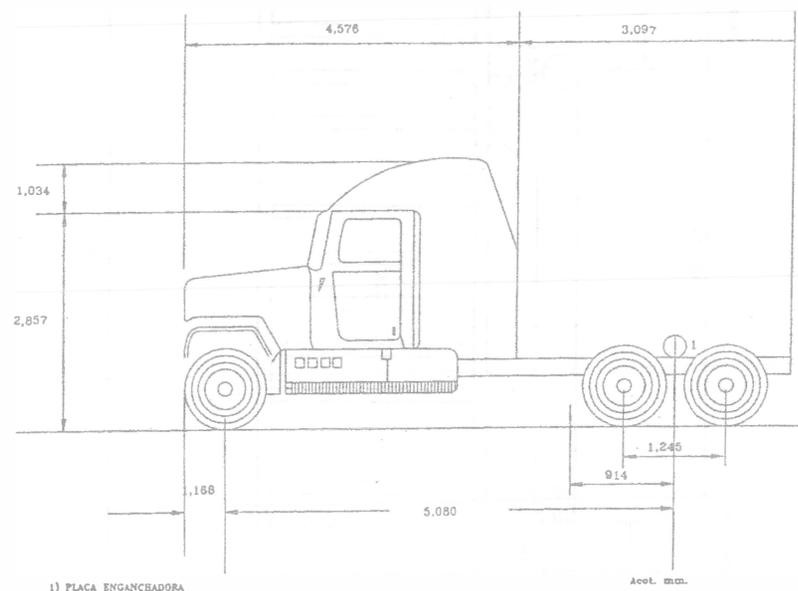


Figura 7.13 Equipo de transferencia (transporte)

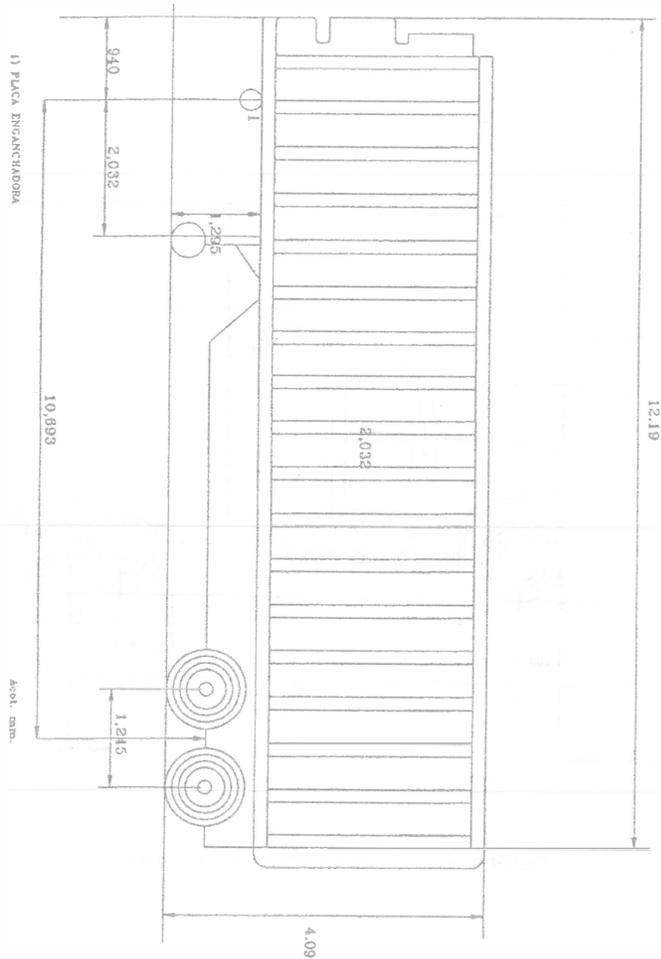


Figura 7.14 Equipo de transferencia (remolque)

## a) Dimensiones

Concepto	Dimensión	Unidad
Largo	12,192	mm.
Ancho	2,388	mm.
Altura Total	4,090	mm.
Enganchador a eje	10,693	mm.
Inicio caja a enganchador	940	mm.
Enganchador a apoyos	2,032	mm.
Piso a enganchador	1,295	mm.
Volado trasero	921	mm.

## b) Pesos y capacidades

Concepto	Capacidad	Unidad
Capacidad volumétrica	70	m <sup>3</sup>
Ejes (2)	9.979 c/u	ton
Suspensión	19.958	ton
Peso carrocería	13	ton

## c) Material de fabricación

Concepto	Dimensión	Unidad
Piso	Calibre 10	--
Paredes laterales y frontal	Calibre 11	--
Puerta descarga	Calibre 10	--
Marco, bordes y puentes	4.7	mm.
Chassis-bastidor	6.3	mm.
Plato enganche	12.70	mm.

## Análisis de cargas del equipo

## a) Semitrailer (carrocería)

- Carga en eje trasero del semitrailer tomando momentos al eje intermedio:

Para 70 m<sup>3</sup>

La máxima carga permisible en eje trasero, será igual al peso de la carrocería más el peso de los residuos en dicho eje.

De acuerdo con esto, será igual a:

$$6,498.22 \text{ Kg} + 9,692.32 \text{ Kg} = 16,190.54 \text{ Kg}$$

La máxima carga permisible en eje delantero, será igual al peso de la carrocería, más el peso de los residuos y del tractor en dicho eje.

De acuerdo con esto, se tiene que el peso de los residuos más el tractor, en el eje delantero del semitrailer será igual a:

$$6,498.22 \text{ Kg} + 9,692.32 \text{ Kg} = 17,218.46 \text{ Kg}$$

b) Tractor

- Tomando los datos de la ficha técnica, se tiene:

- Peso vehicular = 9,000 Kg (peso tractor)
- Cap. Máx. eje delantero 5,442 Kg
- Cap. Máx. eje trasero 20,865 Kg

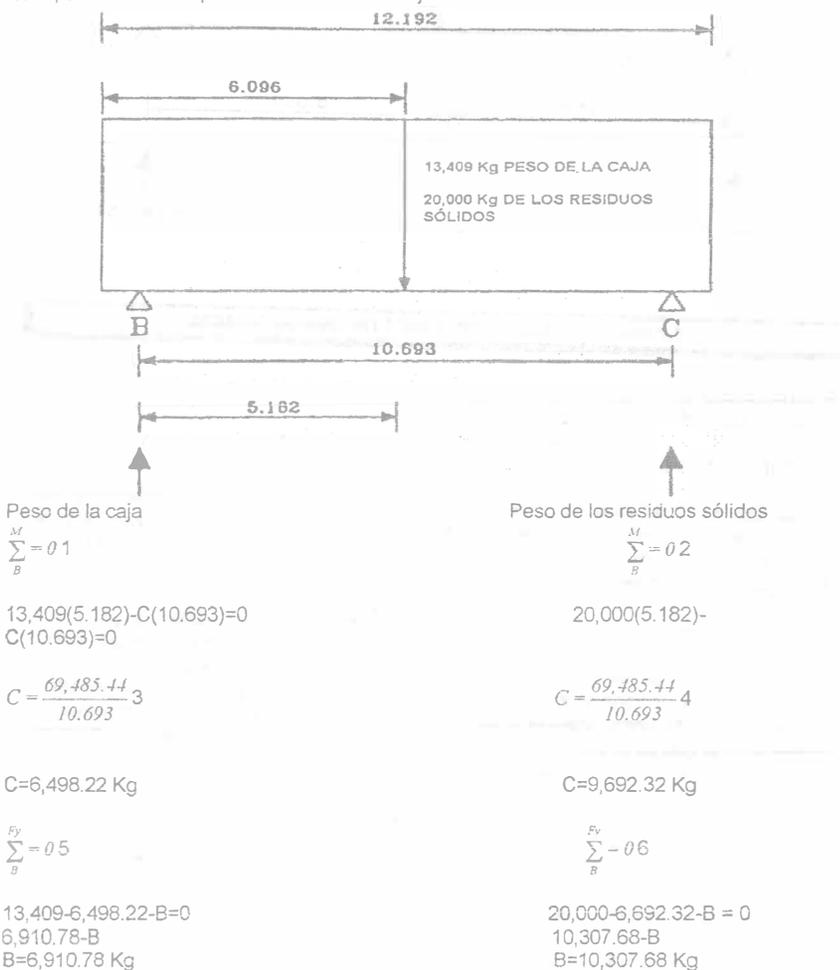
Además se indica la distribución del peso del vehículo en cada uno de los ejes.

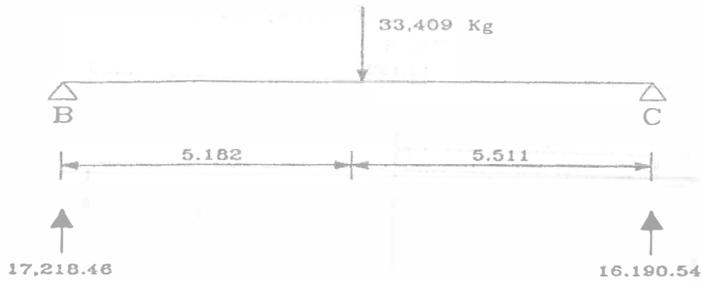
- Peso vehicular eje delantero = 4,976 Kg
- Peso vehicular en eje trasero = 3,413 Kg

El resumen de las cargas en los diferentes ejes de la combinación tracto camión-caja, se presenta en el siguiente cuadro:

	Eje delantero	Eje trasero (tractor)	Eje trasero (semitrailer)
Tractor	4,976 kg	3,413 kg	0 kg
Caja	0 kg	6,910.78 kg	6,498.22 kg
Residuos sólidos	0 kg	10,307.68 kg	9,695.32 kg
Suma de cargas	4,976 kg	20,631.46 kg	16,190.54 kg
Capacidad max. de ejes	5,442 kg	20,865 kg	19,500 kg

Como se puede ver, el análisis de cargas realizado puede aceptarse, ya que en ningún caso, se rebasa la capacidad máxima de los ejes.





### 7.7 PROYECTO DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

A continuación se indican los estudios a realizar para el proyecto y operación de una estación de transferencia.

#### CALCULO DE LA CAPACIDAD

Se calcula con el Modelo de Colas o de Líneas de Espera, donde se determinan las medidas de desempeño para evaluar los sistemas, así como el número de vehículos de transferencia requeridos, el tiempo de espera en cola para los vehículos recolectores que descargan, la eficiencia de la estación, etc.

El proceso básico de los modelos de colas es el siguiente: Clientes (vehículos recolectores), que requieren el servicio se generan en el tiempo por medio de una fuente de entrada. Estos clientes entran en el sistema de colas y se unen a una cola, en diversos momentos, se selecciona a uno de los clientes formados para darle el servicio, mediante la regla conocida como disciplina de cola (o disciplina en el servicio), entonces se proporciona al cliente el servicio requerido por medio del mecanismo del mismo, después de lo cual, tal cliente sale del sistema.

#### PARÁMETROS DE DISEÑO

1. Vialidades exteriores.- Adecuaciones geométricas y carril de desaceleración.
2. Vialidades interiores.- Carril de encolamiento, rampas, señalización.
3. Zona de descarga.- Patio de maniobras, línea de servicio

4. Zona de carga.- Patio de carga
5. Servicios generales.- Oficinas, talleres, estacionamientos
6. Obras complementarias.- Techumbre, caseta de control, báscula, barda perimetral y barrera visual
7. Controles ambientales.- Aspersores y extractores

#### IMPACTO AMBIENTAL

- Delimitación del área de estudio
- Características del medio físico.- Clima, suelo, cuerpos de agua
- Características del medio biótico.- Vegetación, fauna (roedores, perros, moscas, etc.)
- Características del medio socio económico.- Demografía, Servicios Urbanos, Aspectos económicos, aspectos históricos, sociales, arqueológicos, étnicos, otros.
- Identificación y evaluación de impactos ambientales
- Descripción del escenario ambiental modificado
- Medidas de mitigación

#### MONITOREO AMBIENTAL

- Criterios de monitoreo: según el tipo de instalación, según la ubicación de la instalación, según la cantidad y el tipo de residuos manejados, según la eficiencia de la operación.
- Técnicas y normatividad empleadas
- Programa de monitoreo
- Metodología

## INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

### CAPITULO 8 REDUCCIÓN Y SEPARACIÓN

- 8.1 CONSIDERACIONES PREVIAS
- 8.2 MINIMIZACIÓN
- 8.3 SEPARACIÓN EN LA FUENTE
- 8.4 REDUCCIÓN EN FUENTE
- 8.5 REDUCCIÓN INSTITUCIONAL
- 8.6 PROCESAMIENTO EN LA FUENTE
- 8.7 SEPARACIÓN POSTERIOR

#### 8.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

La reducción de los residuos sólidos se puede conseguir de cuatro formas: 1º.- Reduciendo la cantidad de material utilizado por cada producto, sacrificando ganancia en el mismo. 2º.- incrementando el tiempo de vida de un producto. 3º.- Eliminando la necesidad o demanda de un producto. Y 4º Mejorando y disminuyendo los envases.

En la industria, la reducción de los desechos se le llama "prevención de la contaminación", esto es importante porque en muchos casos el costo de tratar los residuos es más alto que cambiar procesos que eviten su producción, recordando que cualquier proceso de manufactura produce desechos.

Uno de los problemas para la eliminación de los desechos sólidos lo constituye los materiales **poliméricos**, principal componente de los productos plásticos para empackado (botellas, bote, bolsa, etc.) ya que una vez desechados muestran una resistencia al ataque de microorganismos presentes en el suelo, así como al ataque por radiaciones solares y Ultra Violeta. Se están llevando a cabo investigaciones para agregarles algún componente (por ejemplo almidón como fotoactivador) que permitan su degradación en forma práctica.

El reuso permite reducir los desechos, muchos productos son reusados en forma tradicional, muchos productos simples tienen utilidad y valor para más de un propósito por ejemplo: bolsas obtenidas en el supermercado se utilizan para proteger o guardar objetos, para almacenar o acarrear la basura; el papel periódico se utiliza para hacer fuego o para prenderlo; las latas de café o de chocolate se usan para guardar clavos, tornillos, desarmadores, joyas, etc. .

La separación y el reciclaje requieren que los generadores del material de desecho, separen la fracción útil o utilizable. Posteriormente cuando son

recolectados pueden separarse y reciclarse para procesarlos y utilizarlos, los materiales actualmente más importantes para el reciclado son: papel, acero, aluminio, plástico, vidrio y trapo.

En los últimos años la producción de desechos sólidos ha aumentado en calidad y cantidad esto es debido a tres factores fundamentales, 1°.- El crecimiento de la población, 2°.- El consumismo a que nos ha sometido la publicidad y en 3°.- La población con mayor poder adquisitivo.

Considerando lo anterior la reducción de residuos se puede promover primero desde su origen, donde se generan los productos y sus empaques; en cuanto a la elaboración del producto en los establecimientos industriales y los procesadores, se debe contar con programas de calidad (ISO 14,000) que disminuyan, controlen y desalojen sus desechos sólidos no peligrosos, en forma adecuada y no sean agregados en los RSM. Tomemos por ejemplo los "empaques" que producen un gran volumen de desechos, unas veces reusables y otras no, los productos comerciales requieren por un lado protección en el transporte y por otro presentación agradable al consumidor, todo esto rápidamente se convierte en desecho; para entender mejor lo anterior en seguida se presentan algunos conceptos:

Envase primario:	En contacto con el producto
Envase secundario:	Envoltura o caja que contiene el envase primario
Embalaje:	Sistema para contener y transportar envases primarios o productos a granel
Empaque:	Material para amortiguamiento de choques y para relleno de cajas.

Las funciones de los envases son:

- Proteger y preservar,
- Contener y transportar,

- Informar, atraer y promover,
- Comodidad para el consumidor,
- Disminución de robos.

Los principales materiales usados en envases son: Acero (hojalata), aluminio, cartón, papel, plástico, vidrio, madera y algunos materiales complejos.

Ciclo de vida de los envases

- 1°.- Adquisición de las materias primas
- 2°.- Procesamiento de estas materias
- 3°.- Producción o conversión de envases
- 4°.- Proceso de llenado, envasado y embalado
- 5°.- Distribución y venta
- 6°.- Manejo de residuos
  - Reducción en su origen
  - Reutilización
  - Reciclaje
  - Incineración con producción de energía
  - Disposición en rellenos sanitarios
  - Degradabilidad

La gente arroja muchas cosas a la basura, debemos pensar cual es el mejor modo de reducir al mínimo estos desperdicios, evidentemente, existiría menos escoria si se tiraran menos objetos. Por ejemplo el frasco de crema de cacahuete que se encuentra en la basura podría utilizarse una y otra vez si hubiera un gran barril de esta crema en la tienda, de donde se pudiera rellenar el frasco. Otro ejemplo, no sería necesario comprar la toalla de papel que se arroja a la basura si se usaran toallas de trapo que desempeñan bien la misma función. Cuando un refrigerador ya no enfría eficazmente, la avería suele estar en el compresor, más no en el

almazón ni en el compartimiento para alimentos, al repararse funcionaría igual para conservar alimentos y otros productos.

En general, con el reciclaje no solo se conservan los recursos materiales sino que también, se ahorra combustible, por ejemplo, se requieren casi 20 veces más combustible para producir aluminio de una mena virgen que de los desperdicios de aluminio, y se necesita más o menos el doble de energía para fabricar acero y papel a partir de las fuentes naturales que de los desechos.

En muchos casos, en las operaciones de reciclaje se origina menos contaminación que en los procesos originales. Se liberan grandes cantidades de contaminantes cuando se fabrica el papel con la pulpa de madera o cuando se refina el metal a partir de la mena, por ejemplo, tanto en las fábricas de papel como en las fundiciones se descargan diversos compuestos de azufre que contaminan el aire y el agua.

Sin embargo, no todos los objetos son susceptibles de reparación o de nuevo uso, un neumático o llanta, por ejemplo, solo puede vulcanizarse dos veces sin exceder los límites de seguridad, los periódicos viejos y la carne deteriorada carecen de utilidad para la mayoría de las personas. Los neumáticos gastados pueden desmenuzarse y convertirse en caucho bruto; los periódicos viejos pueden reconvertirse en pulpa y en papel; los alimentos deteriorados pueden derretirse y convertirse en sebo y alimento para animales.

En el mejor de los casos, los procedimientos de reciclaje conservan tanto la energía como los materiales, sin embargo, no todo objeto puede reciclarse eficazmente, por ejemplo, una botella de refresco arrojada a la carretera, en alguna región rural aislada y que es aplastada por las ruedas de un camión de remolque, el vidrio desmenuzado es reciclable en principio, pero la operación de recoger y concentrar todo el vidrio desmenuzado a lo largo de las carreteras rurales consumiría tanta energía que resultaría impracticable, por consiguiente a

pesar de los cálculos teóricos, las operaciones de reciclaje pierden eficacia si el desperdicio se esparce.

Resulta fácil concebir un orden de sucesión ideal en que los objetos duraderos se utilizan durante mucho tiempo, se reparan o remiendan para prolongar aún más sus vidas y finalmente se desmontan sus elementos constitutivos para volver a utilizarlos como materias primas, sin duda, algunos materiales se descartarán del ciclo, pero su volumen sería reducido, sin embargo, ningún plan de esta clase ha funcionado eficazmente en la sociedad moderna, porque intervienen determinados factores sociales y económicos complejos que lo impiden originando el consumismo.

## 8.2 MINIMIZACIÓN

La justificación o base para esta acción radica en que los modelos no apropiados de producción y consumo están aumentando persistentemente la cantidad y variedad de residuos, esta tendencia podría cuadruplicar las cantidades para el año 2025. Un enfoque preventivo de la producción de residuos orientado a cambiar estilos de vida y modelos de producción y consumo ofrece la mejor oportunidad de revertir las tendencias actuales.

Objetivos de la minimización de residuos:

- Estabilizar o reducir la producción de residuos
- Fortalecer la capacidad de evaluar los cambios en la cantidad y composición de los residuos.

De acuerdo a este enfoque, la agenda XXI establece que es importante que los gobiernos, según su capacidad y recursos disponibles, fijen las siguientes metas:

- a).- Asegurar la capacidad de evaluar y monitorear las tendencias de los residuos e implementar políticas de minimización de residuos.

b).- Generar programas de minimización de residuos en todos los países industrializados. Los países en desarrollo deben estar trabajando para lograr esta meta.

c).- Generar programas para reducir los residuos agrícolas en todos los países, en particular, en los países industrializados.

Los programas de minimización deben tender a: 1º.- promover la participación activa de las ONGs y grupos de consumidores, 2º.- Fortalecer la capacidad nacional para desarrollar y diseñar tecnologías y medidas para reducir los residuos, 3º.- Brindar incentivos a los productores y consumidores, 4º.- Desarrollar planes nacionales de reducción de residuos e incluirlos en el programa nacional de desarrollo. Para lo anterior se sugiere que los países industrializados destinen 1% de los gastos en residuos sólidos a la minimización.

De las cuatro áreas programáticas del capítulo 21 de la agenda XXI, esta área es la más importante desde el punto de vista ecológico, ambiental y de conservación de recursos, es decir, que es mejor evitar la producción de residuos que reciclarlos y parece razonable pedirle a los municipios que inviertan el 1% de su presupuesto que tienen destinado a los residuos sólidos en la minimización de residuos. Se recomienda que la sociedad, principalmente los productores y consumidores, tomen conciencia de las ventajas de la práctica voluntaria de minimización de residuos. La reglamentación debe apoyar y promover la acción voluntaria.

A fin de establecer programas con metas realistas, el primer paso es establecer un sistema de monitoreo de residuos sólidos que evalúe periódicamente las cantidades de residuos, incluidos los que se reciclan y la calidad de los servicios.

Si bien en los países en desarrollo se reconoce claramente que las autoridades municipales locales son responsables de los servicios, la mayoría de ellos no cuentan con una autoridad nacional de residuos sólidos que establezca metas y políticas a nivel nacional y aunque la responsabilidad está dividida entre varios

organismos dedicados al control ambiental – medio ambiente, salud pública, planificación, desarrollo, finanzas y residuos sólidos – la evaluación y monitoreo se diluye.

Con respecto a la meta que se refiere a tener programas de minimización propiamente dichos, esto se está cumpliendo de una u otra forma en los países industrializados y en Latinoamérica se están dando los primeros pasos.

Existen tres tipos principales de acciones de minimización de generación de residuos sólidos urbanos:

- La primera consiste en las acciones regulatorias que el Estado Nacional toma, es decir son leyes y normas de carácter nacional, que obligan a los fabricantes de productos y sobre todo de empaques a considerar su ciclo de vida de tal forma que se minimice su peso y su volumen cuando pasen a ser desechos.
- El segundo tipo de acciones son las que toma la sociedad civil, principalmente a través de las asociaciones de consumidores que promueven el boicot de compra de productos que no minimizan la generación de residuos.
- El tercer tipo es el de la toma de conciencia por parte de las grandes empresas, principalmente las grandes corporaciones industriales, que forman fundaciones u ONGs para promover la minimización y reciclaje.

Como puede verse, el primer tipo de acciones tiene carácter de política nacional siendo poco lo que puede hacerse en una ciudad o municipio. Estas políticas tienen que ver principalmente con la reducción del empaque, el fomento del intercambio de residuos a través de las Bolsas de Residuos Industriales (BRI) y con los aspectos legales relacionados con la participación de los ciudadanos y grupos comunitarios en el proceso de toma de decisiones. El proceso para establecer estos programas y reglamentos es difícil debido a la presión ejercida por los ciudadanos, grupos de consumidores, la industria y el comercio.

Con respecto a las actividades de la sociedad civil, en los países industrializados los grupos de consumidores están organizados y es común el boicot de productos considerados ambientalmente dañinos.

### 8.3 SEPARACIÓN EN LA FUENTE

Los residuos sólidos que se desechan en los hogares, comercios, parques, etc., que podrían reciclarse fácilmente, se convierten en basura propiamente dicha al ser mezclados con otro tipo de residuos, este mezclado se lleva a cabo en los recipientes domésticos, contenedores, en los vehículos recolectores o de transferencia, así como en los sitios de disposición final. Desde este punto de vista, la separación de subproductos puede darse desde el inicio del ciclo de los residuos sólidos, es decir, en la fuente generadora con lo cual se evita el mezclado de residuos de diferentes tipos. La alternativa a este tipo de separación es la que se da posterior a la recolección y transporte de los residuos que es lo más común en nuestro medio.

La separación en la fuente es el método de separación más sencillo, de hecho, no se da una separación sino que se evita el mezclado de los residuos en la fuente generadora. Es la alternativa que recientemente ha adquirido más relevancia y más apoyo especialmente en los países industrializados, donde los costos de disposición final y de tratamiento han alcanzado niveles sumamente elevados, aunque también ha iniciado en países no industrializados.

Es conveniente desarrollar un eficiente programa de separación en la fuente y para su aplicación es necesario como mínimo, cumplir dos requisitos fundamentales.

- 1º.- Conciencia ciudadana
- 2º.- Infraestructura de apoyo

La conciencia ciudadana es un requisito necesario para que el habitante de una población esté convencido de la conveniencia, la necesidad de su participación y de realizar la separación en la fuente. Es cierto que se pueden usar ciertos incentivos para el convencimiento del público en general, como es la remuneración económica mediante la comercialización de subproductos, de cualquier manera es necesario que exista una conciencia y un convencimiento de que con la separación en la fuente se logran ventajas que repercuten en beneficio de la comunidad, de la salud y del medio ambiente.

Si no existe infraestructura de apoyo, no tiene ventaja alguna efectuar la separación de residuos en la fuente, ya que estos serían mezclados en los camiones recolectores o bien el ciudadano no podrá realizar su comercialización, por lo tanto, es necesario establecer una estrategia completa a efecto de que los subproductos separados puedan ser recolectados en forma adecuada, ya sea mediante vehículos especiales o bien programando la recolección en diferentes días para diferentes tipos de residuos, esta estrategia debe considerar entre otros aspectos, el establecimiento de centros de acopio para la recepción de subproductos de aquellos ciudadanos que prefieran llevarlos personalmente o enviarlos a estos sitios.

A nivel doméstico, también es necesario contar con la infraestructura requerida para el almacenaje separado de los subproductos reciclables, lo cual generalmente demanda un mayor espacio en la vivienda para el lugar donde se acostumbra guardar la basura y con los recipientes necesarios.

Actualmente la reglamentación en muchos países demanda que la separación de los materiales reciclables se haga en la fuente por el residente, en lo que respecta a componentes como papel, aluminio, vidrio y plástico. La separación en la fuente ofrece ventajas porque reduce los costos del procesamiento posterior para la recuperación de los materiales y produce material de mayor calidad (menos contaminado) que los recuperados en las instalaciones centralizadas.

Los materiales que se separan en la fuente pueden recogerse ya sea por vehículos recolectores o por entrega por parte de los propietarios en centros locales de depósito y compra. Los programas de recolección del material separado en las aceras, en general reciben un mejor apoyo del público (entre 50 y 90% de participación de los residentes) que los programas de entrega en depósito o compra.

#### 8.4 REDUCCIÓN EN FUENTE

##### REDUCCIÓN EN LA FUENTE

Las iniciativas para prevenir la generación de residuos, reducen la cantidad de materiales desechados que requieren alguna forma de manejo, más aún, el concepto de reducción ayuda a elevar la conciencia del público en el manejo de los residuos sólidos, aunque dicha reducción debe ser evaluada cuidadosamente para asegurar que tengan buenas bases.

En los países en donde ya existe una conciencia (ciudadana) ambiental, los fabricantes tienen incentivos económicos y ambientales para proporcionar al consumidor productos lo más eficientes posible, la reducción debe hacerse tomando en cuenta el ciclo de vida de cada producto, de esta manera, se previene que los problemas sólo cambien de lugar ya que una mejora aparente en una parte del ciclo de vida puede simplemente llevar a otros problemas posteriores, por ejemplo, la reducción de empaques de alimentos puede resultar en una mayor cantidad de comida desperdiciada ó en que se requiera una mayor cantidad de empaque para su transportación.

El concepto "más a cambio de menos" ha sido adoptado por la industria dando lugar a productos concentrados, empaques más ligeros y rellenables, reducción de empaques de transportación y otras innovaciones. Se han introducido cambios en los procesos de producción, en donde muchas compañías han adoptado esquemas internos de reciclado ó de recuperación de energía.

los procesos de producción, en donde muchas compañías han adoptado esquemas internos de reciclado ó de recuperación de energía.

La industria también ayuda a reducir los residuos extendiendo la vida de sus productos, de manera tal que se aplaza el tiempo en que los productos se convierten en residuos, esto se lleva a cabo, por ejemplo, haciendo productos fáciles de reparar o de mejorar.

Productores de materias primas, fabricantes, distribuidores, comerciantes, consumidores y autoridades deben responsabilizarse por los residuos que generan, una manera efectiva de promover la minimización de residuos experimentada en otros países, ha sido cobrar al generador de éstos conforme a la cantidad producida; esta es una aplicación del principio **el que contamina paga** y forma parte de una estrategia de responsabilidad compartida.

La minimización o reducción en la fuente, en realidad precede al manejo efectivo de los residuos y no es parte de él, ya que afectara el volumen generado y hasta cierto punto la naturaleza de los residuos, pero aún así habrá residuos que serán generados y requerirán de sistemas de manejo integral.

##### REDUCCIÓN DE LAS FUENTES

La reducción de las fuentes, definida como una reducción en la cantidad o toxicidad de los residuos que entran en el ciclo de vida, se distingue del reciclaje, la conversión en abono y otras practicas de recuperación, en que todas ellas se verifican después de la generación de los residuos. Representa el medio más eficaz para reducir los costos económicos y los efectos ambientales asociados con el manejo de los residuos.

Se han identificado tres requisitos fundamentales para implementar un programa de reducción de las fuentes:

- 1.- Adopción de estándares industriales para la manufactura y empaquetado de los productos mediante un menor uso de materiales.
- 2.- Aprobación de leyes que reduzcan al mínimo el uso de materiales vírgenes en productos de consumo.
- 3.- Adopción por parte de las comunidades, de tarifas por servicios de administración de residuos, dichas tarifas deben sancionar a los generadores por aumentar las cantidades de residuos.

Para los establecimientos que requieren obtener el reconocimiento ISO 14,000, uno de los requisitos que deben cumplir, es reducir sus residuos de todo tipo.

### 8.5 REDUCCIÓN INSTITUCIONAL

La reducción de volumen de los residuos sólidos se lleva a cabo con objeto de facilitar su manejo y fundamentalmente para, alargar al máximo la vida útil de los sitios de disposición final. La incineración constituye una manera particular de lograr este objetivo; se presentan algunos métodos disponibles para lograr la reducción de volumen, dejando la incineración para su análisis en el capítulo "10 Tratamiento".

a).- Compactación:

Por lo general, en nuestro país este proceso se lleva a cabo principalmente en las etapas de recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos, sin embargo, es posible efectuarlo también en otras etapas del manejo de los residuos sólidos, como puede ser las estaciones de transferencia. En el caso de los sitios de disposición final, el equipo empleado para la compactación de los residuos consiste en tractores de oruga, o bien en compactadores diseñados específicamente para ese fin, los cuales den varias "pasadas" sobre los residuos hasta lograr su objetivo. De estos equipos y el procedimiento a seguir para la compactación de los residuos en rellenos sanitarios se hablará en el capítulo 11 correspondiente a Disposición final, por lo mismo no se revisarán aquí los equipos de compactación integrados en los vehículos de recolección y transferencia.

correspondiente a Disposición final, por lo mismo no se revisarán aquí los equipos de compactación integrados en los vehículos de recolección y transferencia.

Los equipos normalmente utilizados en las estaciones de transferencia para reducir el volumen de los residuos sólidos constan básicamente de una estructura robusta donde se compacta los residuos con base en un sistema hidráulico. Después de conseguir la compactación, existen dos alternativas dependiendo del equipo con que cuente la estación.

**La primera**, consiste en cargar los residuos compactados en una caja de transferencia, dejando que sea la estructura de ésta el único control para mantener el peso volumétrico conseguido por el equipo de compactación, por consiguiente al descargar los residuos en el sitio de disposición final, estos disminuyen parcialmente el peso volumétrico obtenido por la compactación.

**La segunda**, considera como paso adicional a la compactación, el flejado con alambre de acero para evitar que los residuos se re-expandan y mantengan la densidad conseguida aún después de ser dispuestos en un relleno sanitario, de hecho, lo que se consigue es conformar una "paca" de basura de dimensiones relativamente considerables.

Este método se ha utilizado con éxito sobre todo en Estados Unidos y Japón; en este último país se utiliza además una malla de alambre adicional de flejado.

Las ventajas obtenidas con este método son las siguientes:

- El peso volumétrico obtenido es de 1.5 a 2 veces superior al que se obtiene en un relleno sanitario bien consolidado.
- Se disminuyen los asentamientos en rellenos sanitarios.
- Se disminuye la emisión de olores y el riesgo de proliferación de vectores.

- En ciertos casos, es posible disponer hasta un 60% más de residuos sólidos en un relleno sanitario.
- Los requerimientos en material de cubierta pueden verse reducidos hasta en un 75%.
- Incremento considerable en la vida útil del relleno sanitario.
- Mayor eficiencia de los vehículos en el transporte de residuos.

Entre las desventajas de este método se pueden mencionar las siguientes.

- Altos costos de inversión en el equipo de instalación.
- El lixiviado generado puede presentar una mayor agresividad.
- El método no es aplicable cuando los residuos presentan altos contenidos de humedad.

b).- Trituración o fragmentación:

El término trituración o fragmentación comprende todas aquellas técnicas que tienen por objeto la reducción y homogeneización del tamaño de las partículas que conforman los residuos sólidos municipales (molido, pulverizado, trituración, desmenuzado, despedazado, etc.) normalmente la trituración o fragmentación se considera como una actividad de pre-tratamiento y se lleva a cabo con el objeto de dar a los residuos una preparación para un tratamiento o disposición posterior, mediante la modificación de ciertas características físicas. Esta modificación se traduce en una reducción del volumen global de los residuos, así como en una homogeneización de sus características físicas (tamaño de partículas, peso volumétrico, composición, etc.)

Los efectos conseguidos mediante la fragmentación de los residuos sólidos adquieren mayor o menor importancia dependiendo del tratamiento posterior al que serán destinados, en el caso de un relleno sanitario, las ventajas que se presentan son:

- Un mayor grado de compactación.
- Menores asentamientos locales posteriores a la clausura.
- Mayor vida útil del sitio
- Menores riesgos de incendio, incidencia de vectores y olores.
- Menor daño a los equipos de trabajo utilizados en el sitio

Para el caso de la **incineración**, al tener un combustible más homogéneo se puede lograr un mayor control sobre el proceso correspondiente y con ello una mayor eficiencia en la combustión de los residuos, asimismo, se evitan riesgos de daños a las partes que conforman el equipo de combustión, en el caso de utilizar hornos de lecho fluidizado, el molido de los residuos es un requisito indispensable (al igual que en la fabricación de composta).

En el **transporte** de los residuos sólidos, se logra una mayor eficiencia al permitir un mejor "acomodo" de estos en los vehículos de transporte.

De manera general, el manejo de los residuos se facilita considerablemente cuando son sometidos al proceso de fragmentación y los equipos actualmente disponibles para lograr la fragmentación de los residuos sólidos son muy diversos y se basan en distintos principios de operación.

El equipo más utilizado es el denominado molino de martillos, el cual se compone de una estructura fija en acero o camisa al interior de la cual puede girar uno, dos o tres rotores sobre un eje vertical y horizontal; dentro de la estructura se encuentran fijadas una o más parrillas, la granulometría deseada se obtiene regulando diferentes parámetros de operación: número y colocación de los martillos, velocidad de rotación, velocidad tangencial, espaciado de las barras de la parrilla, etc.

Por lo general, los residuos sólidos presentan características de abrasividad elevada, por lo que las piezas sometidas a un desgaste excesivo (martillos, parrillas, placas de protección, etc.) deben ser susceptibles de desmontarse fácilmente y ser reemplazadas rápidamente

### 8.6 PROCESAMIENTO EN LA FUENTE

Los residuos sólidos municipales se pueden procesar localmente en los edificios residenciales, comerciales e industriales para reducir su volumen, además con la posibilidad de recuperar materiales reciclables. Los tipos más comunes de estos procesos son los siguientes:

- 1.- Trituradores.- Forma de reducir el tamaño, también los procesos como "cortar", "moler", "aplastar" son otras formas de reducirlo sin embargo en el manejo de residuos sólidos "trituration" es el termino genérico para la reducción de tamaño, así se considera que la "trituration" abarca todos los procesos utilizados para hacer partículas pequeñas a partir de partes grandes, generalmente como paso previo para otros procesos  
Se tienen trituradores: a).- de martillo para reducir materiales pétreos procedentes de construcciones o de minas, b).- Para material orgánico en la producción de composta, c).- Para la manufactura de papel, d).- Para rebanar llantas de hule, e).- Para cortar y destrozarse botellas y bolsas de plástico
- 2.- Molinos trituradores domésticos.- Trituran residuos de alimentos para convertirlos en una suspensión, la cual se descarga del fregadero de la cocina al drenaje, pueden permitirse cuando la planta de tratamiento de aguas residuales es capaz de manejar las mayores cargas de materiales orgánicos y sólidos que las unidades aportan (alrededor del 30% en cada caso si todas las residencias contaran con molinos). La comodidad para los propietarios que tienen recursos para adquirirlos, la reducción de la cantidad de residuos sólidos putrescibles que es necesario almacenar y la posibilidad de disminuir la

frecuencia de recolección son razones por las cuales ciertos municipios en los Estados Unidos han hecho obligatorias estas unidades de fregadero residenciales.

- 3.- Compactadores.- los compactadores domésticos reducen el volumen de los residuos hasta en un 70%, pero solo manejan ciertos residuos, su uso no se ha extendido mucho, por otra parte, los compactadores comerciales son comunes en centros comerciales, instituciones y otros lugares donde se practica el embalaje de papel o cartón. La compactación es ventajosa pues reduce los costos de transporte, pero puede causar problemas si se mezclan estos productos compactados con otros RSM. Será necesario abrir las pacas si los residuos se van a incinerar o a enviar a un centro de recuperación de recursos.
- 4.- Formadores de abono.- Los ambientalistas y diversos gobiernos (estatales, municipales, etc.) fomentan la conversión de abono en el patio trasero de las casas como un medio para reducir la cantidad de residuos que son recolectados y que se envían a los rellenos. El proceso implica poner el material orgánico (residuos de cocina y de jardín) en una pila o recipiente, y luego agregar ocasionalmente agua y agitar la mezcla para favorecer la descomposición microbiana. Si en alguna comunidad los residuos de cocina y de jardín constituyen en conjunto el 25% de los residuos sólidos residenciales, el hecho de no enviarlos a rellenos debe reducir significativamente las necesidades de relleno de los residuos  
En cuanto a los residuos de jardín (18%), es mejor dejar que los recortes de pasto se descompongan en el suelo, al menos en climas húmedos, las hojas que son la fracción principal, son difíciles de transformar en abono, y es probable que los municipios puedan hacer esto con más eficacia. Por tanto desde un punto de vista municipal, el ahorro en cuanto a capacidad de relleno por conversión de abono en el jardín no sería significativa, además, con la reducción de contenido de materia orgánica en el relleno, y en caso de producción de energía se produciría menos biogás y la recuperación de energía por recolección y utilización de este gas sería menos atractiva.

Una buena conversión en abono proporciona al propietario un material fértil rico en nutrientes que es benéfico para prados, jardines, árboles y plantas, el problema está en mantener condiciones idóneas para la conversión en abono, la preparación de abono que no se maneja bien puede atraer animales como, ratas, ratones y ardillas, los cuales se alimentan del material o anidan en él y por tanto representan un peligro potencial para la salud.

### 8.7 SEPARACIÓN POSTERIOR

La separación de subproductos a partir de los residuos sólidos fuera de la fuente generadora, es una práctica que comúnmente se da en la etapa de recolección y hasta su disposición final. La separación de subproductos es efectuada por los barrenderos, la tripulación de los vehículos y los "pepenadores" que operan en los sitios de disposición final, sin embargo, dicha separación se lleva a cabo de manera informal y frecuentemente en condiciones de insalubridad y de alto riesgo para las personas que llevan a cabo esta tarea y presenta muchas molestias para la población expuesta a este tipo de actividades.

En la actualidad existen disponibles en el mercado tecnologías y equipos cuyo objetivo es la separación mecánica de los subproductos contenidos en los residuos sólidos, esta separación puede ser completamente mecanizada o bien una combinación de equipo mecánico y separación manual.

El método de separación combinado utiliza fundamentalmente bandas transportadoras de rodillos accionadas por motores y sobre las cuales los residuos se desplazan a cierta velocidad y con una altura de residuos determinada. A ambos lados de las bandas se colocan operadores que se dedican a separar manualmente un tipo preestablecido de material, el cual van colocando en contenedores o tolvas que se encuentran ubicadas próximas a ellos, al final sobre la banda permanece el material de rechazo que se envía a algún tipo de tratamiento o en su caso a disposición final.

La separación mecanizada utiliza principios de tipo balístico, neumático, magnético y otros para separar los subproductos contenidos en la basura, aprovechando sus características físicas. Las figuras 8.1 y 8.2 muestran algunos de los equipos comúnmente utilizados en la separación mecánica de subproductos.

### SEPARACIÓN Y PROCESAMIENTO CENTRALIZADOS

La separación centralizada de desechos municipales mixtos, para después recuperarlos es otro enfoque de la administración de residuos. Este enfoque tiene el mayor potencial en áreas metropolitanas densas, ya que es ahí donde se dificulta la separación en la fuente (por ejemplo en áreas de grandes edificios de apartamentos, en multifamiliares o incluso en áreas mixtas: residenciales y comerciales).

El primer método, más primitivo y más insalubre para la separación de materiales en los residuos sólidos es la separación manual, desde el principio de la civilización los pepenadores han formado parte de la sociedad. Algunas personas aceptan en forma selectiva diversos desechos, recolectándolos y procesándolos, vendiéndolos con una ganancia, teniéndose en tiempos recientes como una profesión honorable y bastante rentable.

En los países desarrollados el oficio de pepenadores es rechazado por consideraciones de salud y por accidentes potenciales, sin embargo actualmente el comercio de productos separados de la basura vive gracias a la participación de personas que recuperan materiales.

Para tener eficiencia y ganancia en la recuperación se instalan **plantas recuperadoras o procesadoras**, en los países desarrollados el proceso de recuperación está automatizado, sin embargo se contrata personal que realiza manualmente la selección del material, separándolo de la basura que pasa frente

a ellos en una banda transportadora, este personal realiza dos funciones básicas: Primero recupera cualquier material de valor que no requiere ser procesado como puede ser cartón, papel periódico y piezas de metal, su segunda función es retirar todos aquellos materiales que pueda hacer daño al sistema de procesamiento, tales como explosivos.

Muchas veces las funciones señaladas del personal seleccionador (recuperar y proteger) se realizan en forma combinada, por ejemplo en una gran planta procesadora de EUA, se recuperó una pila de titanio de 60 cm de diámetro y 10 de alto, la que fue retirada de la banda que lleva a la trituradora. No se trataba solamente de una pieza de valiosa de metal, sino que, si la hubieran dejado pasar, hubiera destrozado la trituradora.

Las funciones de este personal que realiza la separación manual son reconocer visualmente el material por sus propiedades visuales como color, reflectividad y opacidad; verificar por los sentidos su densidad y separar manualmente. El retiro manual se hace en una banda en la que previamente se abren las bolsas de basura en forma mecánica y en ella se deposita su contenido.

En nuestro país, las plantas no cuentan con equipo para separación mecánica, el personal seleccionador (eran anteriormente pepenadores), únicamente realiza la función de romper bolsas, separar lo inorgánico de lo orgánico, separar y recuperar el material que tiene un valor intrínseco, que puede ser utilizado reciclados, procesado, etc., tomando en consideración que durante el almacenamiento y la recolección se lleva a cabo pepena que no permite que llegue a la planta gran cantidad de vidrio, envases de plástico y de aluminio, papel y cartón principalmente; sin embargo la recuperación se puede hacer con el material que llega a ella, el principal problema es la falta de mercado.

Los países desarrollados acostumbran separar la basura a nivel domiciliario, lo que no sucede en nuestro país, originando que mucho material que podría ser reciclado se desechó ya que va mezclada la basura orgánica con la inorgánica.

En el periodo de 1993 a 1998, se construyeron tres plantas de aprovechamiento ubicadas en San Juan de Aragón, Bordo Poniente y Santa Catarina, la mayoría con equipo comprado en los años 80's. Actualmente las únicas Plantas que funcionan en el país están en el D. F. Con una capacidad total de 6,500 ton por día. Existe además otra planta parada en la Ciudad de Oaxaca, se está construyendo una más en Monterrey (1999), otra se compró pero nunca se instaló en Acapulco y está en rehabilitación una más en la Ciudad de Mérida en Yucatán.

Las plantas fueron construidas en la mayoría de los casos como parte de un sistema orientado al reciclaje de los subproductos contenidos en los RSM, cuyo objetivo persigue recuperar materias primas para la industria recicladora y prolongar la vida útil de los sitios de disposición final, con los ahorros inherentes en la operación de los mismos, la creación de fuentes de empleo, mejorar la calidad de vida de los pepenadores y coadyuvar a la preservación del medio ambiente.

Dentro de las condiciones ambientales que prevalecen en el país, es importante dimensionar la participación de las plantas de reciclado de residuos como un mecanismo para el ahorro de recursos naturales, renovables y no renovables, fuente de creación de empleos dignos, aumento de la vida útil de los sitios de disposición final, disminución de los costos de operación de los SUA y los de fabricación de nuevos productos, la disminución de consumo de energía cuyos efectos se concentran en una aportación a la disminución de los volúmenes de contaminantes.

Se estima que en México, los materiales recuperados para su venta, representan del 5% al 10% de los RSM generados. El proceso de segregación es una actividad

que se realiza principalmente en las mismas fuentes de generación, en plantas de aprovechamiento, los camiones recolectores –prepepena- y en los tiraderos a cielo abierto –pepena-. Cabe señalar que los municipios no se benefician de los ingresos resultantes de la prepepena y pepena ni del reciclaje de los materiales recuperados, el beneficio consiste en el aumento de la vida útil en los sitios de disposición final y ahorro en los consumos por operación de los mismos.

En la historia de nuestro país, las plantas han tenido que ser subsidiadas en los gastos de inversión y en los costos de operación, sin embargo se debe reconocer el sentido social y ambiental de las mismas.

Existen diversos procesos unitarios para la clasificación a granel, muchos de ellos patentados, la clasificación de los desechos con maquinas, objeto por objeto, está todavía en una etapa temprana de desarrollo y el enfoque usual ha consistido en pulverizar y moler los desechos mixtos a fin de prepararlos para el tipo de recuperación proyectada. Los métodos para la separación de residuos mixtos secos y pulverizados se basan en diversidad, tamaño, inercia, conductividad y otras características de los desechos molidos; entre ellos están los siguientes:

- Clasificación con aire (o agua) para componentes de poco peso como papel y plástico.
- Separación magnética para materiales ferrosos
- Tamizado para separar materiales no ferrosos
- Diferenciación óptica de color para separar el vidrio incoloro del colorido.
- Clasificadores inerciales para separar las partículas orgánicas de las inorgánicas o las partículas pesadas y elásticas de las ligeras e inelásticas (es decir, para separar los contaminantes de la composta o abono).

La clasificación central a granel y la separación en la fuente no se excluyen mutuamente en una comunidad, la medida en que cada una se utiliza depende de factores como el tamaño y tipo de municipio, su situación económica, el grado de

separación esperado y el apoyo de los medios de comunicación. Las estimaciones acerca del efecto que produce la separación en la fuente de periódicos y recipientes de bebidas sugieren una pérdida del 3 al 10% del valor calórico de los desechos si se supone una recuperación máxima del 20 al 25% en la mayor parte de los municipios y una pérdida del 10% en el valor de otros materiales recuperables, como metales ferrosos, aluminio y vidrio.

### PLANTAS DE RECUPERACIÓN

La recuperación de materiales y energía que se ha analizado, suele practicarse en combinación con la incineración de residuos municipales cuando se produce vapor de agua y se recuperan metales ferrosos (y ocasionalmente otros materiales), no obstante en ciertos municipios la recuperación de materiales, en vez de ser parte de otros procesos puede ser una operación por separado para rescatar elementos reutilizables de los desechos municipales como cartón, papel, metal y vidrio. (Figuras 8.2, 8.3 y 8.4), las Instalaciones Centralizadas para la Recuperación de Materiales (ICRM) tienden a ser específicas para la localidad y desempeñan una de las siguientes funciones:

- Recuperación de materiales reciclables de residuos sólidos municipales separados en la fuente o mezclados.
- Eliminación de contaminantes de los residuos a fin de preparar un material limpio para combustión o conversión en abono.
- Recuperación selectiva de materiales reciclables y procesamientos de los desechos residuales por conversión en abono.

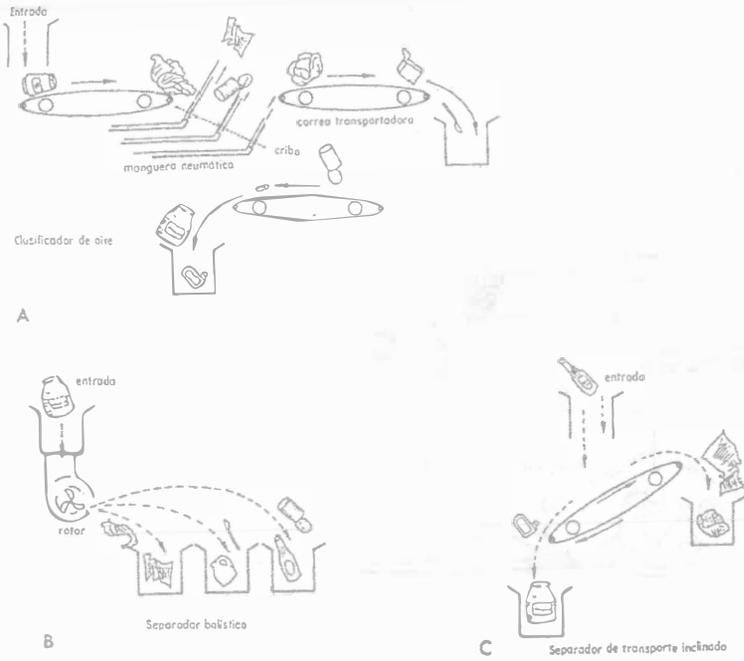


Fig. 8.1 Clases de separadores de material de desecho. A, clasificador de aire. B, separador balístico. C, separador de banda transportadora inclinada.

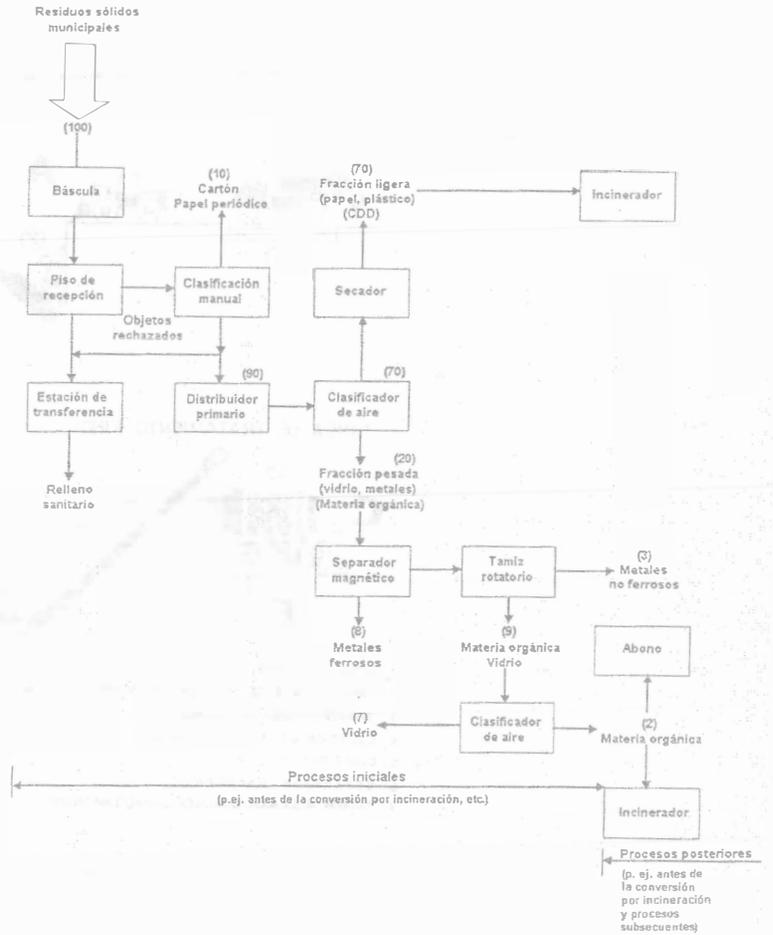


Fig.8.2 Diagrama de flujo de una planta representativa de recuperación de recursos

Nota: Las cifras que se muestran entre paréntesis son los porcentajes aproximados que se manejan (peso seco).

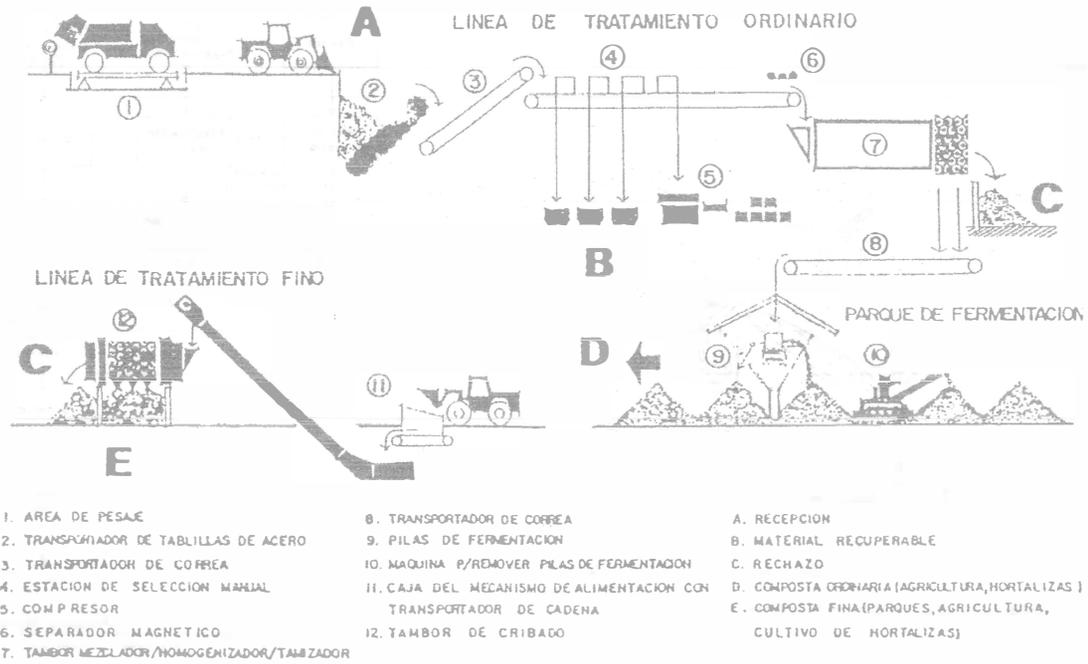


Fig. 8.3 Esquema de la planta de reciclaje y compostaje en Shoubra, el Cairo, Egipto

**INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES**

**CAPÍTULO 9 RECICLAJE**

- 9.1 IMPORTANCIA DEL RECICLAJE
- 9.2 ELEMENTOS A CONSIDERAR EN EL RECICLAJE
- 9.3 VOCACION DE LOS RESIDUOS
- 9.4 MERCADOS PARA EL MATERIAL RECICLADO
- 9.5 VENTAJAS DEL RECICLAJE
- 9.6 PROBLEMAS EN LA COMERCIALIZACIÓN
- 9.7 RECICLAJE DE PLASTICO, CASO GUADALAJARA.

**9.1 IMPORTANCIA DEL RECICLAJE**

Después de la reducción, el reciclaje es la practica más importante dentro de la jerarquía de la administración de los residuos sólidos, sin embargo hay que recordar que el material recuperado seguirá siendo un residuo mientras no se le encuentre un mercado, hasta entonces llegara a ser un "residuo útil".

Los principales objetivos del reciclaje son:

- 1.- Proteger los recursos naturales
- 2.- Prolongar la vida de los rellenos sanitarios

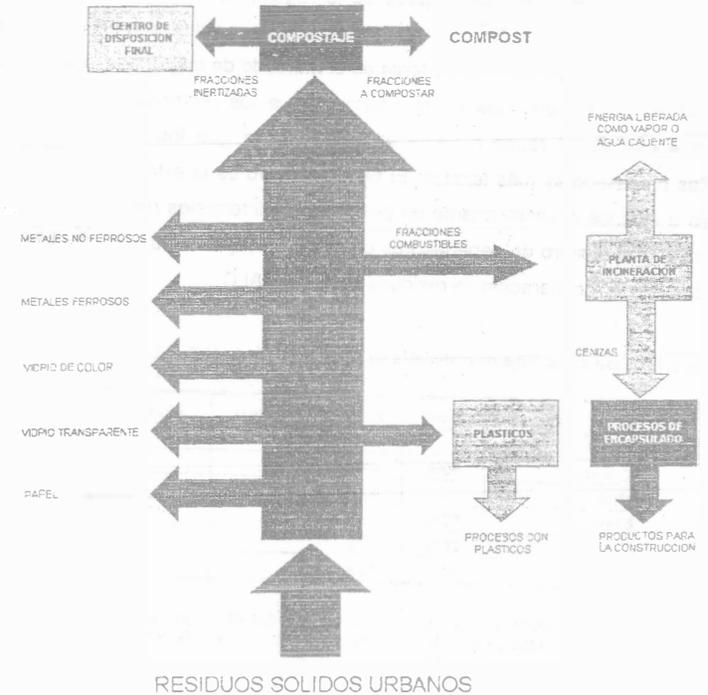


Figura 9.1 Separación para reciclaje

Para un gran número de personas pobres, la recuperación de materiales secundarios procedentes de los residuos sólidos municipales es fuente de ingresos. Los trabajadores del sector informal que de puerta en puerta compran o reciben papel y botellas; trabajadores del servicio de recolección que rebuscan entre los desechos recibidos en su ruta; pepenadores que seleccionan entre los desechos en los tiraderos y compradores de residuos de oficina (papel), de restaurantes (desperdicios de alimentos para alimentación de animales), de industrias, etc., son parte del sistema de reciclaje.

El reciclaje se practica ampliamente en ALC. Dado el bajo contenido de materiales reciclables que producen los hogares de la región, comparado con los de los países desarrollados, los métodos de recuperación y reciclaje son diferentes, ver cuadros 9.1 y 9.2. Un factor importante es el mercado de materiales recuperados ya que si en las cercanías no hay fabricas que los reprocesen, el reciclado quedara limitado al reuso o venta a intermediarios que los comercializan en plantas procesadoras más lejanas. El factor decisivo es la extrema pobreza que obliga a muchos a transformarse en pepenadores informales para sobrevivir, se estima que el numero de pepenadores en la región supera a las cien mil familias dedicadas a la recuperación de residuos sólidos en ALC.

Cuadro 9.1.- Tasa de reciclaje de materiales en algunos países de ALC (%).

País	Vidrio	Papel	Plástico	Aluminio
Brasil				
Colombia	60%	49%	-	
Chile	-	33%	7%	
México	60%	-	-	
Trinidad	20%	5%	-	
Venezuela	20%	55%	-	78%

Nota: Algunos resultados son porcentajes relacionados con el contenido total del material en los residuos y otros se expresan como el porcentaje de reciclables si la industria los usará como materia prima.

Cuadro 9.2.- Tratamiento, reciclaje y disposición final en algunos países industrializados (1995)

País	Tratamiento, reciclaje y disposición final			
	Relleno sanitario	Reciclaje	Cómpost	Incineración
E.U.A.	57	24	3	16
Japón	15	20	3	62
Alemania	42	20	2	36
Francia	45	3	1	41
Suecia	42	20	3	45
Suiza	10	23	7	60
Canadá	82	10	0	8
Inglaterra	90	2	0	8
Italia	75	3	7	15
España	68	13	15	4
Italia	45	20	5	35

No se conoce el grado de reciclaje que existe en los países, pero se calcula que no es muy alto en peso comparado con la cantidad de residuos generados. El reciclaje se logra de dos formas:

**Primero** mediante la separación y acopio en las industrias, comercios y grandes generadores y productores de materiales reciclables homogéneos (papel, cartón, botellas, plástico, metales ferrosos y no ferrosos) para venderlos a recolectores privados especializados. Generalmente este tipo de reciclaje es lucrativo y ecológicamente positivo por que puede realizarse bajo condiciones que protegen la salud del trabajador, Hay programas de reciclaje de este tipo en Colombia, México y Venezuela, sobre todo de vidrio, que han alcanzado gran éxito.

**Segundo** la segregación es practicada en la basura y generalmente consta de tres posibles tipos de intervención, la primera por los pepenadores callejeros en las bolsas o recipientes colocados para su recolección; la segunda en el camión recolector por los trabajadores del servicio; y la tercera en el relleno por los pepenadores, esta forma de recuperación obviamente no es recomendable porque generalmente pone en riesgo la salud de los pepenadores y causa problemas de

estética en la ciudad e ineficiencia en los servicios municipales, en general, los mayores beneficiarios son los intermediarios y los líderes de los sindicatos

En un estudio reciente en siete ciudades de México, se comprobó que las cantidades recicladas conjuntamente por los tres tipos de intervenciones mencionadas era menor de 2% de toda la basura en peso; aun cuando la recuperación de residuos sólidos por pepenadores no es alta en relación a la cantidad generada constituye el único modo de supervivencia para decenas de miles de familias.

Entre los problemas que presentan las variadas formas de recuperación de residuos se puede citar el desvío de los camiones recolectores de sus rutas trazadas para descargar y vender los residuos a recicladores, lo que eleva los costos de recolección. Otro es la crianza de cerdos con desperdicios de alimentos contenidos en la basura, actividad crítica para la salud pública cuando los criadores de cerdos construyen sus zahurdas o chiqueros dentro o contiguo a los tiraderos.

El método de reciclaje más promocionado en los países desarrollados es el de la recolección separada en fuente domiciliaria con la participación de la comunidad. En países con tradición de participación de la sociedad civil y donde el nivel educativo es alto, los resultados han sido positivos, aunque algunos críticos sostienen que el costo real del material recuperado es alto y que las compañías recicladoras pagan precios subsidiados, en ALC, este método se aplica parcialmente y sólo en algunas ciudades de Argentina, Colombia, Brasil y México (en 1994 había 82 programas de recuperación selectiva), la diferencia se debe a la desocupación y pobreza de ALC que genera la existencia de pepenadores, grupo social que no existe en los países desarrollados donde la separación la hace directamente la comunidad en la fuente generadora.

En México se han instalado tres plantas de reciclaje sin composta (los costos por la fabricación eran muy altos y el composta no tenía mercado), con una capacidad conjunta de 5,500 ton. por día de basura, para solucionar el problema social de cerca de 1,050 segregadores que antes trabajaban en los rellenos semi-controlados, antes de convertirse en sanitarios. Se estima que los costos de inversión, operación y mantenimiento por tonelada son de unos \$6 a \$8 por tonelada de basura que pasa por la planta, los cuales son subsidiados por el gobierno de la ciudad. La mano de obra es la de los propios pepenadores cuyas organizaciones gremiales se quedan con el total de los ingresos por venta de lo recuperado y pagan a sus agremiados sus salarios e incentivos. La tasa media de recuperación, según un estudio reciente, resultó ser de 5.3%, lo que queda, es decir un 94.7% de la basura que pasa por la planta se lleva a los rellenos sanitarios de la ciudad. El resto de las plantas Latinoamericanas tienen una tasa de recuperación que varía de 3 a 6% de reciclables. Cuando se fabrica composta en estas plantas la separación de la basura puede llegar a un 50 a 70% al retirar la materia orgánica.

Contribuyen en la tendencia hacia el aumento del reciclaje, la presión que se tiene por la cada vez más difícil localización de rellenos sanitarios, los efectos ambientales, los incentivos económicos y el apoyo político-ambiental.

El reciclaje de materiales puede ayudar a conservar recursos, evitar que materiales valorizables contenidos en los residuos vayan a disposición final y además hacer participar al público en este tema. Sin embargo en muchos casos se han creado expectativas irreales acerca de la contribución que el reciclaje puede hacer en un sistema de manejo integral de residuos.

El reciclaje es un proceso complejo que consume recursos durante el transporte, selección, limpieza y reprocesado de los materiales reciclables, además en este proceso también se producen residuos. El reciclaje debe ser considerado como

parte de una estrategia integral para manejar los residuos, no como un fin en sí mismo y promoverse únicamente cuando ofrece beneficios ambientales globales.

El beneficio ambiental de reciclar, varía de acuerdo con los materiales y también conforme a las tasas de reciclaje, de manera que altas tasas de reciclaje no son necesariamente iguales a mejores ambientes globales, por ejemplo, se ha encontrado que bolsas de plástico no reciclables traen más beneficios que botellas reciclables en términos de consumo de energía, emisiones al aire y al agua y generación de residuos sólidos, ya que desde un inicio usaron mucho menos material.

Los beneficios obtenidos del reciclaje son mayores cuando los residuos se componen de materiales valorizables limpios y disponibles en grandes cantidades; como ocurre en fuentes comerciales e industriales, de manera que el mayor esfuerzo debe ir dirigido hacia esas fuentes, también, la selección obligatoria (y por convencimiento a los usuarios) de los materiales reciclables a nivel domiciliario e institucional, constituye una acción esencial para el éxito de cualquier programa de reciclaje.

Los residuos domiciliarios contienen pequeñas cantidades de muchos materiales mezclados y frecuentemente contaminados por la mezcla, no todos los cuales pueden ser reciclados. La segregación temprana de estos residuos para separar los potencialmente reciclables, tienen otros beneficios como el que los consumidores estén consientes de los residuos que generan, lo conveniente es integrar el reciclado de los residuos domiciliarios con los residuos comerciales, como una estrategia de gestión integral, esto puede hacerse teniendo metas combinadas para la recuperación de residuos comerciales y domiciliarios, tomando en cuenta que cualquier sistema debe ser tanto ambiental como económicamente efectivo.

Incrementar la demanda y por lo tanto, el precio de materiales secundarios a través del desarrollo de nuevos usos de materiales reciclados, puede resultar en incrementos de las tasas de reciclaje existentes en el mercado

Existen opiniones en el sentido de que, incrementar las tasas de reciclaje a través de instrumentos regulatorios como normas de contenido de material reciclado, esquemas de cargos y subsidios e impuestos a materias primas, pueden crear contradicción con las fuerzas del mercado. A la vez, se considera que es poco probable que esto lleve a beneficios ambientales tangibles.

## 9.2 ELEMENTOS A CONSIDERAR EN EL RECICLAJE

1. Selección: Se requiere otorgar facilidades a los habitantes para que se realice la separación domiciliaria, además establecer un programa de sensibilización y concientización dirigido a los habitantes.
2. Recolección: Se requiere una alta participación de los habitantes para realizar la recolección selectiva directamente en los hogares, también requiere inversión en los camiones especiales para su recolección en forma separada.
3. Centros de acopio locales: Pueden ser operados por los vecinos en forma asociada, los que recibirán un pago por los residuos seleccionados.
4. Procesamiento en centros regionales: Donde se seleccionan y preparan los materiales reciclables para su envío hacia donde serán comercializados.
5. Centros de comercialización regionales: Donde se vende y se entrega el material reciclable procesado.
6. Promoción del mercado: debe buscarse y establecer mercados estables a largo plazo para los productos reciclables, así como el acopio, además concentrar y difundir información en relación a residuos reciclables y al directorio de empresas recicladoras y de los consumidores de estos materiales.
7. Mercados industriales: Se requiere que las industrias y empresas de servicios participen en el uso de insumos provenientes de los residuos reciclables.

8. Consumidores: Los gobiernos en las tres instancias, deben poner el ejemplo en el consumo de estos materiales para alentar a otros consumidores a utilizar productos provenientes del reciclado.

En realidad el reciclaje puede considerarse como una industria con una gran variedad de negocios en los cuales, además de los pepenadores participan:

**Recolectores.-** Que identifican materiales aprovechables y los transportan de la fuente al local de los compradores

**Acopiadores-Acondicionadores.-** Compran materiales reciclables, aplican procesos simples como selección, densificación y flejado, para revenderlos a alguna empresa manufacturera.

**Corredores independientes.-** Compran o aceptan materiales reciclables y los venden a usuarios finales y organizan transferencia de los materiales.

**Recicladores.-** Generalmente empresas que someten el material recolectado a procesos de limpieza y acondicionamiento, para que sean utilizados como materia prima.

**Usuarios finales.-** Los que adquieren y procesan grandes cantidades de subproductos reciclados para sus operaciones de manufactura.

### 9.3 VOCACION DE LOS RESIDUOS

Para determinar el reciclaje de algunos productos es necesario conocer su **vocación**, conociendo sus características físico-químicas, lo que puede facilitar su reincorporación a los procesos productivos, el criterio para establecer la vocación genérica de los residuos señalados en el cuadro 9.3 se basó principalmente en los siguientes conceptos.

**Reciclo:** Reincorporación de los residuos como materia prima al mismo proceso que lo generó.

**Manufacturas Alternas:** Proceso de transformación, en el cual los residuos son empleados como materia prima de otro proceso diferente para el cual fue creado.

**Aprovechamiento de residuos alimenticios:** Involucra principalmente el proceso en el cual los residuos alimenticios se transforman por medio de la biodegradación en un producto parecido al humus. También pero en menor proporción, el residuo alimentario puede ser empleado en la producción de alimento para animales.

**Recuperación de energía:** Proceso de producción en el cual son incinerados los residuos sólidos, también al procesar composta en forma anaerobia para producir y aprovechar el biogás (metano), con la finalidad de que se recupere la energía que se libera durante el proceso y emplearla en otro proceso.

**Confinamiento:** El depósito permanente de los residuos sólidos en sitios específicos bajo condiciones sanitarias y controladas para evitar daños al ambiente y a los ecosistemas.

Por otra parte, se puede hacer una selección de los subproductos que demanden cada uno de los otros sistemas de tratamiento con la finalidad de obtener mejores resultados.

Cuadro 9.3 Vocación de los residuos

REUTILIZACIÓN Y RECICLO	REUSOS PARA MANUFACTURAS ALTERNAS	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ALIMENTARIOS Y SIMILARES	RECUPERACION DE ENERGIA	CONFINAMIENTO
· Cartón · Lata · Material ferroso · Papel · Papel periódico · Plástico de película · Plástico rígido · Vidrio de color · Vidrio transparente	· Loza y cerámica · Material de Construcción · Papel · Papel periódico · Plástico de Película · Neopreno (llantas) · Plástico rígido · Hule · Poliuretano · PVC · PET · Partículas y viruta (madera)	· Hueso · Residuos alimentarios · Residuo de jardinería	· Algodón · Cuero · Envases de cartón · Fibra dura vegetal · Fibra sintética · Gas · Madera · Papel sanitario · Panel desechable · Trapo · Cartón · Papel · Papel periódico	· Abatelenguas · Jeringas · Toallas sanitarias · Vendas · Otros

#### 9.4 MERCADOS PARA EL MATERIAL RECICLADO

Para un programa de reciclaje satisfactorio, es necesario la existencia de un mercado confiable y cercano para los materiales recuperados. Aunque la recuperación de ciertos componentes como fierro, latas de aluminio y botellas de plástico grandes puede ser rentable, no sucede lo mismo en la mayor parte de los otros programas de reciclaje, los cuales generalmente requieren subsidios o legislación por parte de los gobiernos. El costo neto de la recolección en las aceras y el procesamiento de materiales reciclables (tomando en cuenta los ingresos por materiales vendidos) se ha estimado entre \$110 y \$176 dólares por tonelada métrica, en comparación de un costo representativo de \$100 por tonelada para la recolección, acarreo y entierro de RSM.

En el cuadro 9.4 se presentan los requisitos que piden los compradores para el material recuperado de los RSM.

El desarrollo de mercados depende de la calidad de los materiales recuperados, la capacidad global de la industria y el costo de las materias primas en competencia. La contaminación del material o los cambios en su composición química debidos a los procesos de recuperación significan que algunos productos son de calidad inferior y por tanta de menor precio que los materiales vírgenes.

Cuadro 9.4 Requisitos en el mercado de subproductos

SUBPRODUCTOS	ESPECIFICACIONES DE COMPRA	PRESENTACIÓN
CARTON	· SECO · LIMPIO · SIN GRAPAS, GOMAS Y LAZOS	- PAQUETE FLEJADO
PAPEL	· SECO · LIMPIO · SIN GOMAS O GRAPAS · SEPARADO POR TIPO	- PAQUETE FLEJADO
PLASTICO	· LIMPIO · SIN MEZCLA DE OTROS RESIDUOS · SEPARADO POR TIPO PARA CIERTOS PROCESOS · MOLIDO · GRANULOMETRIA REQUERIDA	- PAQUETE FLEJADO - COSTAL
LATA	· LIMPIA · SIN MEZCLA DE OTROS RESIDUOS · COMPACTADA	- PAQUETE FLEJADO
VIDRIO	· LIMPIO · SIN ETIQUETAS · SEPARADO POR COLOR · SEPARADO POR TIPO PARA CIERTOS PROCESOS · MOLIDO · GRANULOMETRIA REQUERIDA	- A GRANEL

Además de mercados confiables, los programas de reciclaje requieren una infraestructura de recolección y procesamiento que permita la disponibilidad de un abasto confiable, seguro y consistente de material recuperado para los fabricantes y procesadores. Los productos que se recuperan de los RSM se pueden reutilizar como "recursos" solo cuando existe un mercado para ellos.

La situación que guarda el reciclaje en algunos de estos materiales recuperados se describe a continuación.

**Aluminio.** Debido al alto costo del mineral de aluminio importado (bauxita) y al desarrollo de una extensa infraestructura de recolección y procesamiento, el aluminio es la materia prima que se recicla con mayor éxito. En 1990, el 64% de todas las latas de aluminio para bebidas producidas en Estados Unidos (o 54, 000 millones de recipientes) se reciclaban.

**Papel y cartón.** Aunque el papel y el cartón combinados representan la categoría más grande de RSM (por lo común entre el 30 y 40% del total, en peso) en EUA, los esfuerzos por reciclar los diversos tipos de papel han tenido sólo un éxito limitado. Esto se ha atribuido a tres factores.

- 1.- La abundancia de fibra virgen de costo relativamente bajo
- 2.- Las grandes distancias entre muchos centros urbanos y las plantas procesadoras
- 3.- La capacidad limitada de las fábricas para destinar y reutilizar el papel de segunda mano.

El establecimiento del reciclaje de periódicos ha sido difícil: los precios del papel reciclado fluctúan drásticamente desde cero hasta alrededor de 330 dólares por tonelada en un solo año, el material es voluminoso y su manejo costoso y es necesario destinarlo antes de utilizarlo como materia prima para papel. Sin destinar, la reutilización del papel se limita a fieltro para techos, cartón y productos similares. En 1998, el 33% de los periódicos publicados en estados Unidos se reciclaban. El reciclado de otros productos de papel para los cuales existe un mercado continuo, como el cartón corrugado, ha tenido más éxito (45% del cartón producido en Estados Unidos en 1988 era reciclado).

**Vidrio.** El que se recupera generalmente está compuesto por vidrio de botella blanco, verde o ámbar, vajillas de cristal y vidrios en planchas.

Casi todo el vidrio reciclado se utiliza para producir nuevos recipientes, los que pueden incluir el 100% del vidrio usado o del vidrio triturado reciclado. Entre otros usos se emplea principalmente para : 1°.- hacer lana de fibra de vidrio, 2°.- aislamiento de fibra de vidrio, 3°.- para material de pavimentación (glassphalt) y 4°.- productos de construcción como azulejos de madera, terrazos y concreto ligero espumado.

Los fabricantes de recipientes de vidrio prefieren incluir vidrio triturado junto con materias primas (arena, ceniza de soda y cal), porque así se puede reducir la temperatura de los hornos de manera significativa, ya que el vidrio triturado reciclado, permite ahorros de energía para el fabricante (por cada 10% de aumento en la proporción de vidrio de desecho se consigue una reducción de 2% en el consumo de energía).

En Estados Unidos los recipientes nuevos de vidrio incluyen alrededor del 30% de vidrio de segunda mano, el cual se puede reciclar indefinidamente. La tasa promedio de reciclaje del vidrio en Europa en 1991 era de 46%, la cual deberá aumentar si tiene éxito los esfuerzos encaminados a estandarizar los recipientes de vidrio (para fomentar el uso de botellas retornables) y alentar la producción de más mercancías en vidrio coloreado (para aumentar la demanda de vidrio coloreado de desecho).

**Plásticos.** Su uso para envases se ha incrementado notablemente en los últimos 20 años, para el año 2000 se esperaba un incremento del 70%. El crecimiento en el uso de plásticos se ha producido principalmente para envases de productos de consumo, por haber sustituido en gran parte a los metales y al vidrio como material para recipientes y al papel como material de embalaje, ya que son

livianos y duraderos. Pueden fabricarse en diversas formas y pueden ser flexibles o rígidos, son buenos aislantes y aptos para ser usados como materias húmedas.

Constituyen un problema en los rellenos sanitarios debido a que no se descomponen fácilmente, por lo que se ha sugerido que en algunos envases debería continuar utilizándose productos de papel, vidrio u otro material biodegradable.

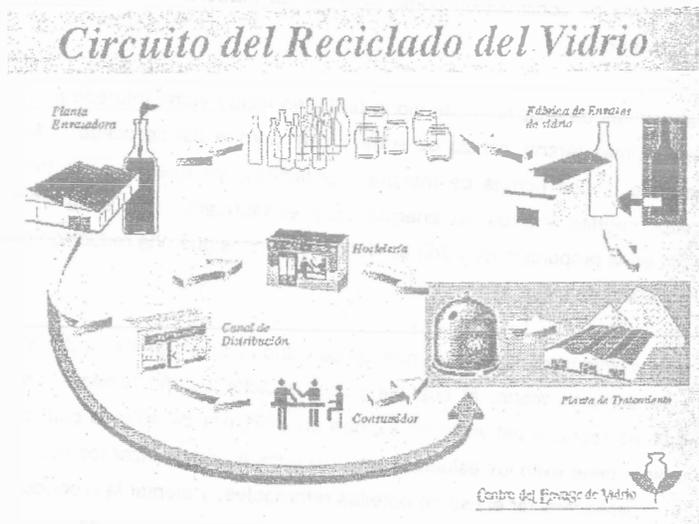


Figura 9.2 Circuito del reciclado del vidrio.

Las razones de la baja proporción de reciclaje son:

- El plástico de desecho tiene poco valor por que el material virgen es muy barato.
- No existe una infraestructura nacional para su recolección y procesamiento
- La baja densidad origina altos costos de manejo y transporte.

Según los tipos de plástico los fabricantes de envases codifican sus productos con numeración del 1 al 7. Figura 9.3.



Figura 9.3 Clasificación, código de identificación de plásticos comunes.

- 1.- PET (Politereftalato de etileno).- Se utiliza en las botellas de refresco. En reciclado se ha usado molido y mezclado con cemento para rellenar "contenedores" arrojados al mar para ganarle terreno. En algunos países no se permite enterrarlos en los rellenos si no están molidos.

Su clasificación al igual que PE-HD y el PE-LD es basada en el proceso para el que son aptos:

- a).- Extrusión: para obtener empaques para leche, bolsas de restaurantes, etc.
- b).- Soplado: Fabricación de botellas, bidones y todo tipo de envases.
- c).- Inyección: Fabricación de baldes y toda clase de piezas fabricadas en inyectores.

El PET se encuentra entre los plásticos que más se recuperan a partir de los residuos sólidos municipales para su reciclado y reutilización como fibra de relleno, cintas de embalaje, bases de alfombra, geotextiles y otros productos. Este plástico en particular ha seguido la tendencia mundial de optimizar el envase con utilización de menor cantidad para cumplir su función, ayudando a demás a ahorrar energía.

- 2.- PE-LD (Polietileno de alta densidad). Se utiliza como envase de leche. Para conservar la calidad cuando se produce PE-HD recuperado, los procesadores no mezclan diferentes tipos de resinas, pero si es tolerable la mezcla de una misma resina, pero si es tolerable la mezcla de una misma resina con diferentes índices de fundición.

- 3.- PVC (Policloruro de vinilo). Se utilizan para empaquetar comida, aislamiento de cables y alambres y para tuberías de plástico. A partir del PVC reciclado se elaboran recipientes, cortinas, canastos para plantas y juguetes
- 4.- PE-LD (Poliétileno de baja densidad). Se utilizan para empaques de comida, bolsas de basura, pañuelos desechables. Para su proceso las bolsas se seleccionan manualmente, se procesan mediante granulación, lavado y peletización. Otros usos son los protectores de plástico utilizados en camiones donde las cuerdas tocan el cargamento y productos de plástico mezclados (PE-HD, PE-LD y PP)
- 5.- PP (Polipropileno). Se utiliza para cajas de acumuladores, tapas de recipientes, etiquetas de botellas y bidones y para envases de comida. Los procesados son productos como tabla de plástico, muebles de jardín, pilotes, postes y vallas.
- 6.- PS (Poliestireno). El uso más común del PS espumado son los envases de comida en forma de concha de almeja, platos, bandejas para carne, tasas y material rígido de embalaje. Otros artículos comunes (alto impacto) son: cubiertos para comida, vasos transparentes para beber, recipientes coloreados para yogur y queso blando, producidos mediante moldeo de extrusión e inyección. El PS reciclado se utiliza para fabricar tabla de espuma, aislante de cimentación, accesorios de oficina, recipientes de basura y juguetes, entre otros.
- 7.- OTRO. (Plásticos mezclados y multilaminados). Se utilizan para postes de "cercas", sillas y bancos. Se utilizan resinas y recipientes multilaminados menos comunes para envasar productos y comidas que tienen requisitos especiales (v. g., Ketchup y mayonesa).

Aunque los plásticos representan sólo alrededor del 10% en peso de los residuos sólidos recolectados, constituyen más o menos el 25% en términos de volumen y se espera que su uso aumente. A medida que se disponga de menos espacio para rellenos y los costos de eliminación aumenten, la presión para mejorar el reciclaje del plástico se incrementará.

**Metales ferrosos.** Los envases de lata, que constituyen la categoría principal de metal ferroso reciclado se deben separar de los metales no ferrosos, compactar y desestañar antes de reutilizarse. Los altos costos del transporte de las latas a una planta desestañadora, combinado con un mercado inestable de acero de desecho, suele hacer anti-económico el reciclado de envases de lata. No obstante, los aparatos, automóviles y otros productos de metales ferrosos que se desechan comúnmente se reciclan después de hacer la separación de los productos peligrosos de los útiles.

**Huesos.** Se clasifican en **secos** y **verdes**. Secos son los que están exentos de restos no óseos en forma natural a través del tiempo sin que intervenga un proceso industrial, casi en su totalidad provienen de esqueletos de animales muertos que permanecen en el campo a cielo abierto. Se muelen en molinos de martillos, su principal uso es como Gel en la fabricación de película fotográfica; el principal importador es Alemania.

Los huesos verdes son los que presentan adherencias no óseas como los que provienen de carnicerías restaurantes o del consumo domiciliario, se tienen dos procesos: 1º.- puede introducirse en agua hirviendo y se obtiene grasa animal como un subproducto, utilizada principalmente en la fabricación de jabón y como alimento de animales, el hueso obtenido se calcina y se utiliza para alimento de animales, 2º.- El hueso tal como se encuentra se introduce en hornos similares a los utilizados en las fabricas de ladrillos, este proceso es más rápido que la degradación natural pero requiere mucho cuidado, ya que si el horno no funciona bien no es apto para preparar el Gel para películas.

#### 9.5 VENTAJAS DEL RECICLADO

El principal objetivo de la implementación de cualquier sistema de reciclaje, es la conservación de los recursos naturales y la reincorporación de los materiales a los procesos naturales y productivos, además de prolongar la vida del relleno

sanitario, de ahí la importancia de mencionar los siguientes indicadores que nos muestran con claridad la importancia de reciclar.

- Una tonelada de papel, hecha enteramente de papel reciclado, ahorra 17 árboles y la suficiente energía para una casa durante 6 meses
- Un galón de aceite puede producir 2.5 cuartos de aceite de lubricación con una tasa del 63% de recuperación.
- La misma energía requerida para producir una lata de material crudo, serviría para producir 20 latas usando aluminio reciclado, además al reciclar el aluminio, se reduce en un 95% la producción de contaminantes.
- Más de 60% del vidrio que se produce se usa como envase, si se incrementara el uso de envases retornables se podría llegar a reducir de un 40% a un 50% los residuos que se disponen en rellenos sanitarios.
- Las fábricas de vidrio pueden realizar un ahorro de energía de arriba del 25% usando vidrio reciclado.
- La industria del aluminio estima que el 95% de ahorro de energía, se alcanza a conservar a través del reciclado, obteniéndose aproximadamente un ahorro de 7.5 kilowatts-hora de electricidad por cada libra de material reciclado. En 1981, esto resultó en un ahorro total de aceite crudo para los E.U., de casi 19 millones de barriles de aceite. La energía ahorrada en las latas de aluminio recicladas durante este año, fue equivalente a la energía anual necesaria para la ciudad de Boston.

Además de la energía ahorrada, se estima que 272 billones de latas de aluminio recuperadas durante los 80's ahorraron 2 billones de pies cúbicos en rellenos sanitarios.

Cuadro 9.5 Posibilidad de reciclaje de algunos desperdicios

Desperdicio	Posibilidades de reciclaje
Papel	<p>Escribir en el reverso del papel</p> <p>Prestar revistas y periódicos a los amigos</p> <p>Reducir a pulpa para recuperar la fibra</p> <p>Reducir a abono</p> <p>Pirolizar</p> <p>Incinerar para obtener calor</p>
Vidrio	<p>Comprar bebidas en botellas retornables y devolverlas</p> <p>Usar otras botellas para depósito de almacenamiento en casa</p> <p>Desmenuzar y volver a fundir para la manufactura de vidrio</p> <p>Desmenuzar y utilizar como agregado para material de construcción o como aditivo antiderrapante en la superficie de los caminos.</p>
Neumáticos	<p>Vulcanizar cubiertas utilizables</p> <p>Utilizar para topes de puertas, guardagolpes y topes de barco, etc.</p> <p>Desmenuzar y revulcanizar</p> <p>Pirolizar</p> <p>Desmenuzar y utilizar como aditivo en la construcción de pavimento de calles</p>
Estiércol	<p>Preparar abono o esparcirlo directamente por el campo</p> <p>Fermentar para obtener metano, utilizando el residuo como abono</p> <p>Convertir en aceite mediante tratamiento químico</p> <p>Tratar químicamente y volver a utilizar como alimento para animales</p>
Desperdicios De alimento	<p>Guardar sobrantes para alimentos</p> <p>Esterilizar y utilizar como alimento para cerdos</p> <p>Preparar abono</p> <p>Utilizar como cultivo de levaduras para la producción de alimento</p> <p>Pirolizar</p>
Desperdicios De matadero y De carnicería	<p>Esterilizar y utilizar como alimento para animales</p> <p>Derretir</p> <p>Preparar abono</p> <p>Pirolizar</p>

- Los beneficios del uso de chatarra de carro y de fierro en vez de materia virgen para hacer acero nuevo son:
  - 74% Ahorro de energía
  - 90% Ahorro en uso de materiales de energía
  - 86% Reducción de contaminación del aire
  - 40% Reducción de uso de agua
  - 76% Reducción de contaminación de agua

## 97% Reducción de residuos

- Se estima que el ahorro de energía que se alcanza para manufacturas con productos de chatarra no ferrosa es la siguiente:

Aluminio	95%
Cobre	85%
Plomo	65%
Zinc	60%

## Ejemplos de ahorro y protección ambiental

## PAPEL

Para producir 1 tonelada de papel, se requiere **consumir** las siguientes cantidades de materias primas y energía:

· 1 845.10 Kg.	Madera
· 108.06 Kg.	Cal (CaO)
· 180.11 Kg.	Sulfato de sodio
· 38.02 Kg.	Carbonato de sodio anhidro
· Variable	Aditivos, como amidón, resinas, alumbre, dióxido de titanio bentonita, cera, talco, etc.
· 100 114.761 Lts.	Agua
· 30.05 Mill. de BTU	de energía

Se requiere también dar tratamiento o eliminar lo siguiente:

· 42.02 Kg.	De contaminantes del aire
· 18.01 Kg.	De contaminantes del agua
· 88.05 Kg.	De desechos sólidos

La cantidad de recursos que **se ahorran** al reciclar una tonelada de papel son los siguientes:

- Dejar de talar aproximadamente 17 árboles medianos
- Ahorrar aproximadamente 1.5 a 2 metros cúbicos de espacio en un relleno sanitario (equivalente a una caja de 2 m. de largo por 1 m. de ancho y 1 m. de alto).

## ALUMINIO

Para producir 1 tonelada de aluminio, se requieren las siguientes cantidades de materias primas y energía:

· 4 385.65 Kg.	Bauxita (óxido de aluminio hidratado).
· 510.31 Kg.	Coque (carbón de piedra o butiminoso coquizado).
· 483.29 Kg.	Carbonato de sodio anhidro.
· 163.60 Kg.	Alquitrán
· 119.07 Kg.	Cal
· variable	Metales de aleación según se use como bote rígido o como lámina o "papel de aluminio" (de 15 a 5% de manganeso, trazas de hierro, silicio, zinc, cromo, cobre y/o titanio).
· 217.11 millones de BTU	De energía

Se requieren también dar tratamiento o eliminar lo siguiente:

· 1 646.00 Kg.	Lodos rojos
· 1 450.86 Kg.	Dióxido de carbono
· 40.52 Kg.	Contaminantes del aire
· 394.74 Kg.	Desechos sólidos

Reciclar aluminio conduce a los siguientes ahorros:

- 95 % Del consumo de agua.
- 95 % Del consumo de energía.
- 95 % De contaminantes atmosféricos.

#### VIDRIO

Para producir 1 tonelada de vidrio, se requieren las siguientes cantidades de materias primas y energía:

- 665.40 Kg. Arena sílica (óxido de silicio)
- 216.63 Kg. Carbonato de sodio anhidro.
- 216.63 Kg. Piedra caliza (carbonato de calcio).
- 75.75 Kg. Feldespato
- 16.75 Millones de De energía  
BTU

Se requiere también de tratamiento o eliminar lo siguiente:

- 192.12 Kg. Residuos de minería.
- 4.01 Kg. Contaminantes del aire.

Al utilizar una mezcla de 50% de vidrio reciclable y 50% de materias primas vírgenes, se consiguen los siguientes ahorros:

- 50 % Del consumo de agua.
- 79 % De los residuos mineros.
- 14 % De los contaminantes del aire.

### 9.6 PROBLEMAS DE LA COMERCIALIZACIÓN

**Ciclos de mercado:** Los mercados de todos los materiales secundarios son cíclicos, aunque para algunos en mayor grado que para otros y los precios también fluctúan, siendo más grandes las diferencias de precios en el nivel de producción, que en el nivel de comprar por el usuario final del subproducto.

**Demanda:** La economía del mercado de los materiales secundarios depende directamente de los montos totales recuperados, de las tasas de recuperación de cada tipo de material y del abastecimiento potencial de materiales reciclables, provenientes de las actividades industriales y de los residuos sólidos municipales. Como el mercado de muchos de los materiales reciclados depende de la demanda, una mayor recuperación de los mismos no necesariamente dará lugar a un mayor aprovechamiento si no hay quien los compre.

**Economía industrial:** Los aspectos económicos de la industria de los materiales secundarios son los mismos que para cualquier otra actividad industrial. Por tanto, los subproductos obtenidos del reciclado de residuos, pueden no venderse, constituir una carga financiera para quienes los generan y terminar almacenados hasta que se recupere el mercado o ir a parar a los rellenos sanitarios.

**Imposibilidad de reciclar algunos residuos:** Algunos factores involucrados en la manufactura y consumo de productos y envases, han hecho que algunos de ellos se estén volviendo más eficientes en cuanto al uso de materias primas, en detrimento a su potencial de ser reciclados.

**Competencia con productos vírgenes:** La mayoría de los subproductos del reciclado de residuos compete con un mercado bien establecido de materiales nuevos o vírgenes.

**Temor de cambiar procesos si se emplean materiales reciclados:** A menudo las empresas manufactureras no desean adquirir materiales reciclados por temor a que su utilización implique ajustes a sus procesos, cambios en la calidad de sus productos o incremento de los costos por su recolección, acopio y transporte.

**Desconfianza de los consumidores:** Los industriales frecuentemente citan la resistencia de los consumidores a adquirir productos con contenido de materiales reciclados por desconfianza acerca de su calidad, por lo que estos subproductos sufren la misma discriminación que los "productos genéricos" que por tener menor precio se sospecha tenga menor calidad.

**Diferencia de precios:** En muchos casos, los materiales nuevos pueden resultar más baratos que los reciclados.

#### 9.7 RECICLAJE DE PLÁSTICO, CASO GUADALAJARA\*

Uno de los desperdicios más comunes en la basura son los envases y bolsas de plástico, una de las empresas que se dedica al reciclaje de envases y bolsas de este material es Recicladora de Plástico S.A. de C.V. (Rempla), en Guadalajara, Jalisco.

El Supervisor de Producción de Rempla, Gabriel Lara Rodríguez explicó que lo que más se maneja es el reciclado de galones de leche, tapones de galones, bolsas de plástico, además de realizar compactado de envases de plástico para refrescos.

Respecto a su material principal, los galones de leche, Gabriel Lara Rodríguez explicó que en primera estancia éstos tienen que estar libres de cualquier residuo sólido, después pasan a una moladora. Ya molida la materia es lavada y por último, peletizada; así está lista para salir a su venta en el mercado y emplearse para fabricar cubetas, sillas, manubrios, entre otros productos.

El plástico con que es fabricado el envase de galón es polietileno de baja densidad, mientras que el tapón está fabricado con plástico de alta densidad. El plástico de baja densidad solamente es triturado y lavado, con él se puede fabricar sobre todo cuerdas, mientras que el plástico de alta densidad sigue un proceso para su peletizado. Todo se realiza mediante una maquinaria italiana de la marca "Pagani". Una vez que el material es triturado se pasa por bandas reductoras hacia un horno para aplicar calor a una temperatura que oscila entre los 150°C y 200°C, con el fin de hacer más manejable el material; éste sale por un cabezal y unas mallas separan los restos de papel que pudieran tener, después entra a una tina de flotación (un rodillo ayuda a su transporte), se corta a travez de unas navajas y el material queda peletizado.

Según consideraciones del Supervisor de Producción de Rempla, es mejor consumir material reciclado que material "virgen", aunque el kilo de material peletizado reciclado se encuentra cerca de los \$6.50 pesos más IVA, mientras que el kilo de peletizado "virgen" se vende en un orden de \$5.50 pesos más IVA y la razón es que de esta manera se colabora en la conservación del medio ambiente aprovechando los materiales que son desperdicio para otras personas.

\* Tomado de la revista "Industria Ambiental", Vol 1, N° 2 Abril/Mayo del 2000.

## INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

### CAPÍTULO 10 TRATAMIENTO

#### 10.1 EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN LA AGENDA XXI

#### 10.2 MÉTODOS DE TRATAMIENTO

#### 10.3 EL TRATAMIENTO EN MÉXICO

#### 10.4 INCINERACIÓN

#### 10.5 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

#### 10.1 TRATAMIENTO EN LA AGENDA XXI

La Agenda 21, generada en Río de Janeiro, en 1992, justifica esta acción mencionando que aún cuando se minimicen y se reciclen los residuos siempre quedarán desechos que tienen un impacto residual en el ambiente receptor. Se dice que a nivel mundial, en los países en desarrollo menos del 10% de los residuos reciben algún tipo de tratamiento y sólo una pequeña proporción del tratamiento cumple estándares aceptables de calidad.

El objetivo principal es tratar y disponer con seguridad una proporción cada vez mayor de residuos, mientras que los gobiernos, según su capacidad y recursos disponibles deben tratar de fijarse metas y para lograrlas, deben participar gobierno, instituciones y ONG, junto con la industria y para ello deben:

- Desarrollar y fortalecer la capacidad nacional para tratar y disponer con seguridad los residuos.
- Revisar y reformar las políticas nacionales
- Buscar la solución al tratamiento y disposición de residuos dentro de sus territorios y lo más cercano posible al punto de origen. Si fuera necesario, los movimientos transfronterizos se realizarán de acuerdo a las convenciones y convenios internacionales pertinentes.

La mayoría de los países industrializados ha establecido criterios y estándares de calidad para el tratamiento y disposición de residuos, principalmente en el área de compostaje, incineración y relleno. La Unión Europea también tiene criterios para estos fines. En América Latina y el Caribe la reglamentación relacionada con la disposición está en diferentes etapas de implementación, En México ya existen Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para la localización y la construcción de rellenos sanitarios.

En el presente capítulo se mencionan 9 tipos de tratamiento, presentándose con mas detalle los más comunes como son la incineración y el tratamiento biológico.

#### 10.2 MÉTODOS DE TRATAMIENTO

Muchos desperdicios municipales, industriales y agrícolas no pueden volver a usarse ni a repararse y por consiguiente han de ser reducidos ya sea a materias primas aptas para elaborar un nuevo artículo o reducidos y preparados para su disposición final. Se dispone de diversas técnicas de tratamiento, aunque muchos de ellos no se utilizan comúnmente debido a que requieren alta tecnología y tienen altos costos, los que en seguida se mencionan, son los que se encuentran citados en diversas bibliografías.

### a) Fundición

Muchos materiales, como los metales, vidrios y algunos plásticos, pueden fundirse, purificarse y volverse a vaciar o a modelarse.

### b) Revulcanización

El caucho (hule) es un material plástico que no puede en absoluto calentarse ni remodelarse. El caucho bruto es viscoso y amorfo, y ha de hacerse reaccionar con azufre para ligar entre sí a las moléculas de caucho en forma cohesiva. Los artículos de caucho gastados pueden desmenuzarse, someterse a desintegración química y volverse a unir en un proceso llamado **revulcanización**. El caucho reciclado que se manufactura en esta forma carece de la resistencia y la elasticidad (a diferencia de la materia virgen), por consiguiente, para determinadas aplicaciones sólo sirve si es mezclado con fibras más duraderas.

### c) Reducción a pulpa y conversión en papel

Todo material que contenga fibra de celulosa natural (madera, trapos, papel, tallos de caña de azúcar y juncos de pantano) puede machacarse, reducirse a pulpa y convertirse en fibra útil. La tecnología que se tiene a base del reciclaje del papel es tan antigua como la misma fabricación del papel. El paso inicial consiste en la recuperación de fibra para mezclar tres partes de papel de desecho con 97 partes de agua en una máquina de reducción hidráulica. El material de desecho es agitado y batido con un dispositivo similar a un batidor de huevos, hasta que se forma una suspensión. Si se reduce a pulpa el papel procedente de fuentes municipales, a la mezcla de pulpa se añaden sustancias químicas que eliminan la tinta. Una vez hecho esto, la suspensión se tamiza para eliminar los objetos grandes que pudieran haber contaminado la masa original y luego se hace rodar a través de exprimidores para quitar el agua y la tinta disuelta.

Las pequeñas impurezas se eliminan en un separador centrífugo y las fibras se convierten en papel mediante los procedimientos normales.

A medida que el agotamiento de las tierras de bosque se agrave, las fibras procedentes de desperdicios agrícolas se irán haciendo más atractivas. Cuando se extrae azúcar de la caña, los tallos fibrosos restantes, o **bagazo**, se prestan a la producción de papel. El bagazo proporciona actualmente 60 millones de toneladas métricas anuales de desechos sólidos y podría convertirse fácilmente en un recurso valioso.

### d) Conversión en abono

Es la biodegradación acelerada y controlada de materia orgánica húmeda que se transforma en un producto parecido al mantillo (humus) susceptible de ser utilizado como fertilizante o acondicionador del suelo. Este proceso constituye un método práctico de reciclar los desechos orgánicos. Casi toda materia vegetal o animal (residuos de alimentos, periódicos viejos, paja, aserrín, hojas o recortes de hierba) constituye una base

excelente para la conversión en abono. Con objeto de aumentar la superficie para la descomposición que llevarán a cabo las bacterias, dichos materiales se desmenuzan y se comprimen moderadamente. Los organismos esenciales para esta conversión necesitan no sólo humedad, celulosa y almidón, sino también nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos. Así pues, la paja, los periódicos y el aserrín, que constan principalmente de compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, no se convierten bien en abono, sino que han de mezclarse con sustancias químicas complementarias. El estiércol es una fuente excelente de nutrientes para el abono, pero algunos materiales tan distintos como las cáscaras de piñones o la sangre seca pueden reemplazarlo perfectamente.

La más sencilla de estas operaciones la llaman los campesinos **montones de abono**, y los productores industriales de abono, **hileras de materia orgánica**. En las operaciones industriales, los desechos son desmenuzados, eliminándose en ocasiones la materia inorgánica, se añade a continuación lodo de aguas negras hasta obtener una composición química apropiada y finalmente, los sólidos se mezclan y amontonan en largas hileras. Al acelerarse la descomposición dentro de las hileras, se produce calor. En un sistema bien regulado, la temperatura puede alcanzar 66° C, suficiente para matar las bacterias patógenas. Dichas hileras se revuelven periódicamente a máquina durante un lapso de seis a siete semanas. El producto final convertido en abono se seca y se vende. Por su importancia en el aprovechamiento de desechos en el subcapítulo 8.3 se analiza este tratamiento en forma más amplia.

### e) Derretimiento

El derretimiento consiste en cocer desechos animales, tales como grasa, huesos, plumas y sangre, para obtener un producto graso llamado sebo, que es una materia prima del jabón, además de un producto no graso, que tiene un alto contenido de proteínas y puede ser un ingrediente del alimento para animales. La materia prima para una planta de derretimiento comprende desechos de gran diversidad de procedencias: granjas, mataderos, carnicerías, plantas de elaboración de pescado, plantas de productos avícolas y enlatadoras. Si no hubiese plantas de derretimiento, todos estos desechos impondrían una pesada carga a las plantas de tratamiento de aguas negras; añadirían además contaminantes a los ríos y en los lagos alimentarían a organismos patógenos. En la planta de derretimiento, los materiales de desechos son esterilizados y convertidos en productos útiles, tales como sebo y alimento para pollos. Sólo hay el problema: de que el proceso de cocción produce olores, estos pueden controlarse por métodos tales como la incineración, aunque estos métodos están sujetos a interrupciones ocasionales; por ejemplo, las que ocasiona una avería en el suministro de corriente.

Antaño el tratamiento de material de desperdicio pasaba por ser un "oficio repulsivo", que se caracterizaba por despedir olores hediondos. Generalmente esta industria se relacionaba con la descomposición de la materia animal; por ese se centraba en los animales muertos, en los productos obtenidos de ellos (gomas, fertilizantes, pieles), en la eliminación de los desperdicios humanos y los cadáveres. Hoy podemos clasificar a todas las fábricas de jabón, pegamentos, curtidurías, etc. como operaciones de reciclaje.

### f) Fermentación

Las levaduras pueden cultivarse en una mezcla de azúcares derivados de desperdicios agrícolas, en esta forma, materiales como la paja, el aserrín, la poda del vergel, la lactosa de maíz e incluso la basura hidrolizada pueden convertirse en alimentos, además, es posible obtener metano a partir de la conversión anaerobia en abono o del cultivo de levaduras.

### g) Destilación destructiva (pirólisis)

Es un proceso endotérmico que involucra la descomposición/volatización de materia orgánica en combustibles gaseosos o líquidos y un sólido carbonizado, en ausencia de oxígeno.

La destilación destructiva, o pirólisis es el proceso mediante el cual un material es descompuesto por calentamiento en ausencia de aire, a unos 1650° C. Si una sustancia como el caucho o el material plástico, integrada por moléculas orgánicas es pirólizada, las moléculas se fragmentan y vuelven a reaccionar y a fragmentarse muchas veces hasta que alcanzan un equilibrio, esta mezcla en equilibrio contiene gran diversidad de compuestos químicos útiles. En la figura 10.1 se muestran productos de pirólisis de desechos municipales. Esta técnica parece ser particularmente ventajosa: el equipo de pirólisis consiste fundamentalmente en un sistema cerrado, de modo que no descarga contaminantes en la atmósfera.

### h) Gasificación

Es una modificación de la pirólisis, en el cual se introduce una cantidad limitada de oxígeno, que puede ser oxígeno puro o aire, la oxidación resultante produce suficiente calor para hacer autosuficiente al sistema. La reacción puede ser exo o endo\_ térmica, dependiendo de la cantidad de calor y de oxígeno que se agregue.

La gasificación al igual que la pirólisis es un proceso ambientalmente excelente.

### i) Incineración

Proceso de oxidación, exotérmico que involucra la descomposición de la materia constituida a base de carbono, convirtiéndola en gases y cenizas en presencia de oxígeno.

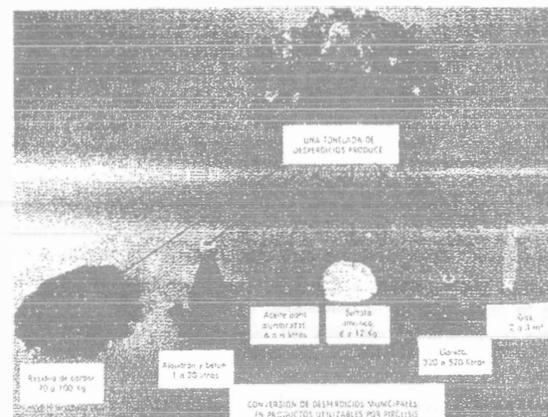


FIGURA 10.1 Destilación destructiva; las fracciones orgánicas de los desperdicios municipales pueden pirolizarse con métodos térmicos para producir varios productos secundarios.

## 10.3 EL TRATAMIENTO EN MÉXICO

Los procesos de tratamiento por incineración, aprovechamiento de subproductos y producción de composta en México no ha tenido el resultado esperado. Por tal motivo la mayoría de ellos han cesado sus operaciones por falta de mercado, altos costos de operación y mala calidad del producto terminado.

En cuanto al tratamiento de los RSM, la primera planta de composta que se construyó y puso en operación fue en la Ciudad de Toluca, la cual fue cerrada en 1969. Posteriormente se construyó y puso en operación una planta de reciclaje-composta en la Ciudad de Guadalajara, en 1972, con capacidad instalada de 500 ton por día, actualmente cerrada y trasladada en los principios de los 90's, a la zona conocida como "Los Laureles" en el Municipio de Guadalajara. Se construyó una igual en la Ciudad de Monterrey en 1973, con capacidad instalada de 500 ton por día, actualmente cerrada. Posteriormente se instaló otra en el Distrito Federal en 1974 con una capacidad de 750 ton por día. Esta planta a principios de los 90's se acondicionó para destinarse solo a la selección y aprovechamiento de subproductos.

En el Distrito Federal se construyó una planta de incineración, para los RSM, que después se quiso transformar para el tratamiento de los residuos peligrosos biológicos infecciosos

(RPBI) y en la actualidad está cerrada.

El tratamiento informal de separación de subproductos se lleva a cabo prácticamente en todos los sitios de disposición final de los RSM, en estos lugares grupos organizados o no organizados de pepenadores realizan la selección de aquellos subproductos que tienen una demanda en el mercado, sus condiciones de trabajo están muy por debajo de cualquier estándar laboral, no cuentan por lo general con ningún tipo de prestación social y las condiciones de trabajo son generalmente insalubres.

El cuadro 10.1 muestra las tendencias de los diferentes procesos de tratamiento y disposición final en algunos países desarrollados y México.

Cuadro 10.1 Tendencias mundiales de diferentes tratamientos  
(cifras expresadas en porcentaje)

País	Relleno sanitario	Incineración	Composteo	Reciclaje
E.U.A.	73	14	1	12
Japón	27	25	2	46
Alemania	52	30	3	15
Francia	48	40	10	2
Suecia	40	52	5	3
México	94	--	--	6 al 10

Fuente: Sancho y Carvera J, Rosiles G; Situación Actual de México Integral de los Residuos Sólidos en México. Sedesol, 1999.

#### 10.4 INCINERACIÓN

Debido a la falta de terrenos para otro tipo de tratamiento, su alto costo o por la cada vez más exigente legislación para la preservación del ambiente, muchos países desarrollados han adoptado la incineración de sus RSM como método de tratamiento, proceso que junto con el de compostaje pueden llegar a ser parcialmente competitivos aún cuando utilicen una tecnología avanzada.

Este proceso trata de aprovechar la basura o sus características, lo que dio origen a proyectos de incineración con aprovechamiento de energía como combustible auxiliar, por otro lado este proceso reduce el volumen de los residuos en tal forma que se simplifica su disposición final, extendiendo así la vida útil de los rellenos sanitarios. Actualmente este proceso no se justifica en México ni es autorizado, salvo algunas excepciones, por el alto costo que representa no solo la incineración, sino también el control de los gases que se emiten en el proceso, entre ellos las dioxinas y furanos; este proceso actualmente se circunscribe a pequeños incineradores para residuos especiales, principalmente en los hospitales, puertos, aeropuertos y en la industria, sin embargo no hay que descartarlo como una solución adecuada a pesar del costo, en lugares o en países que no tengan otra opción para la disposición de sus RSM.

Se han desarrollado dos procedimientos de incineración:  
1° simple y 2° Con recuperación de energía

**Incineración simple.** Este procedimiento es el primero que se utilizó y se planteó como un simple método de eliminación de basuras, por lo menos en la mayor parte de su volumen, ya que un resto (cenizas, escorias y materiales inertes) siempre queda y se necesita un relleno donde depositarlo.

Con respecto a la incineración de los residuos sólidos urbanos hay que señalar, en primer lugar, que son sustancias de combustión difícil, recordando que el objeto de la combustión es la conversión de los distintos componentes (papel, cartón, plásticos, fracción orgánica, madera, textiles, etc.) en gases y en residuos inertes, cenizas y escorias, con el objetivo principal de reducir el volumen. Los productos principales de una combustión son el CO<sub>2</sub> anhídrido carbonico a gua, SO<sub>2</sub>, anhídrido sulfuroso y NO<sub>x</sub>, óxidos de nitrógeno.

Los cuatro factores que determinan o condicionan la adopción del sistema de incineración para la eliminación de los residuos son:

- Volumen de residuos a incinerar
- Toneladas día, que determinan la capacidad de la planta
- Poder calorífico interior de las basuras
- Gastos de inversión
- Gastos de explotación

**Incineración con recuperación de energía.** Los residuos sólidos tienen un gran potencial de recuperación de materias primas, pero también son una fuente de energía, pero en el caso de los residuos latinoamericanos, el principal inconveniente es su bajo poder calorífico, que oscila alrededor de las 1,000 Kcal/Kg en los núcleos urbanos, éste es un parámetro básico que tiende a aumentar debido al incremento de papel, cartón y plásticos que se vienen produciendo en las basuras.

Este valor del Poder Calorífico inferior de las basuras es el factor clave para decidir si se adopta o no este sistema de incineración y es necesario conocerlo bien antes de decidirse construir este tipo de plantas, ello es válido tanto si la incineración es con recuperación de energía o sin ella, puesto que no hay que olvidar que para conseguir la combustión de los desperdicios es conveniente que sea autosostenida sin necesidad de inyectarle combustible adicional.

La recuperación o aprovechamiento de energía contenida en los residuos sólidos se puede lograr a través de los siguientes procedimientos:

- Incineradores de basuras, cuyo calor es aprovechado para calentar agua que después se distribuye a los usuarios como agua caliente o calefacción; para producir vapor de agua de baja presión que se distribuye como tal para producir vapor de agua de alta presión que se lleva a un turbo alternador para producir

- energía eléctrica.
- Incorporación de desperdicios acondicionado en calderas, como combustible complementario.
- Empleo de turbinas de gas movidas por gases de combustión de la incineración de los residuos sólidos.
- Obtención de combustibles por pirolisis.
- Hidrogeneración
- Obtención de metano por vía anaerobia

En los países desarrollados, las experiencias mas numerosas se han realizado con plantas incineradoras acopladas a un generador de energía eléctrica.

Es difícil establecer la decisión entre una planta con y sin aprovechamiento de energía, ya que depende del precio de venta de la energía eléctrica y del poder calorífico de las basuras. Sin embargo, una capacidad razonable para el poder calorífico de las basuras y el precio de la energía eléctrica en el país en el que se tome esta determinación, podría ser una planta de 500 toneladas día de desperdicios incinerados.

Los incineradores municipales más recientes por lo común son del tipo de combustión continua y tienen una construcción de "pantalla de agua" en la cámara de combustión, en lugar del típico y antiguo recubrimiento refractario. La pantalla de agua se compone de tubos de caldera verticales que están unidos y contienen agua. Los tubos absorben el calor para suministrar agua caliente destinada a formar vapor, y además controlan la temperatura del horno. Con las unidades de pantalla de agua se elimina el costoso mantenimiento del material refractario, se reducen las necesidades de control para la contaminación (a causa de la reducción en los volúmenes de agua y de gases que requieren tratamiento) y la recuperación de calor es más sencilla.

En la figura 10.2 se muestran los componentes de un incinerador de pantalla de agua. La recuperación de energía de la combustión de RSM se consigue ya sea en cámaras de combustión de pantalla de agua como se han descrito, o en calderas de calor residual. En el segundo caso, los gases de combustión calientes se conducen fuera de la cámara de combustión y al interior de la caldera, la cual tiene por lo general tres componentes. Los gases de combustión entran primero en el recalentador, el cual agrega calor al vapor de agua que se produce en la sección del evaporador. Después del evaporador, los gases pasan por un economizador, el cual calienta el agua de alimentación al mismo tiempo que enfría los gases de combustión. Las calderas de calor residual suelen utilizarse en incineradores de lecho fluidizado y en unidades de combustión modulares.

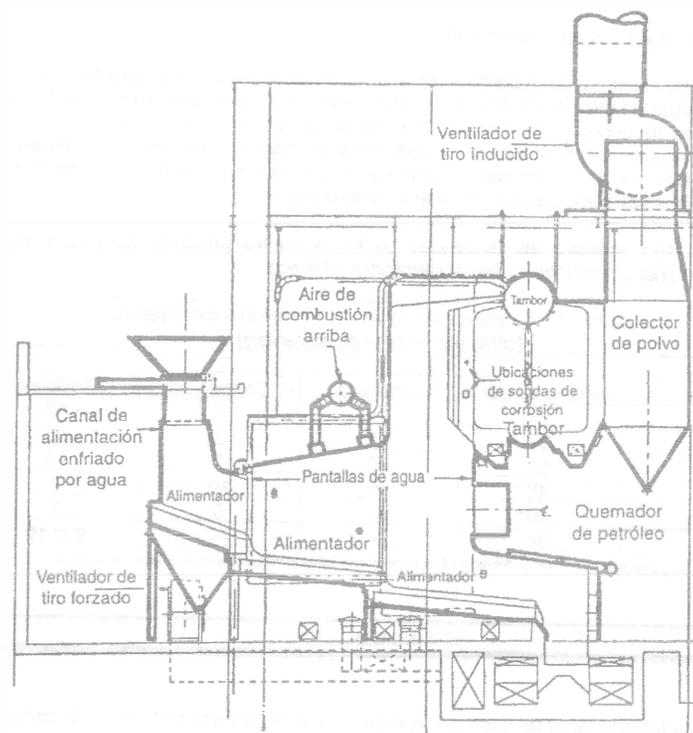


FIGURA 10.2 Corte transversal de un incinerador de pantalla de agua. Fuente: P.E. Miller, U.S. EPA Report SW-72-3-3. 1972, citado por Sarofim (1977, p. 174)

La temperatura de combustión en los incineradores alimentados sólo con residuos es alrededor de 760°C (1,400°F) en el horno propiamente dicho (insuficiente para quemar o incluso fundir el vidrio) y de más de 870°C (1,600°F) en la cámara de combustión secundaria. Estas temperaturas son necesarias para evitar el olor que desprende una combustión incompleta.

Los residuos que se queman sólo para reducir su volumen (es decir, sin recuperación de energía) no necesitan un combustible auxiliar, excepto para el arranque de la combustión. Por otra parte, cuando el objetivo es la producción de vapor de agua, es necesario incorporar un combustible complementario (casi siempre gas) a los desechos pulverizados en razón del contenido variable de energía de los residuos o en caso de que la cantidad

de residuos disponibles sea insuficiente. Los metales ferrosos normalmente se recuperan de la ceniza.

Cuando se comercializa los mercados para el vapor de agua deben estar cerca de los incineradores de residuos para que estos sistemas de combustión sean competitivos con otras fuente de calentamiento. El incinerador de la ciudad de Montreal, Canadá, no dispuso de un mercado para el vapor de agua de sus incineradores de pantalla de agua para combustión en masa hasta 1983 (alrededor de 15 años después que se construyó). Ahora se exige a los servicios públicos de EUA que adquieran electricidad generada a partir de la incineración de residuos sólidos. En consecuencia, muchos sistemas de incineración producen ahora electricidad, la cual se transporta con facilidad, por lo cual no es necesario que estos incineradores estén ubicados muy cerca de los mercados de energía, en la figura 10.3 se presenta una planta municipal típica de combustión de residuos sólidos con producción de vapor.

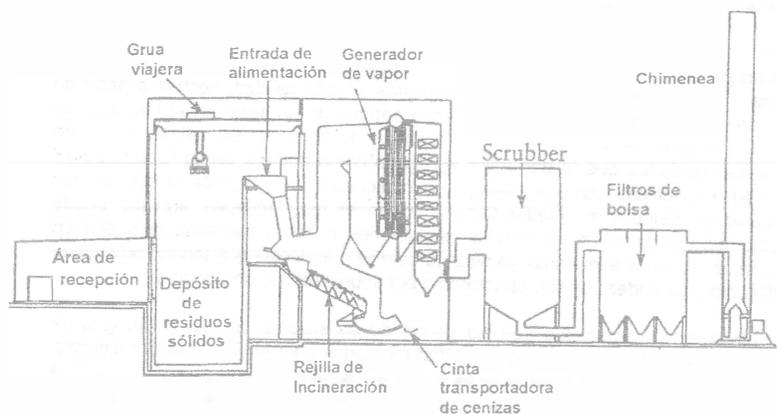


Figura 10.3 Planta municipal típica para combustión de residuos sólidos

De los problemas asociados con la incineración, el control de la contaminación del aire, en especial la extracción de partículas finas y gases tóxicos (incluso dioxina), es el más difícil. Entre las emisiones de contaminantes de los incineradores de RSM reguladas en Estados Unidos se cuentan el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno, la materia particulada, los metales, los gases ácidos, las dioxinas y los furanos. La emisión de contaminantes combustibles que contienen carbono se controla optimizando el proceso de combustión. Otras preocupaciones relacionadas con la incineración incluyen la eliminación de los residuos líquidos del drenaje de los pisos, el agua de extinción y el efluente de los lavadores, así como el problema de la descarga de cenizas en rellenos a causa de los metales residuales.

Ejemplos

1° Cantidad de Energía

Encontrar el valor calórico de las basuras típicas que se producen en México, según se indican en el Capítulo 3.

Componente	Fracción por peso (tabla 3.8)	Poder calórico (tabla 3.14) Kj/Kg
Cartón y papel	20	16,300
Metal	3.2	---
Vidrio	8.2	---
Textil	4.2	3,232
Plástico	6.1	32,800
Orgánicos	4.3	5,800
Otros (inertes)	15.3	---

RESULTADOS

$$0.20 (16,300) + 0.042 (3,232) + 0.061 (32,800) + 0.43 (5,800) = 3,260 + 136 + 2,000 + 2,494 = 7,890 \text{ Kj/ Kg}$$

2° Costos

Un incinerador de combustión en masa con recuperación de calor trabaja con 400 toneladas/día de residuos sólidos municipales, con gas natural como combustible complementario. Se espera que un programa de separación en fuentes residenciales reduzca en 20% la cantidad de papel y cartón recolectada. Para que el incinerador mantenga la producción de vapor de agua, el valor térmico de los combustibles disminuidos (papel y cartón) se tendría que reemplazar por gas natural a un costo de \$0.20 por m<sup>3</sup> (\$0.56 por 100 ft<sup>3</sup>).

Sin tomar en cuenta los costos de recolección, ¿para que el municipio no pierda, qué precio por tonelada se tendría que pedir por el papel? Nota: Se puede despreciar la mayor eficiencia de la incineración de gas natural en comparación con la de los desechos.

Datos:

Contenido original de papel de los residuos sólidos (dato)	= 38%
Contenido energético del papel (tabla 3.14)	= 16,300 kJ/kg
Contenido energético del gas natural (tabla 3.14)	= 37,300 kJ/m <sup>3</sup>

Solución:

Para la operación original tenemos que

$$\text{cantidad total de desechos quemados} = 400 \text{ toneladas/día}$$

cantidad de papel quemado (38%) = 152 toneladas/día  
 contenido energético del papel quemado = 152 toneladas/día x 16.3  
 x 10<sup>6</sup> kJ/tonelada  
 = 2.48 x 10<sup>9</sup> kJ/d

Después de la separación obtenemos

contenido energético del papel separado (20%) = 4.96 x 10<sup>8</sup> kJ/día

volumen adicional de gas necesario:  $\frac{4.96 \times 10^8 \text{ kJ/día}}{37,300 \text{ kJ/m}^3} = 13,300 \text{ m}^3/\text{día}$

costo del gas adicional = (13,300 m<sup>3</sup>/día) x (\$ 0.20 m<sup>3</sup>) = \$ 2,660/día

Por tanto, considerando que la cantidad de papel recuperado es de 30.4 toneladas/día, el municipio tendría que recibir:

$$\frac{\$2,660/\text{por día}}{30.4 \text{ toneladas/día}} = \$ 88.00 \text{ por tonelada}$$

Para que la separación valga la pena, cualquier costo adicional atribuible a la separación, recolección, almacenamiento, manejo y entrega del papel se debe agregar a este costo. Los ahorros compensatorios originados por la menor cantidad de desechos por recolectar y la menor cantidad de los mismos que se debe preparar para quemarla probablemente serían reducidos.

## 10.5 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Se presenta el tratamiento biológico, mismo que se enfoca al aprovechamiento de los residuos orgánicos biodegradables "húmedos", como los alimentos y los residuos de jardín, la fracción orgánica varía significativamente entre lugares y estaciones del año. En la mayoría de los países industrializados la fracción orgánica representa 20% de los residuos sólidos municipales, en países en vías de desarrollo la materia orgánica llega a exceder 50% de éstos.

El seleccionar los residuos orgánicos dentro de una estrategia integral tiene varios beneficios: convertir los residuos orgánicos en un producto útil (composta) ó recuperar energía (biogas). Separar la fracción húmeda de los residuos sólidos incrementa el valor de los otros residuos al no ser ensuciados (contaminados) por dicha fracción, además reduce la cantidad de gas y de lixiviado que se genera en los rellenos sanitarios.

Previo al tratamiento, es necesario que la materia orgánica sea molida en partículas lo mas finas posibles para aumentar la superficie en que actuarán las bacterias que se encargarán de degradar la materia orgánica para convertirla en "humus".

Los dos métodos básicos para tratar los residuos orgánicos dependen del tipo de bacterias que intervendrán y son: **aerobio** (en presencia de oxígeno) y **anaerobio** (en ausencia de oxígeno).

El compostaje o composteo se lleva a cabo en condiciones aerobias, ya sea a nivel hogar, ó en grandes plantas de composta, la digestión anaerobia es una tecnología relativamente compleja que se lleva a cabo en contenedores sellados que permiten la recuperación y uso de biogas (gas metano) que se genera al descomponerse orgánicamente los residuos.

El modo más simple para introducir el tratamiento biológico a un sistema de manejo integral de residuos sólidos es promover la elaboración de composta en los domicilios donde esta puede ser utilizada, esto evita costos de recolección y mantiene el material orgánico completamente separado de los otros residuos, lo que mejora de manera significativa su manejo. En caso de que el compostaje casero no sea una opción viable, es conveniente recolectar los residuos orgánicos en forma separada para ser llevados y tratados en plantas municipales o privadas de composta.

El éxito del compostaje dentro de un sistema de manejo integral de residuos sólidos se determina en gran medida por la calidad de la composta producida y la disponibilidad de mercado para el producto. Generalmente compostas de alta calidad, hechas a partir de fracciones seleccionadas de los residuos, tienen asegurado un lugar en el mercado en ciertas circunstancias, derivadas de un buen precio de la composta debido a su alta calidad, existen opciones que le dan valor agregado como pudiera ser la "pelletización" para mercados específicos, como por ejemplo, la horticultura. La composta de baja calidad hecha a partir de residuos mezclados tiene aplicaciones muy limitadas, aún así, puede usarse como material de cobertura de rellenos sanitarios, o como mejorador de suelos en áreas forestales cercanas a la planta, ya sean forestales o agrícolas que tengan problemas de desertificación, de aridez por sobrepastoreo o por sobreexplotación agrícola.

Antes de introducir el compostaje aerobio dentro de un sistema de manejo integral de residuos sólidos, se debe garantizar que existan mercados para el producto, por ejemplo, contratos con municipalidades para usar la composta en áreas y parques públicos. Los mercados para el biogas generado en instalaciones para digestión anaerobia también se pueden y deben identificar.

En cuanto a los productos aprovechables, procesos, ventajas y desventajas del composteo, en la tabla 10.1 se presentan datos suficientes para la toma de decisiones.

### DIGESTIÓN AEROBIA

Este proceso, comúnmente denominado como "COMPOSTEO", consiste en la degradación aerobia y termófila de materiales putrescibles, por acción de los microorganismos, dando como resultado un mejorador orgánico de suelos, cuyo valor energético y nutritivo es superior a cualquier estiércol, cuando cumple ciertas condiciones.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Existen dos tipos de descomposición biológica aerobia 1º. la acelerada o inducida y 2º. la lenta o natural.

**Fermentación Acelerada o inducida**

Según las experiencias en diversos países, la degradación acelerada conlleva costos de operación más elevada que los correspondientes a la degradación natural, aunque se obtiene en poco tiempo. (ver figuras 10.5 a 10.7)

- Este proceso requiere de instalaciones y equipos especiales cerrados.
- Se facilita controlar los parámetros que rigen el proceso.
- Las instalaciones cuentan con equipos de agitación mecánica
- Se evita el uso de grandes extensiones de terreno
- Se requieren tiempos de retención 1 a 15 días
- Existe en el mercado cámaras fermentadoras verticales de piso múltiple, verticales de paletas, horizontales rotatorias y horizontales de paletas.
- Alta inversión de capital

**Fermentación Lenta o natural**

- Se lleva a cabo normalmente a la intemperie
- Formando pilas o camellones de longitud variable sobre el suelo
- Comprende tres fases
  - Prefermentación
  - Fermentación
  - Maduración
- Normalmente se obtiene un producto estabilizado de 90-120 días
- La agitación se lleva a cabo mediante maquinaria
- Requiere grandes extensiones de terreno
- El tiempo de residencia es muy grande
- Difícil de controlar por estar expuesto a factores climatológicas.

Se puede ver el equipo "volteador" para camellones en la figura 10.4.

## Principales pasos del proceso

- Recepción de residuos
  - Separación de subproductos
  - Reducción de tamaño por trituración o cribado (No en todos los casos)
  - Fermentación aerobia lenta o acelerada, según el caso
- Instalaciones y equipo

La descripción de las unidades que pueden ser consideradas dentro del proceso, para el tipo de residuos que se pretenden aprovechar, se describen a continuación:

- Fosa de recepción
- Bandas de recuperación de subproductos reciclables
- Molino
- Cribas (vibratorias, rotatorias, etc)
- Puente formador de pilas
- Trascavos

## VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO

## a).- Ventajas

- Reducción del espacio requerido para la disposición final de residuos urbanos
- Integración de la totalidad de la materia orgánica al ciclo natural
- Se puede ocupar mano de obra extensiva
- Recuperación de subproductos con valor comercial
- La composta se puede usar como material de cubierta para relleno sanitario o regenerador de suelos de cultivo

## b).-Desventajas

- Capacitación del personal
- Se requiere controlar las condiciones físicas, químicas y biológicas del proceso
- Existe un mercado reducido para la composta
- Costos altos para el transporte de la composta
- Compite con fertilizantes inorgánicos (más baratos), por no tener una difusión adecuada para su utilización.
- Costos de mantenimiento elevados, por el desgaste continuo del sistema de molienda
- Requiere de tiempos prolongados para estabilizarse siendo estos mayores en el caso de digestión lenta (natural)
- Se requiere de grandes áreas

Características de los residuos potencialmente aprovechables

C - 3%  
H - 6%  
O - 30%  
N - 1.3%

## TIPOS DE COMPOSTA

De acuerdo al avance de degradación bioquímica y procesamiento final, se clasifican en:

- **Cruda**  
Residuos triturados que aún no se encuentran en etapa de descomposición
- **Fresca**  
Material que se encuentra en las primeras etapas de degradación bioquímica.

Material que se encuentra en las primeras etapas de degradación bioquímica.

- **Madura**  
Producto completamente composteado y desinfectado
- **Especial**  
Composta que ha pasado por etapas posteriores para su refinación y/o adicción de sustancias minerales.

#### USOS

- Regenerador de suelos agrícolas
- Material de cobertura para relleno sanitario
- Sustrato para producción de proteínas
- Como complemento alimenticio porcícola
- Jardinería
- Control de maleza y enfermedades de las plantas
- Control biológico de daños al suelo
- Fuente de micronutrientes y macronutrientes para las plantas

#### RIESGOS POR EL USO

- Aumento en la concentración de sales
- Puede incorporar al suelo concentraciones dañinas de metales pesados
- Incorporación de organismos patógenos si no está bien procesada
- Modificación del pH
- Si la madurez no es adecuada empobrece los suelos

#### DIGESTIÓN ANAEROBIA

Es un proceso de fermentación de materia orgánica en ausencia de oxígeno, es decir en condiciones anaeróbicas, a partir del cual se obtiene como productos: un lodo estabilizado que es un excelente mejorador de suelos con alto valor fertilizante y biogas, ver figuras 10.8 y 10.9.

En México hasta ahora ningún municipio ha intentado aprovechar el biogas como fuente de energía, sin embargo en el Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León y en el Distrito Federal, se está estudiando la posibilidad de incorporar este sistema en su proceso de disposición final. En el D. F. Se realizaron pruebas piloto en el antiguo tiradero de Santa Cruz Meyehualco una vez que fue clausurado, con el biogas y combustibles auxiliares se genera energía para la iluminación de una parte del parque ahora denominado Cuiclahuac.

#### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Mediante este proceso es factible procesar residuos orgánicos de tipo agrícola, jardinería y los contenidos en los residuos sólidos urbanos.

El proceso se inicia con el mezclado de residuos orgánicos con agua para posteriormente introducirlos a un recipiente cerrado llamado **digestor**, donde se realiza el proceso de digestión. Este digestor se carga a intervalos regulares de tiempo con una cantidad dada de los desechos mezclados con agua; del digestor sale un volumen de lodos fertilizantes igual al de la mezcla alimentada; el biogas se genera en forma continua y se puede almacenar en una cámara disponible para ello.

La fermentación anaerobia se lleva a cabo por la acción de diversas familias de bacterias, usualmente se consideran dos etapas de dicho proceso: en la primera se forman ácidos (fase ácida) y en la segunda metano y otros gases (fase metanogénica).

#### Principales pasos del proceso

- Recepción de materia prima
- Separación de componentes inorgánicos del volumen total de residuos sólidos
- Acondicionamiento del material a fermentar
- Carga del material al digestor
- Digestión anaerobia
- Captación de biogas
- Descarga del efluente digerido

#### Instalaciones y equipo

- Tolvas de recepción
- Molino
- Bandas de selección
- Tanque de mezclado y carga
- Digestor con campana flotante
- Tanque de descarga
- Línea de conducción de biogas
- Secadora de lodos estabilizados
- Cribas

#### PARAMETROS QUE RIGEN EL PROCESO

- Temperatura.-El proceso se lleva a cabo en un amplio rango de temperatura, sin embargo, para que las bacterias formadoras de metano trabajen en forma óptima, se requiere mantenerlos entre 30° y 60° C. Es importante tomar en cuenta que a los 50°C desaparecen los organismos patógenos.
- Relación Carbono Nitrógeno.- La más recomendable es de 30
- Porcentaje de sólidos.- Experimentalmente se ha demostrado que una carga que contenga entre 7 y 9% de sólidos totales es óptima para la digestión.

- pH.- Su valor debe estar entre 6.7 y 7.5

#### Características de los residuos

C-38%  
H-60%  
O-30%  
N-1.3%

#### VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO

##### Ventajas

- Obtención de gas metano (combustible)
- Obtención de un lodo con propiedades fertilizantes y regenerativas del suelo
- Control de la contaminación derivada por la descomposición espontánea e incontrolada de materia orgánica
- Destrucción de patógenos
- Aumenta la vida útil del sitio de disposición final donde serían confinados los residuos sin procesar
- El 100% de los residuos orgánicos procesados, son degradados
- No hay escape de malos olores
- No contamina el subsuelo

##### Desventajas

- Los lodos pueden tornar ácido al suelo donde son aplicados
- Requiere capacitación de personal
- Condiciones de operación muy controladas
- Competencia en el mercado de abonos naturales
- Tiempos prolongados de proceso
- Remoción constante de natas
- Riesgos en el manejo de gas metano

#### BIOABONO

- Puede servir como materia prima para producir compostas
- Mejorador de suelos
- Aumento de la producción agrícola
- Fertilización de estanques de peces
- Cultivos de hidroponía.

#### Composición

- ph 7.5%
- Materia orgánica 85.0%
- Nitrógeno 2.6%
- Fósforo 1.5%
- Potasio 1.0%

#### BIOGAS

- El biogas puede utilizarse directamente en quemadores, como por ejemplo en estufas, lámparas, refrigeradores, etc.
- Puede ser utilizado como combustible en máquinas de combustión interna.
- Generación de energía eléctrica

#### Composición

- Metano 54% - 70%
- Bióxido de carbono 27% - 45%
- Hidrógeno 1.0% - 10%
- Nitrógeno 0.5% - 30%
- Ácido sulfhídrico 0.1%
- Poder calorífico 5335 KCAL/m<sup>3</sup>

A continuación se presentan equipos y algunos procesos utilizados para la producción de composta.

FIGURA 10.4 MAQUINA VOLTEADORA PARA COMPOSTA

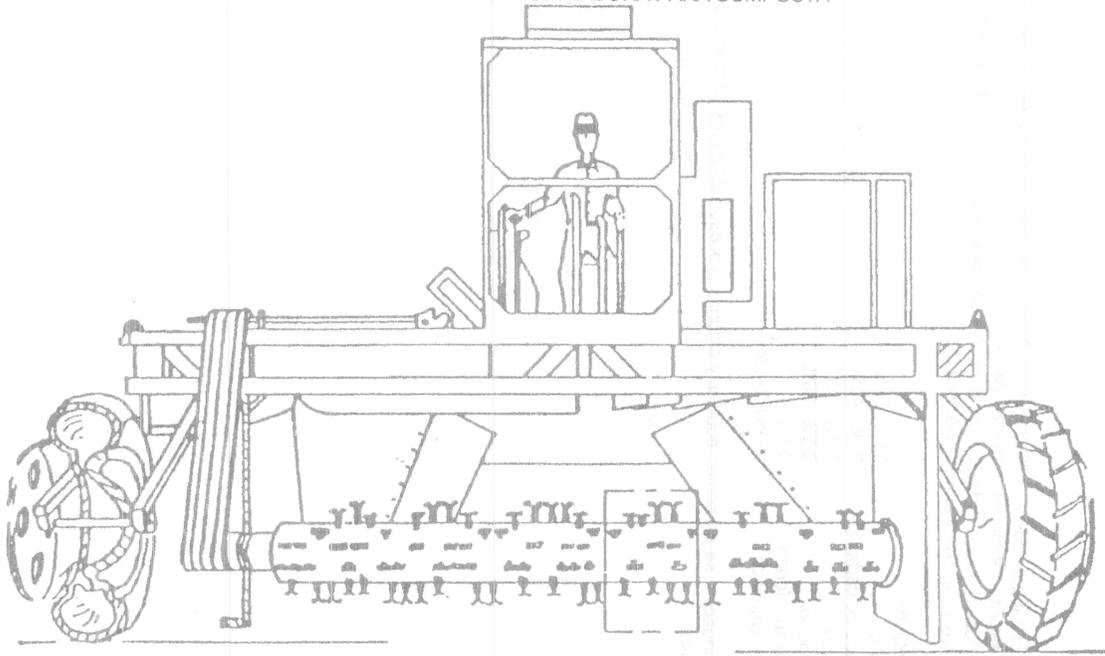
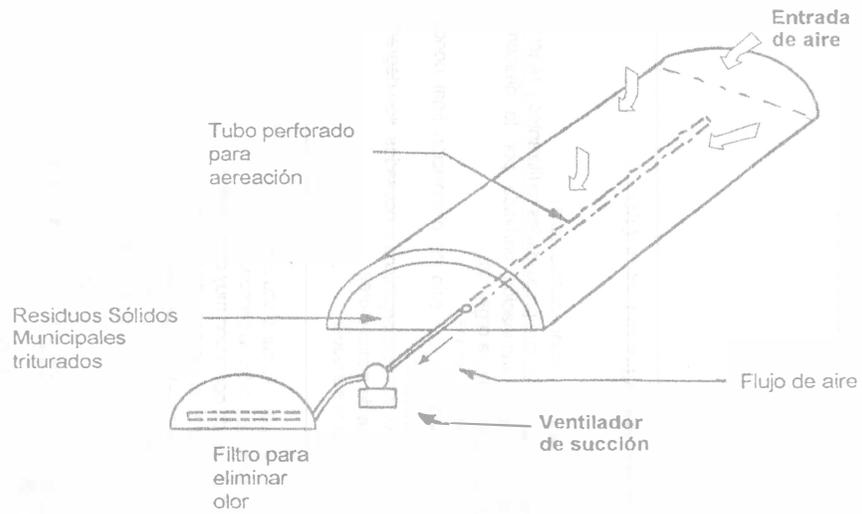
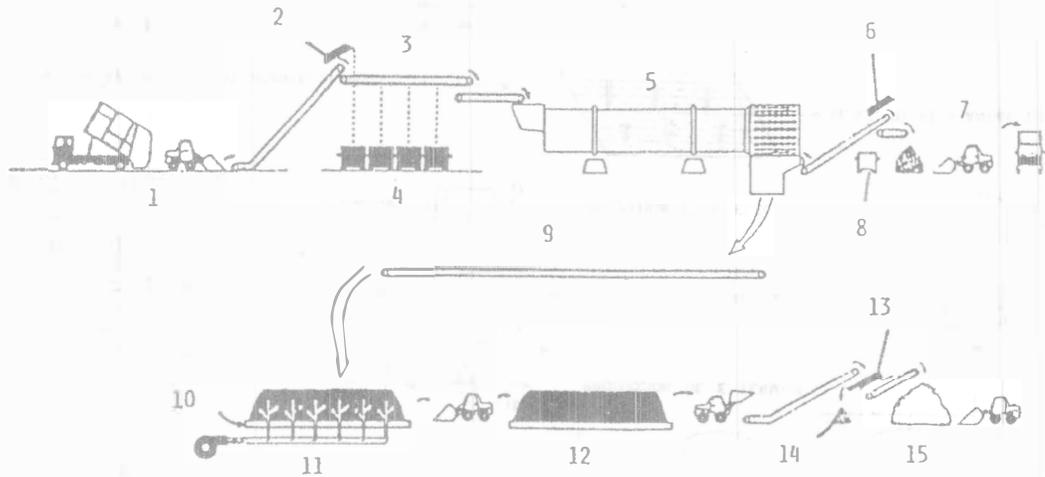


FIGURA 10.5 COMPOSTEADOR  
PILA AEREADE PARA COMPOSTEAR RESIDUOS SOLIDOS  
MUNICIPALES



Elaborado por Philip O'leary, Patrick Walkh y Alga Razvi 1989-1990

FIGURA 10.6 SEPARACIÓN SEMI-MECÁNICA DE SUBPRODUCTOS CON PRODUCCIÓN DE COMPOSTA (PROCESO AEROBIO ACELERADO)



- |                                |                          |                             |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1.- Área de recepción          | 6.- Separador magnético  | 11.- Fermentación acelerada |
| 2.- Separador magnético        | 7.- Material de rechazo  | 12.- Pila de composta       |
| 3.- Banda de selección         | 8.- Metales ferrosos     | 13.- Tamizado fino          |
| 4.- Subproducto para reciclaje | 9.- Pulpa para composteo | 14.- Rechazo                |
| 5.- Digestión                  | 10.- Cama de aireación   | 15.- Composta terminada     |

FIGURA 10.7 PROCESO DE COMPOSTAJE ACELERADO "SILODA"

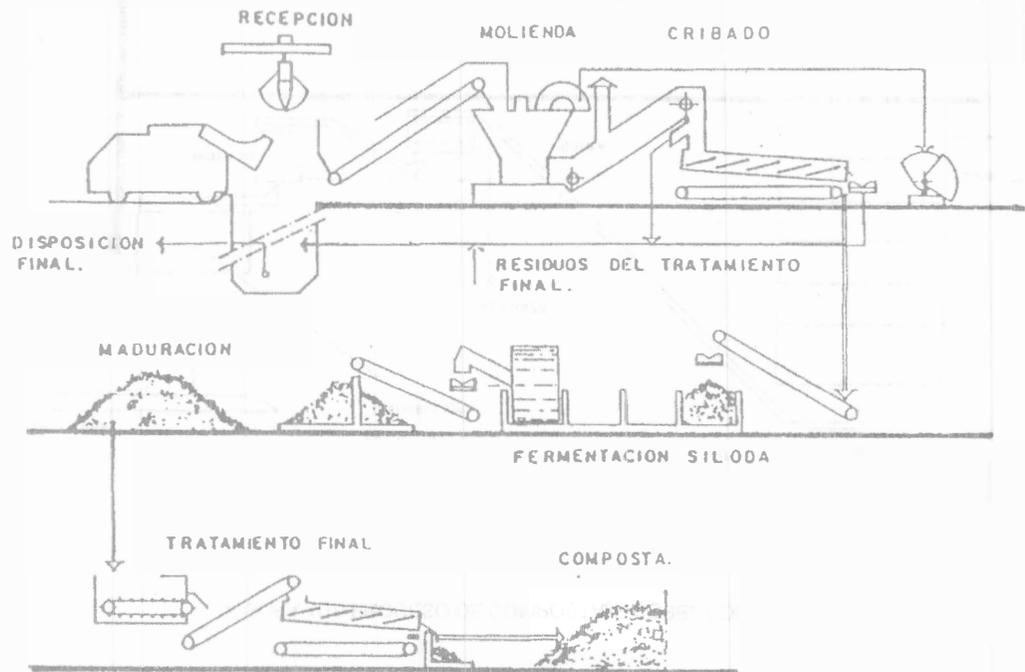
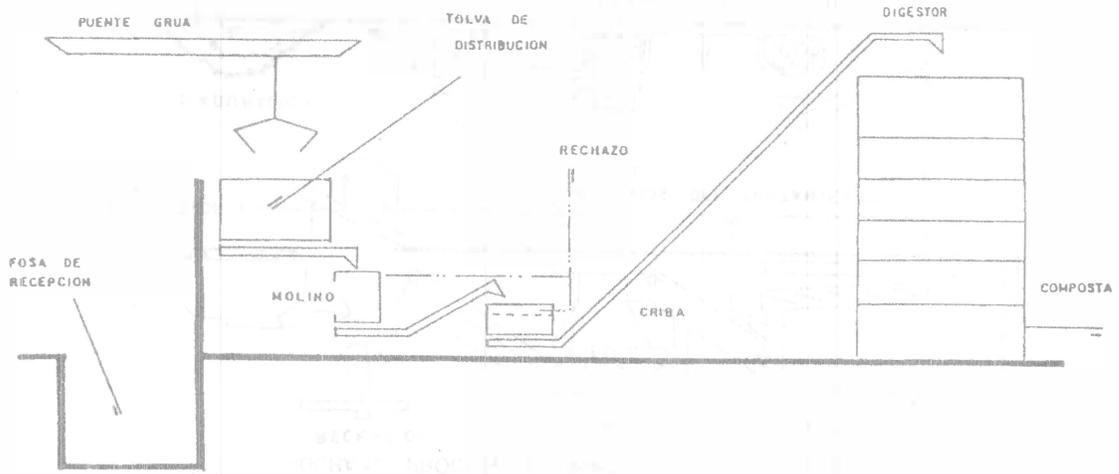
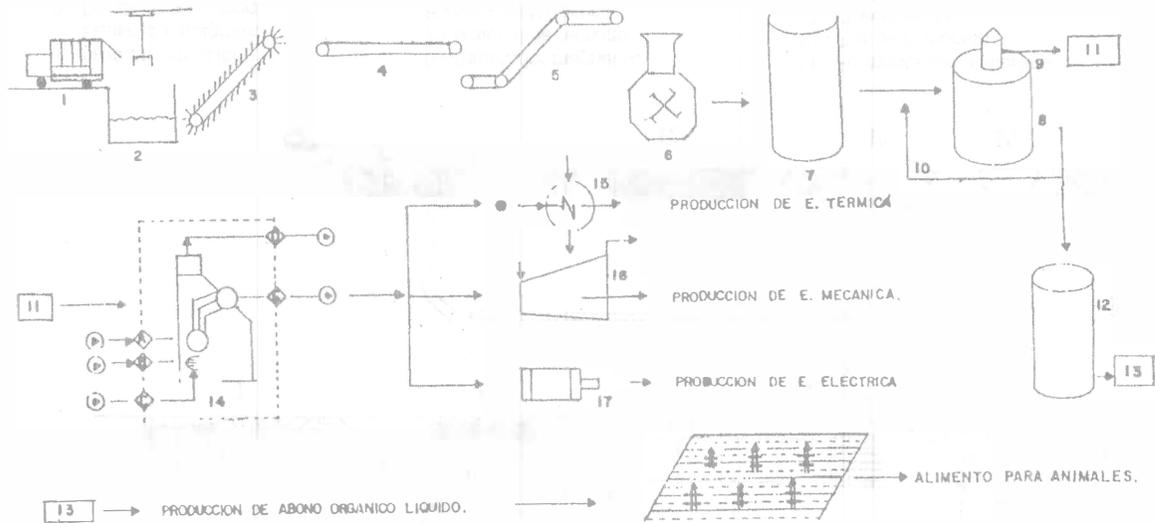


FIGURA 10.8 PROCESO DE COMPOSTAJE COREL-FOUCHE



160

FIGURA 10.9 FERMENTACION ANAEROBICA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES



- 1.- Descarga de residuos sólidos Municipales
- 2.- Fosa de almacenamiento
- 3.- Transportación de tabilllas
- 4.- Selección de subproductos
- 5.- Transportador de materia orgánica
- 6.- Molino de martillos
- 7.- Tanque de almacenamiento
- 8.- Biodigestor
- 9.- Línea de captación de biogas

- 10.- Recirculación
- 11.- Almacenamiento de biogas
- 12.- Tanque de descarga
- 13.- Abono orgánico líquido
- 14.- Generador de vapor
- 15.- Cambiador de calor
- 16.- Turbina
- 17.- Generador eléctrico

NOTAS

- A - Agua
- B - Agua
- C - Aire
- D - Combustión de gases
- E - Vapor alta presión

TABLA 10.1 Productos aprovechables obtenidos por medio de tratamientos biológicos

Sistemas de tratamiento	Tipo de residuo	Descripción del proceso	Ventajas	Desventajas
1. Producción de abonos orgánicos por digestión aerobia (composteo).	Todos los residuos biodegradables que integran la corriente de residuos sólidos municipales como: - Residuos alimenticios - Residuos celulósicos - Residuos de jardinería	Este proceso consiste en la degradación aerobia y termofilia de materiales putrescibles (orgánicos biodegradables), por acción de los microorganismos, dando como resultado un mejorador de suelos, cuyo valor energético y nutritivo es superior a cualquier estiércol	- Integración de la totalidad de la materia orgánica al ciclo natural. - Ocupa mano de obra extensiva. - Recuperación de subproductos con valor comercial. - El producto puede ser usado como cubierta para relleno sanitario o regenerador de suelos de cultivo.	- Requiere personal capacitado-requiere control de las condiciones físicas, química y biológicas - Mercado reducido para la composta - Elevado costo de transporte de la composta - Costos elevados de mantenimiento del sistema (de molienda) - Requiere de áreas grandes para efectuar el proceso
2. Fermentación anaerobia de residuos domésticos	Todos aquellos desechos biodegradables tales como: - Residuos alimenticios - Residuos celulósicos - Residuos de jardinería	Es un proceso microbiológico mediante el cual la materia orgánica presente es desdoblada a compuestos más sencillos en ausencia de oxígeno, obteniendo al final metano y un lodo rico en nutrientes que puede ser utilizado como abono o mejorador de suelos.	- Obtención de metano (gas combustible) - Obtención de lodo con propiedades fertilizantes - Control de la contaminación derivada de la descomposición espontánea e incontrolada de la materia orgánica - Destrucción de patógenos	- Puede tornar ácido el sueto donde es aplicado - Requiere personal capacitado - Requiere control del proceso - Tiempos prolongados de proceso - Riesgos en el manejo de gas metano - Para su comercialización, enfrenta gran competencia en el mercado de abonos naturales

Sistemas de tratamiento	Tipo de residuo	Descripción del proceso	Ventajas	Desventajas
3. Producción de abonos orgánicos mediante procesos para tratamiento de residuos líquidos	Todos aquellos residuos obtenidos de las descargas residuales urbanas - Lodos residuales	Proceso que se realiza a partir de la fracción sólida orgánica obtenida mediante procesos de separación de los residuos líquidos; dicha fracción se somete a un proceso microbiológico, y al finalizar este último se obtiene un material amorfo que presenta características de abono orgánico. Se puede optar por un tratamiento aeróbico o por un anaeróbico	- Conservación y reutilización del agua - Obtención de un abono rico en materia orgánica, macro y micronutrientes - El uso del abono orgánico puede ser útil en la recuperación de suelos erosionados de tipo forestal, áreas verdes y jardines	- Requiere personal capacitado - Requiere de grandes áreas para el proceso - Condiciones de operación muy controladas - En el caso de digestión anaerobia, existe peligro de explosiones por mal manejo del gas - El proceso aerobio es muy sensible a cambios ambientales - Elevados costos de instalación y mantenimiento
4. Producción de abonos orgánicos mediante procesos de vermicompostaje	Los residuos tratados por este sistema son: - residuos orgánicos urbanos - lodos de tratamiento de aguas residuales	Esta técnica se basa en la crianza de lombrices, principalmente de la especie eisenia férida; y consiste en la transformación de materia orgánica a compuestos húmicos, mediante el proceso digestivo del anélido, cuyo desecho metabólico es un producto similar al humus, que puede emplearse como abono orgánico.	- Se obtiene un producto amorfo parecido al humus que supera en cualidades físicas y biológicas a algunos fertilizantes químicos - Posibilidad de producir harina de lombriz, que se utiliza como complemento de alimento animal - Posibilidad de alimento para peces, langostinos, etc. - Bajos costos de operación	- Requiere monitoreo y control permanente tanto de los residuos como de las camas de producción - El proceso es lento, por lo tanto se requiere trabajar a gran escala para compensar los tiempos de producción - Se requiere personal capacitado para la crianza de lombrices

Sistemas de tratamiento	Tipo de residuo	Descripción del proceso	Ventajas	Desventajas
5. Producción de harinas vegetales para la elaboración de alimento balanceado para animales domésticos	Los residuos idóneos para este tipo de tratamiento están constituidos por los residuos vegetales comestibles que se generan en los centros de abasto	Este proceso consiste en la deshidratación de los residuos orgánicos de origen vegetal, para una posterior molienda y tamizado para obtener un polvo seco que reúne las características de una harina de origen vegetal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtención de un producto utilizado como complemento para alimento balanceado para animales</li> <li>- Fácil operación</li> <li>- No requiere grandes superficies para el proceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevado consumo de energía</li> <li>- Altos costos de mantenimiento</li> <li>- Requiere efectuar análisis continuo del producto</li> <li>- Altos costos de transporte del producto</li> </ul>
6. Producción de alimentos proteicos para actividades pecuarias (pienso líquido)	Residuos alimenticios provenientes de hoteles, restaurantes, centros educativos, rastros, centros de abasto, etc.	Con este método, los residuos son procesados por operaciones de trituración, homogenización y esterilización. Para así obtener un producto apto para consumo del ganado porcino	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtención de un producto para alimentar ganado porcino.</li> <li>- Fácil operación</li> <li>- No requiere grandes superficies para el proceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere equipo adicional para suministro de vapor</li> <li>- Elevado consumo de combustible</li> <li>- La materia prima comienza a degradarse rápidamente después de su generación</li> </ul>
7. Cocomposteo	Los residuos tratados por medio de este sistema son: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos orgánicos domiciliarios</li> <li>- Lodos residuales domiciliarios</li> </ul>	Degradación aerobia de mezclas de todos y materia orgánica provenientes de residuos domiciliarios. Con objeto de formar un producto estable con propiedades agrológicas. Aquí, las pilas de la mezcla y tienen un alto contenido de humedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtención de un regenerador de suelos</li> <li>- Destrucción de microorganismos</li> <li>- Reducción de la masa total</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se aconseja usar el producto a ningún cultivo destinado a la alimentación humana</li> <li>- Requiere grandes áreas para el proceso</li> <li>- Altos costos para el transporte del producto al área de comercialización</li> </ul>

## INGENIERIA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

### CAPITULO 11 DISPOSICION FINAL

- 11.1 DISPOSICION FINAL EN MÉXICO
- 11.2 RELLENO SANITARIO
- 11.3 SELECCIÓN DEL SITIO PARA EL RELLENO
- 11.4 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL RELLENO
- 11.5 METODOS PARA EFECTUAR EL RELLENO
- 11.6 CARACTERISTICAS DE DISEÑO
- 11.7 FRENTE DE TRABAJO
- 11.7 MAQUINARIA Y EQUIPO

### INTRODUCCIÓN

La disposición final puede hacerse mediante: 1° Verter los RSM en las corrientes marinas como se hacía en Nueva York y Puerto Rico, 2° Incineración con producción de energía eléctrica como se hace en Puerto Rico, donde no se dispone de espacios para efectuar otro tipo de disposición y 3° Enterrar los RSM en forma sanitaria mediante Rellenos Sanitarios.

#### 11.1 DISPOSICIÓN FINAL EN MÉXICO

Para la disposición final adecuada de los RSM se utiliza en el mejor de los casos el relleno sanitario, éste, es una obra de ingeniería, planeada, diseñada, ejecutada y operada para prevenir efectos adversos al ambiente y a la salud pública.

Los diferentes métodos utilizados son: trinchera, de área y combinado, en esta forma los RS son depositados y compactados al menor volumen posible y se cubren con una capa de tierra al término de cada día de operación.

Los sitios sin control representan riesgos importantes por contaminación del suelo en el que se depositan los RSM, inutilizándolo para cualquier fin productivo, por la contaminación de acuíferos subyacentes a los sitios debido a la migración del lixiviado que se forma por el paso del agua de lluvia y por el agua resultante de los procesos de degradación microbiana de los RS, así como por la contaminación del aire con los gases que se desprenden o por el acarreo de partículas por el viento y las actividades que la maquinaria lleva a cabo en dichos sitios.

A lo anterior se suma el deterioro de la imagen urbana, las molestias sanitarias, los riesgos inherentes al desarrollo de la fauna nociva, el ruido y la problemática social que está involucrada en las actividades de pepena de los materiales susceptibles de ser comercializados.

Existe una gran cantidad de tiraderos clandestinos en todo el país, generalmente lotes baldíos, barrancas y jardines, estos sitios son creados la mayoría de las veces por recolectores particulares de RS domiciliarios o de cascajo y por los pobladores de zonas donde la recolección es deficiente.

La disposición final de casi 50 por ciento de los RSM generados en el país, se lleva a cabo mediante la utilización de tiraderos a cielo abierto o en rellenos controlados, métodos que no cumplen con los requisitos técnicos para lograr una adecuada disposición de los RSM y el otro 50 por ciento en rellenos sanitarios en los cuales se disponen de manera adecuada.

Se cuenta con 40 rellenos sanitarios, en ciudades medias y zonas metropolitanas y 13 en localidades pequeñas, de todo el país, operando en forma satisfactoria y el resto de los

sitios no cumple con las normas mínimas por lo que se consideran tiraderos a cielo abierto.

Las 83,831 ton diarias de basura que se producen en el país requerirán 111,775 m<sup>3</sup> por día para depositarlas. Esto da una idea de las necesidades de terreno y de la importancia de diseñar estrategias para su manejo integral que incluya acciones como reducir la cantidad de basura de la fuente.

Los costos de operación de un relleno sanitario tienen un amplio espectro de variación dependiendo del volumen de RSM a disponer, el origen de los recursos empleados para la construcción del y el nivel de responsabilidad asignado a quien lo opera, entre otros. Quizás el más significativo de estos factores sea el volumen de RSM a disponer ya que en los costos de operación e inversión aplican fuertemente las economías de escala, por lo que las autoridades estatales y federales han puesto mucho énfasis en la construcción de rellenos sanitarios regionales, cuando las distancias entre los diferentes centros de población lo permiten. Los costos de operación de un relleno sanitario en México representan aproximadamente el 18% del costo total del proceso.

En localidades rurales y semiurbanas de menos de 20,000 habitantes, se han construido rellenos sanitarios de operación manual como es el caso de Serra Gorda de Querétaro. Este tipo de obras se debe complementar con acciones de capacitación y educación ambiental a la población, así como de estrategias de reducción en la fuente. Es necesario fomentar este tipo de rellenos y de estrategias debido a que la mayoría de los municipios del país se encuentran en este rango de población.

En el siguiente cuadro, se presentan algunos municipios que cuentan con rellenos sanitarios con eficientes sistemas de administración y operación.

Municipios o delegaciones con relleno sanitario

Localidad	Estado
Bordo Poniente	Distrito Federal
Querétaro	Querétaro
Cancún (Benito Juárez)	Quintana Roo
Puebla	Puebla
Mérida	Yucatán
Tequisquiapán	querétaro
Tlalnepantla	Estado de México
Área Metropolitana de Monterrey (SIMEPRODE)	Nuevo León
Cd. Juárez	Chihuahua
Nuevo Laredo	Tamaulipas

Fuente: Sancho y Cervera J., Rosiles G., Situación actual del manejo integral de los Residuos Sólidos en México. Sedesol. 1999

## 11.2 RELLENO SANITARIO

El Instituto nacional de ecología informo en 1996 que en las ciudades de la República Mexicana se recolectaba aproximadamente el 70% de los residuos sólidos que se generaban, de ellos solo el 17% se disponían en rellenos sanitarios, el resto (83%) en "tiraderos a cielo abierto".

Los rellenos sanitarios deben cumplir con ciertas especificaciones de **ubicación, construcción y operación** que aseguren un control adecuado, debiéndose asegurar la disposición, aprovechamiento o tratamiento de los subproductos de la operación que son el biogás y los lixiviados, para evitar que causen daños al ambiente y a la salud humana si logran migrar más allá de su confinamiento.

El relleno sanitario como solución final es el elemento común de todos los métodos de eliminación, pues se aplica a los residuos sólidos tal como se recolectan o a lo que queda de ellos después de la separación y del procesamiento. Para las regiones donde el costo de la eliminación de los residuos sólidos es el factor determinante, el entierro de residuos no procesados continuará como método predominante, incluso en países desarrollados donde la incineración es común y los terrenos escasean pero existen predios potenciales para utilizarlos como rellenos sanitarios, recordemos que en caso de incineración la disposición de las cenizas resultantes es conveniente hacerla en un relleno sanitario.

Los rellenos sanitarios se instalan para evitar la contaminación del ambiente y para proteger la salud pública, para ello deben cumplir las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final y los requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo, de acuerdo a lo establecido en las normas NOM-083-ECOL-1996 y la NOM-084-ECOL-1995. (ver capítulo 12 ANEXOS)

El problema de disposición final se agudiza en las pequeñas poblaciones que no tienen recursos para comprar y operar equipos necesarios en los rellenos, para ayudar a solucionar este problema, en el capítulo 12 "ANEXOS" se presentan los datos para el diseño y operación de un **RELLENO SANITARIO MANUAL**, basados en las recomendaciones de la OPS / OMS.

## 11.3 SELECCIÓN DEL SITIO PARA EL RELLENO

La selección del sitio según la NOM-083-ecol-1996 requiere de estudios geológicos, hidrogeológicos y otros complementarios. En los siguientes puntos se resume lo que deberá cumplirse.

1).- Restricciones por afectación a obras civiles o áreas naturales protegidas.

a).- Se tomará en consideración las distancias mínimas siguientes:

- Aeropuertos que maniobran aviones con:
  - Motor de turbina ..... 3,000 metros.
  - Motor a pistón ..... 1,500 metros.
- 1,500 metros a partir del límite de la traza urbana de la población por servir.
- 1,500 metros de las poblaciones rurales (de hasta 2,500 habitantes).

Nota: En caso de no cumplirse con las distancias señaladas para las poblaciones, se deberá demostrar que no existirá afectación alguna a los centros de población.

- b).-Respetar el derecho de vía de autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios.
- c).-No se deben ubicar dentro de áreas naturales protegidas.
- d).-Se deberá respetar los derechos de vía de obras públicas federales tales como oleoductos, poliductos, torres de energía eléctrica, acueductos, etc.

2).-Para localidades de hasta 50.000 habitantes o con recepción de residuos de 30ton/día

La localización de sitios de disposición final en de residuos sólidos municipales, se debe hacer considerando exclusivamente las especificaciones establecidas en los puntos 3.2.3 y 3.2.4 de la NOM-083-Ecol-1996 que mencionan los aspectos geológicos y los aspectos hidrológicos.

3).-Aspectos hidrológicos

- a).-Se deberá localizar fuera de zonas de inundación considerando lluvias con periodos de retorno de 100 años.
- b).-No se deberá ubicar en zonas de pantanos, marismas y similares.
- c).-1,000 metros de distancia mínima con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo; además deberá contar con una zona de amortiguamiento tal que pueda retener el caudal de la precipitación máxima presentada en los últimos 10 años en la cuenca a la que pertenece, dicha zona estará definida por los canales perimetrales.
- d).-En caso de que exista una probable contaminación a cuerpos de agua, se debe recurrir a soluciones mediante obras de ingeniería

4).-Aspectos geológicos

- a).-Debe estar a una distancia mínima de 60 metros de una falla activa
- b).-Se debe localizar fuera de zonas de taludes inestables, que puedan producir movimientos de suelo o roca, por procesos estáticos o dinámicos
- c).-Se deben evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno.

5).-Aspectos hidrogeológicos

En caso de que el sitio esté sobre materiales fracturados, se debe garantizar que no exista conexión con el acuífero de forma natural y que el factor  $-10 -1$  de tránsito de infiltración (f) sea  $< 3 \times 10 \text{ seg}$

#### 11.4 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL RELLENO.

La buena o mala operación de un relleno sanitario, depende de las medidas de control que se estén aplicando, por tanto, para evitar o disminuir la alteración que los impactos generados en un relleno sanitario puedan tener sobre su entorno, es imprescindible aplicar en las diferentes etapas que demanda la construcción de este tipo de obras, una serie de criterios cuyo objetivo fundamental sea prevenir la contaminación por los residuos sólidos. Estos criterios, deben establecer los factores de diseño, la funcionalidad, los programas de control y monitoreo que requiera un relleno sanitario para operar adecuadamente.

El diseño de un relleno sanitario debe cumplir con lo establecido en la NOM-084-ECOL-1994 (anexa en el capítulo 12) y los principales criterios son:

- Definición de las secciones más adecuadas para la preparación del sitio, que aseguren una mínima estabilidad en las zonas más críticas.
- Considerar en el diseño, el tipo de impermeabilización más adecuado para la base y las paredes del sitio
- Determinar la capacidad de campo de los residuos sólidos por disponer
- Cálculo de la producción de lixiviados (potencial y real)
- Cálculo de las necesidades de agua para la estabilización vía anaerobia de los residuos
- Estimación de la producción de biogas
- Determinación de los gastos de diseño de los escurrimientos pluviales, para el dimensionamiento de la infraestructura hidráulica necesaria para su manejo

Tomando en cuenta que la aplicación de los criterios antes señalados son el camino mas viable para propiciar una adecuada tecnología para el diseño y operación de rellenos sanitarios se debe iniciar la implementación de tales criterios justamente a partir de la fase de planeación y diseño, para poder tener continuidad en la operación y durante el monitoreo ambiental

Instalaciones que debe tener un relleno sanitario para poblaciones mayores de 200,000 habitantes:

- Área de acceso y espera (ancho mínimo 8 mts.)
- Caminos permanentes de acceso y de operación
- Caseta de vigilancia (mínimo 4 m<sup>2</sup>)
- Caseta de peaje y básculas
- Almacén y cobertizo
- Oficinas y servicio de baños para personal administrativo y operativo
- Cerca perimetral que limite el predio con malla ciclónica de 2.20 mts. de alto o alambre de púas de 5 hilos y 1.5 mts. de alto
- Área de emergencia de disposición final
- Área suficiente para el relleno con:
  - Base del terreno con material impermeable (arcilla y geomembrana)
  - Drenaje exterior, interior y para lixiviados
  - Chimeneas para desalojar el biogas
  - Pozos de muestreo para control de lixiviado (estaciones)
  - Estaciones para muestreo de las aguas subterráneas
- Laboratorio fijo o móvil, debiendo incluir un sistema de monitoreo para: agua, lixiviados, aire y biogas.
- Área de amortiguamiento (árboles, pasto, etc.)
- Señalamientos

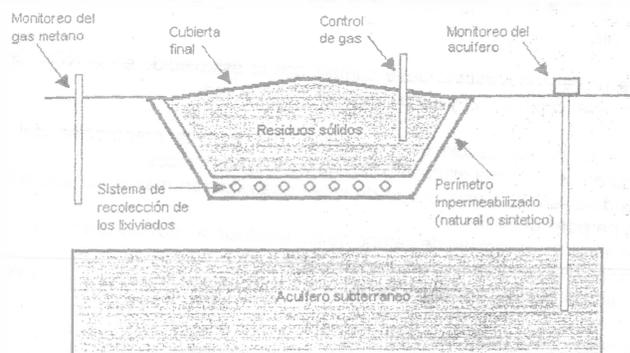


Figura 11.1 Componentes básicos de un relleno sanitario

### IMPERMEABILIZACIÓN DE LA BASE DEL RELLENO

El sistema de impermeabilización será utilizado para aquellos rellenos sanitarios donde el nivel de aguas freáticas se localiza a menos de 10 m de profundidad.

El sistema de impermeabilización deberá diseñarse para toda la base del relleno y podrá ser de origen tanto natural como sintético, o bien alguna combinación de éstos, debiendo asegurar una permeabilidad mínima de  $1 \times 10^{-5}$  cm/seg. Se deberá demostrar que los materiales que integran dicho sistema no se deteriorarán ni perderán sus propiedades y son resistentes a los esfuerzos físicos que resulten del peso de los materiales y residuos que serán colocados sobre este sistema de impermeabilización.

Dependiendo de los estudios técnicos la impermeabilización puede realizarse mediante:

- 1).- Capa de arcilla únicamente
- 2).- Capa base de arcilla y geomembrana.
- 3).- Capa base de arcilla, geomembrana y capa superior de arcilla.

Los materiales de origen natural pueden ser importados o bien del mismo sitio y en ambos casos se deberá especificar el manejo o trato que deberá dárseles para reducir su permeabilidad a los límites establecidos o en su defecto se deberá demostrar que su espesor es capaz de absorber o atenuar la carga contaminante de los lixiviados, evitando su migración hacia los acuíferos.

### 11.5 METODOS PARA EFECTUAR EL RELLENO

Los métodos utilizados en un relleno son: Área, trinchera, combinado y por depresión. Su selección se basará principalmente en las condiciones topográficas y geohidrológicas del terreno que se elija para el relleno.

#### a) Método de área

En este método, (figura 11.2), los desechos sólidos son colocados sobre el suelo donde un tractor tipo bulldozer los extiende y compacta. Después los desechos son cubiertos por una capa de tierra, la cual también es compactada. El método de área puede ser utilizado en cualquier terreno disponible, como planicies, canteras, cañadas o depresiones. Normalmente el material de cubierta es acarreado de áreas adyacentes, procurando que la distancia de acarreo del material no sea muy grande, de tal forma que la operación sea económica. Siguiendo un plan de trabajo establecido se inicia el relleno en un extremo del área (celda) y se avanza hasta terminar en el otro extremo; si las condiciones del terreno (resistencia del subsuelo, altura disponible, etc) lo permiten se pueden colocar capas sucesivas de basura formando celdas unas arriba de otras.

Para que cumpla las mínimas condiciones de relleno sanitario al finalizar el trabajo diario se deben cubrir las celdas terminadas para evitar riesgos de insalubridad y eliminando el problema de la expansión de los desechos ya compactados.

### b) Método de trinchera

Una trinchera (figura 11.3), es un corte en el terreno en el cual se depositarán los desechos sólidos, se esparcirán y compactarán formando celdas las cuales serán cubiertas con el mismo material excavado de la trinchera.

Este método se utiliza en lugares donde las pendientes son suaves, el nivel de aguas freáticas no es tan alto y el material puede ser excavado utilizando equipos normales de movimiento de tierra.

Los suelos arcillosos son ideales para la utilización del método de trinchera, ya que son fáciles de excavar y por sus características cohesivas, las paredes de la excavación pueden ser casi verticales y así las trincheras pueden ser construidas en espacios reducidos y estar muy cerca una de otra. La trinchera puede ser tan profunda como lo permitan las condiciones del suelo y deberá ser al menos 2 veces del ancho mínimo del equipo empleado para con ello facilitar su movimiento.

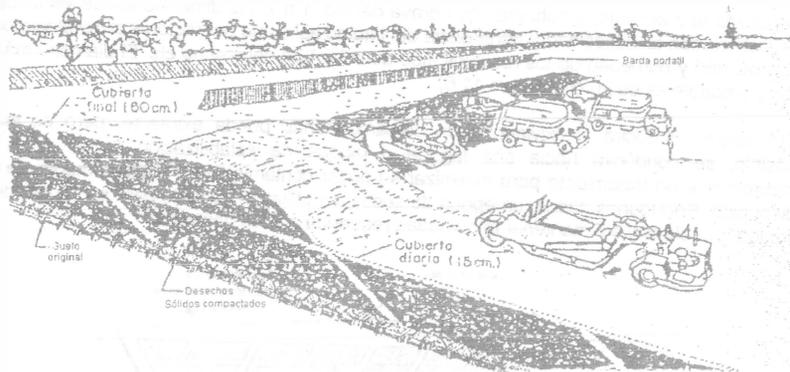


Figura 11.2 METODO DE AREA

### c) Método combinado

Es una combinación de los dos métodos descritos con anterioridad (figura 11.4), existen dos combinaciones, 1ª. iniciar con el método de trinchera y cuando el terreno ha sido totalmente ocupado se continúa con el método de área en la parte superior. La 2ª. combinación es la conocida como rampa y consiste en iniciar con el método de área y para obtener el material de cubierta se excava en el lugar donde estará la nueva celda.

Para este método se requieren condiciones especiales del terreno ya que éste debe ser un sitio en el cual no se pueda utilizar ninguno de los dos métodos anteriores. Usando este método se tiene un considerable ahorro en el transporte de material de cubierta y

una parte de los desechos son depositados debajo de la superficie original, lo cual aumenta la vida útil del sitio.

### d) Método por depresión

Este método (figura 11.5), es utilizado en depresiones naturales o artificiales del terreno como cañones, cañadas, barrancas, canteras y fosas. Las dimensiones de las celdas varían de acuerdo a las características de la depresión, así como de la cantidad de desechos sólidos por disponer en el sitio.

En este tipo de relleno se deberá tener especial cuidado en la canalización del drenaje superficial, ya que representa un problema crítico para poder efectuar con éxito la construcción de un relleno sanitario, el prever este problema evitará posibles inundaciones durante la operación del relleno.

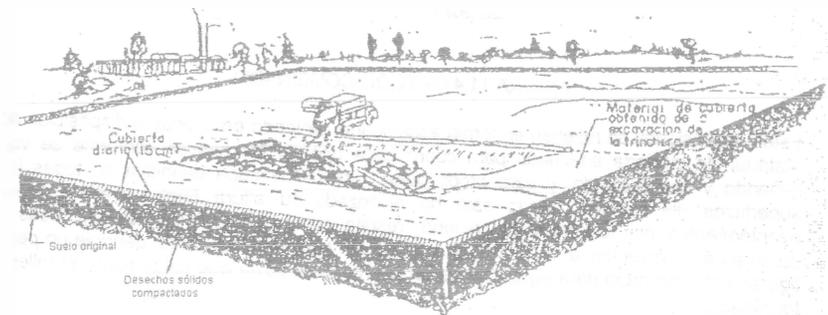


FIGURA 11.3 METODO DE TRINCHERA

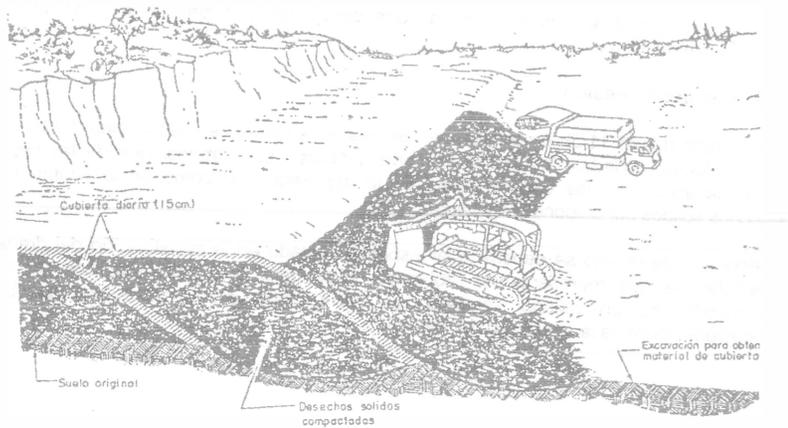


FIGURA 11.4 METODO COMBINADO

Estas depresiones se rellenan en forma escalonada, teniendo en cuenta la disposición de material de cubierta adecuado para cubrir cada uno de los niveles conforme se van llenando y compactando, y para proporcionar una última capa definitiva en todas las superficies del relleno cuando éste ha alcanzado su altura final. Debido a los asentamientos del terreno y del relleno, resulta conveniente el rellenar las fosas y canteras a un nivel ligeramente más alto que el del terreno circundante, dándole un perfil ligeramente inclinado para agilizar el escurrimiento de la lluvia que caiga sobre el relleno terminado

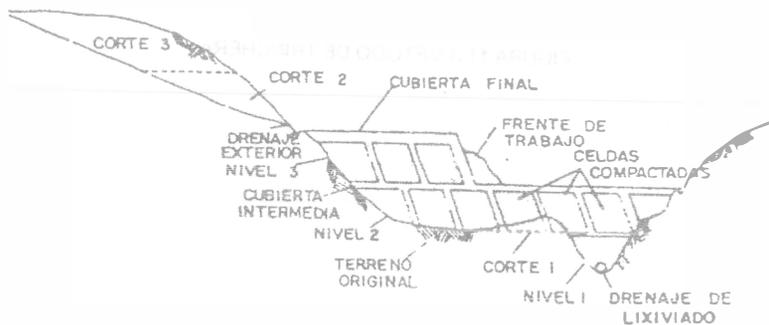


FIGURA 11.5 RELLENO SANITARIO EN CAÑÓN

### Control de líquidos y gases

Para la construcción de un relleno, se debe considerar como parte fundamental la futura producción de lixiviados y de biogas, cuyas instalaciones de desajio deben tomarse en cuenta y respetarse al construir las celdas.

### DRENAJE

El diseño de la interfase (figura 11.6), está íntimamente ligado a las características del lixiviado producido y con los principales mecanismos de renovación que se enumeran a continuación: a) Filtración, b) Absorción; c) Adsorción, d) Precipitación química, y e) Acción bacteriológica.

Las obras de drenaje exterior desvían las aguas de escurrimiento superficial fuera de relleno, sin embargo el agua que se precipita directamente sobre los desechos y la humedad natural de los mismos hacen inevitable la producción del lixiviado, para evitar que dicho líquido contamine la aguas subterráneas se diseñan redes de drenaje en la base del relleno, este drenaje se construye con tubos de concreto, de barro o de PVC perforado lateralmente, y cubiertos con grava del No. 1 ó 2, las dimensiones de los tubos se justifica con la viscosidad y adherencia del líquido así como por factores climatológicos, constitución y humedad de los residuos, tipo de cobertura del relleno etc. El diámetro más recomendable es de 20 cm (Figura 11.6).

El drenaje conducirá el lixiviado a un cárcamo donde pueda extraerse, pero de ser posible, se conducirá hacia una laguna o tanque de estabilización donde deberá someterse a un tratamiento para minimizar su poder contaminante y posteriormente será dispuesto. En algunos casos, en época de secas, se utiliza el lixiviado para impregnar de líquido las celdas y así mantener la humedad requerida por las bacterias.

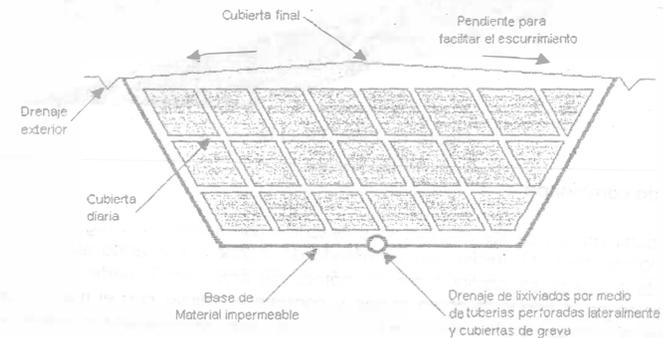


FIGURA 11.6 DRENAJE DE LIXIVIADO

## LIXIVIADOS

## Generación

Son los líquidos percolados que se deben a: 1° El agua que liberan los residuos por el alto contenido de humedad que presentan, 2° A la incorporación de agua superficial y subterránea y 3° principalmente al paso del agua pluvial a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en la fase de descomposición y que arrastran a su paso material disuelto, en suspensión, fijos o volátiles. Estos elementos son los que dan características contaminantes altamente agresivas al ambiente, como son las cargas orgánicas elevadas y metales pesados entre otros.

Las características de los lixiviados cambian a través del tiempo como consecuencia del grado de descomposición que de la materia orgánica biodegradable, de los procesos de oxidación química y de la disolución de compuestos orgánicos e inorgánicos.

Para seleccionar el método de tratamiento más adecuado se siguen los siguientes criterios: Edad, tipo y cantidad de carga orgánica presente en el lixiviado, PH, cantidad de sólidos presentes, concentración de metales pesados, flujo de lixiviado producido, calidad en el efluente final y sitios de descarga, así como la factibilidad técnica y económica.

## Cantidad de lixiviados

La cantidad de agua que pasa a través de un relleno sanitario y sale de este es un factor determinante del potencial de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas adyacentes. Este lixiviado, por lo general es muy alto en DBO, DQO, N, P y podría contener también algunos materiales y compuestos orgánicos tóxicos. El balance de agua se representa así:

$$\frac{ds}{dt} = P - R - E - L$$

Donde:

S = almacenamiento

P = Volumen de precipitación anual (cm/año por área superficial)

R = Escurrimiento, la fracción de precipitación anual que sale de la superficie del relleno con pendiente (se afecta con un coeficiente de escurrimiento)

E = Evapotranspiración (volumen del agua que se pierde (cm/año))

L = Lixiviado (litros por año)

Es posible a lo largo del tiempo cuando ya se perdió la humedad que se incluye con la basura, considerar al relleno como una esponja que entonces alcanzará su capacidad de retención de agua, en este momento ya no es posible que absorba más agua y alcance un estado estacionario en donde  $ds/dt = 0$  y el volumen del lixiviado que se genera es:

$$L = P - R - E$$

Ejemplo:

Calcular el volumen de lixiviado que se genera anualmente (en litros) en un relleno sanitario de  $40,470 \text{ m}^2$ , la precipitación anual es  $30 \text{ cm/año}$ , la superficie del relleno es arenoso con una pendiente del 7% (coeficiente de escurrimiento 0.71) y E es  $10 \text{ cm/año}$ .

$$L = \left[ \frac{30 \text{ cm}}{\text{año}} - 0.71 \left( \frac{30 \text{ cm}}{\text{año}} \right) - \frac{10 \text{ cm}}{\text{año}} \right] * 40,470 \text{ m}^2 * \frac{\text{m}}{100 \text{ cm}} * \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} = 6.0 * 10^6 \text{ l por año}$$

Algunas plantas de tratamiento de aguas residuales aceptan lixiviados de los rellenos, pero los operadores limitan cuidadosamente las cantidades que ingresan a la planta para no alterar los procesos biológicos.

## BIOGAS

Es una mezcla de los elementos generados por la descomposición anaerobia de los residuos sólidos entre estos los de mayor relevancia son el metano y el bióxido de carbono. Este proceso se caracteriza por la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos por efecto de los microorganismos anaerobios y los facultativos, en ausencia de oxígeno disponible.

La descomposición se presenta en tres fases: 1° Una fase corta aeróbica, en donde se generan productos característicos de esta fase tales como bióxido de carbono, agua, nitratos y nitritos, 2° Otra fase anóxica, en la que se agota el oxígeno de los nitratos y nitritos y 3° La fase anaeróbica, en donde los elementos típicos son: ácidos orgánicos, nitrógeno, bióxido de carbono, metano y en pequeña proporción ácido sulfhídrico.

El biogás generado, generalmente esta compuesto entre el 50 al 60% de metano aunque en ocasiones puede ser más elevado y 40 - 50% de dióxido de carbono además de trazas de gases. Otros gases presentes en pequeñas cantidades son el ácido sulfhídrico, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, monóxido de carbono, amoníaco e hidrocarburos.

El gas producido forma una mezcla inflamable al alcanzar concentraciones entre el 7 al 21% con el aire, por esta razón los rellenos sanitarios se diseñan y construyen con sistemas de captación, evacuación y eliminación controlada de gases, evitándose los riesgos de incendios o explosiones ya sea en el propio relleno o en sus alrededores. Por otra parte su poder calorífico lo presenta como un recurso energético bastante atractivo que se aprovecha en muchos países.

Los gases producto de la descomposición anaerobia deben ser desalojados (figura 11.7 y 11.8), lo que se hace por medio de "chimeneas" formadas con tubos perforados o, formando ductos permeables con ladrillos; si el gas no se aprovecha, las chimeneas quedarán independientes, en caso contrario estarán unidas mediante líneas de conducción.

La red de tuberías puede estar distribuida en la parte superior del relleno, cubierta de grava o enterradas verticalmente hasta la base del relleno igualmente cubiertas de grava, en las siguientes figuras se indican las características de las tuberías.

Ejemplo:

A lo largo de un periodo de tres años, los residuos de una población de 100,000 habitantes han sido colocados en un relleno sanitario con un sistema de recuperación de gas. Esta práctica continuará en el futuro previsible, de modo que se espera un suministro constante de gas con 55% de metano (CH<sub>4</sub>). Se tienen 50 casas solas con calefacción de petróleo. Las viviendas consumen un promedio de 100 x 10<sup>6</sup> kJ de energía calorífica durante el año y tienen una demanda máxima durante el mes más frío de 2 ½ veces el promedio.

¿Habrá suficiente gas de relleno sanitario disponible para calentar estas casas?

Los supuestos son los siguientes:

- Cantidad de residuos sólidos municipales entregados en el predio = 1 tonelada métrica/persona por año.
- Producción total de gas = 200 L de CH<sub>4</sub> por kilogramo de desechos a lo largo de 30 años.
- La recuperación de gas será de al menos el 15% del que se genera (esto es, 30 L de CH<sub>4</sub> por kg de desecho).
- Al menos un tercio de este gas se generará dentro de los primeros 5 años.
- La eficiencia de conversión de los hornos de gas es de 75%.
- El primer año en el que las casas estén conectadas será el más crítico, porque el gas disponible dependerá de la provisión de tres años de residuos que ya están enterrados. Por tanto, esta cantidad de residuo se usará como base para los cálculos.

La cantidad anual de residuos sólidos producidos es de 100,000 toneladas métricas/año, así que la cantidad total en tres años es de 300,000 toneladas métricas. La cantidad total de CH<sub>4</sub> que se produce en tres años a partir de la provisión original de tres años de residuos es

$$\frac{200 \text{ L} \times 1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times 300,000 \text{ toneladas métricas} \times \frac{1,000 \text{ kg}}{\text{tonelada métrica}} = 6 \times 10^7 \text{ m}^3$$

La recuperación de CH<sub>4</sub> es el 15% = 9 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, de modo que la tasa de recuperación durante los primeros cinco años es

$$\frac{1}{3} \times \frac{9 \times 10^6 \text{ m}^3}{5 \text{ años}} = 600,000 \text{ m}^3 / \text{año}$$

(Advierta que 600,000 m<sup>3</sup>/año = 2 L de CH<sub>4</sub> por kg de desechos, un valor muy conservador en comparación con los 2.5 a 3.7 L/kg informados [Emcon Associates, 1980].)

La energía disponible para calefacción a un 75% de eficiencia = 450,000 m<sup>3</sup>/año, de modo que el contenido de energía del combustible (55% de CH<sub>4</sub>) es

$$\frac{450,000 \text{ m}^3 / \text{año}}{0.55} \times 16,800 \text{ kJ/m}^3 = 13.8 \times 10^9 \text{ kJ/año}$$

Puesto que la necesidad térmica por vivienda durante el periodo de máxima demanda es de 250 x 10<sup>6</sup> kJ/año, el número de casas a las que se puede dar servicio es

$$\frac{13.8 \times 10^9 \text{ kJ/año}}{250 \times 10^6 \text{ kJ/año}} = 55 \text{ casas}$$

En consecuencia habrá suficiente gas de relleno sanitario para calentar las casas y con 100,000 toneladas métricas de desecho adicional que se depositan cada año, la cantidad de gas recuperable irá en aumento durante muchos años. Sería conveniente construir un depósito para almacenar el biogás.

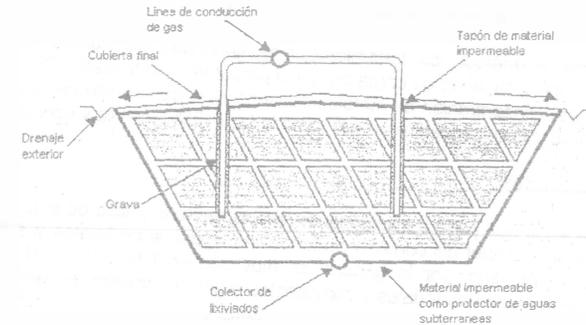


FIG. 11.7 Control de gases por medio de tuberías verticales con aprovechamiento

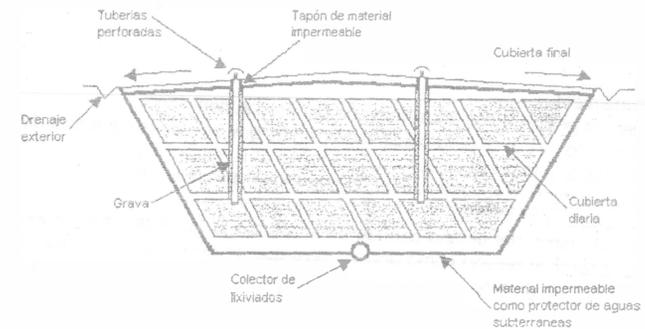


FIG 11.8 Tuberías verticales control de gases sin aprovechamiento

### 11.6 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

#### 1.- REQUERIMIENTOS VOLUMÉTRICOS:

Estos deberán obtenerse para los años estimados, mediante los volúmenes totales anuales y acumulados, tanto de los RSM, como del material de cubierta, empleando para ello la proyección de generación de residuos y pesos volumétricos establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 11.1 DENSIDADES RECOMENDADAS PARA DISEÑO DE CELDAS

No. DE HABITANTES	PARA DISEÑO DE CELDA DIARIA (Ton/m <sup>3</sup> )	PARA EL CALCULO DE VIDA UTIL (Ton/m <sup>3</sup> )
Hasta 500,000 habitantes	0.500	0.750
Mayores de 500,000 habitantes	0.600	0.900

#### Ejemplo:

Suponiendo los desechos y densidades que señalan en el siguiente cuadro, determinar que porcentaje del volumen se reduce durante la compactación en el relleno considerando que no existe otro tipo de componentes.

COMPONENTE	PESO %	DENSIDAD DE COMPACTACIÓN Kg/m <sup>3</sup>
Papel vario	50	61.1
Desechos de jardín	25	71.4
Vidrio	25	295

a).- La compactación en el relleno es de 750 Kg/m<sup>3</sup>,

$$\frac{50 + 25 + 25}{\frac{50}{61.1} + \frac{25}{71.4} + \frac{25}{295}} = \frac{100}{0.82 + 0.35 + 0.085} = 79.7 \text{ Kg/m}^3$$

Entonces  $\frac{79.7}{750} = 0.11\%$

b).- En el caso de que se remueva el papel

$$\frac{25 + 25}{\frac{25}{71.4} + \frac{25}{295}} = \frac{50}{0.35 + 0.085} = 115 \text{ Kg/m}^3 \quad \frac{115}{750} = 0.15\%$$

#### 2.- CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DEL PREDIO:

Este deberá realizarse considerando la configuración topográfica que presente el predio donde se alojara el relleno, así como sus niveles de desplante. Se deberá considerar para cada curva de nivel la capacidad volumétrica parcial y acumulada.

#### 3.- VIDA DEL SITIO:

El calculo de la vida útil del sitio se obtendrá por medio de: 1° La capacidad volumétrica total, 2° La capacidad de residuos a disponer y 3° El volumen del material de cubierta requerido.

$$U = V / (365 Gt)$$

Donde:

U = Vida útil del relleno sanitario, en años

V = Volumen del sitio seleccionado, en metros cúbicos

Gt = Volumen ocupado por la cantidad total diaria de residuos sólidos a disponer más la cantidad de materiales de cubierta, en m<sup>3</sup>/día.

#### 4.- DIMENSIONES DE CELDA DIARIA:

**Altura:** la máxima deberá ser de 3.00 m incluyendo el espesor de los residuos a disponer y el material de cubierta requerido.

**Ancho:** (frente de trabajo) deberá estar determinado por la longitud necesaria para el funcionamiento adecuado y la ejecución de maniobras del equipo, tanto de compactación como de transporte.

Para poblaciones hasta 250,000 hab. el ancho se determina:

$$F = 0.0333 \text{ NTX}$$

F = Longitud del frente de trabajo en metros

N = Número de vehículos recolectores en hora pico

T = Tiempo promedio de descarga de cada vehículo, en minutos

X = Ancho de los vehículos recolectores

Para poblaciones mayores de 250,000 hab. el ancho mínimo se determina:

$$F = \sum_{i=1}^n (X_i)$$

F = longitud del frente de trabajo, (m)

$X_i$  = Ancho de la hoja tapadora de cada una de las maquinas que se utilizarán simultáneamente, (m)

i = Numero de equipos.

**Largo :** Se deberá calcular en función de la altura y el ancho previamente determinados, conforme a la siguiente ecuación:

$$L = \frac{V}{WA}$$

L = Largo de la celda, (m)

V = Volumen de la celda, (m<sup>3</sup>)

W = Ancho de la celda, (m)

A = Altura de la celda, (m)

#### 5.- Construcción de celdas.

**Método de área:** Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del sitio y se avanza hasta terminar con el otro extremo, cuando existan ondulaciones y depresiones en el terreno deberán ser utilizados como respaldo conforme a las primeras celdas de una determinada capa constructiva.

Criterio constructivo:

- I.- Se prepara el terreno para trabajarlo a base de terrazas y al mismo tiempo extraer material para cubierta.
- II.- El frente de trabajo o ancho de la celda se calculará de acuerdo a lo establecido en el punto 4.
- III.- Los cortes al terreno se harán, siguiendo la topografía del sitio para formar terrazas y aprovechar al máximo el terreno.
- IV.- El talud de la celda diaria tendrá una relación de 1:3, ángulo de 18°
- V.- Cada celda del relleno será contigua con la del día anterior y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denominarán **franjas**. Estas celdas se construirán de acuerdo con la topografía del sitio.
- VI.- Las franjas al irse juntando formaran **capas**, estas se construirán considerando la altura del sitio disponible para el relleno y al ubicarse en el plano de construcción, se calendarizan y se numeran de abajo hacia arriba usando 3 subíndices, uno indicando capa, el segundo indicara la franja y un tercero para la celda diaria.
- VII.- Las cubiertas intermedias que sirven de separación de las celdas diarias serán de 30 cms. el espesor de la cubierta debe de ser de 60 cm.
- VIII.- La compactación de los residuos dependerá de su composición, del grado de humedad y del equipo utilizado, para obtener entre un 50 a 70 por ciento de reducción de su volumen.

- IX.- Las cubiertas tendrán una pendiente del 2% para el drenado adecuado que impidan el paso del agua, para evitar la erosión se deberán revegetar con especies propias de la región.

**Método de trinchera:** Las celdas se construirán sobre la base del talud de la trinchera donde los residuos son compactados en capas inclinadas, posteriormente será cubierta con material excavado de la futura trinchera.

Criterio constructivo:

- I.- La profundidad mínima de la trinchera será de 2.00 m. de los cuales 1.50 m. será de residuos y el resto de material de cubierta
- II.- La trinchera deberá contar con una pendiente del 2% que permita el drenado de la excavación a lo largo de toda su longitud.
- III.- El ancho de la trinchera será como mínimo de 9.00 m. para facilitar la descarga de los camiones y la operación de la excavación de la maquina.
- IV.- El procedimiento constructivo, será el mismo a partir del punto IV de los criterios de construcción de las celdas por el método del área.

En la figura 11.9 se presenta la secuencia de operaciones para la construcción de las celdas.

#### 6.- Construcción de sistemas reticulares de recolección de gas.

Tabla 11.2 Parámetros para sistemas de recolección de gas.

PARÁMETRO		RECOMENDACIÓN
Profundidad del pozo		75% de la profundidad o a partir del nivel del lixiviado, lo que sea primero.
Perforaciones:	Profundidad	1/3 a 2/3 del fondo, mínimo a 7 m. a bajo de la superficie.
	Ranuras	1/4" en "tres bolillo " y separación vertical entre 15 y 20 cms. @
Tubería:	Diámetro	3" a 8"
	Material	PVC o polietileno de alta densidad
Diámetro del pozo (en caso de ser excavado)		3 a 6 metros, (el tubo rodeado con grava para mejorar la captación)
Distribución de pozos		Uno por cada 2,000 a 8,000 m <sup>2</sup>
Área de influencia del pozo		30 a 70 metros de radio
Pendiente de tubos recolectores		3 por ciento (mínimo)

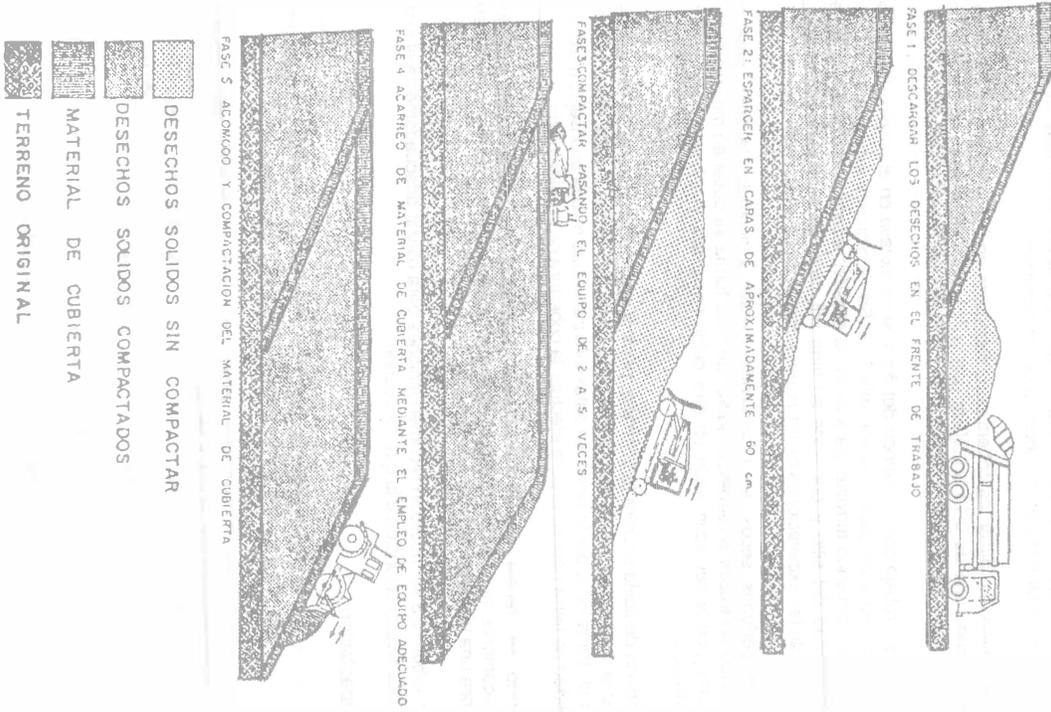


FIG. 11.9 Operación para construcción de celdas

	PESO DE RESIDUOS SÓLIDOS KG	VOLUMEN SUELTO EN RECIPIENTES M <sup>3</sup>	FACTOR DE COMPACTACION	VOLUMEN EN RELLENO
Materia orgánica	150	0.52	0.33	.1716
Papel	400	4.90	0.15	.35
Cartón	40	0.81	0.18	.1458
Plástico	30	0.47	0.10	.047
Textiles	20	0.31	0.15	.046
Caucho	5	0.04	0.30	.012
Cuero	5	0.03	0.30	.009
Basura de jardín	120	1.16	0.20	.232
Madera	20	0.08	0.30	.024
Vidrio	80	0.41	0.40	.164
Latas	60	0.68	0.15	.102
Metales no ferrosos	10	0.06	0.15	.009
Metales ferrosos	20	0.06	0.30	.018
Tierra, cenizas, piedras	40	0.08	0.75	.06
TOTAL	1000	9.61 m <sup>3</sup>		1.7759 m3

EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LOS RESIDUOS EN UN RELLENO SANITARIO

### 11.7 FRENTE DE TRABAJO

Para la selección del equipo y maquinaria que será utilizada en el frente de trabajo es conveniente tomar en consideración las recomendaciones señaladas en el capítulo 11.8 y en especial lo indicado en la figura 11.16, en relación con la evaluación del equipo que se hará de acuerdo a la actividad a realizar y al material que se manejará.

#### Operación

Se denomina frente de trabajo al sitio donde los vehículos que transportan la basura, descargan para el posterior relleno, también se denominan frente de vertido. La operatividad de este frente debe verificarse en todo momento, inclusive con intensas lluvias.

Para la operación debe seguirse lo indicado en la NOM-084-ECOL-1995 (anexa en el capítulo 12), sin embargo a continuación se presentan algunas consideraciones:

El esparcimiento y compactación se realizan en capas horizontales y los taludes con una pendiente 1:3 lo cual proporciona un mayor grado de compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra, mejor contención y estabilidad del relleno.

Al iniciar la operación en el frente de trabajo siempre se debe proporcionar contención al relleno (dar una superficie de confinamiento a la masa de residuos antes de depositarla) apoyando cada celda en el talud del terreno natural o paredes de la trinchera durante el avance sobre la celda ya terminada.

El drenaje de las aguas del sector debe ser inmediato y conducido al sistema de drenaje. Si las condiciones naturales del suelo lo requieren la superficie sobre la cual se depositará la basura será impermeabilizada, para ello se podrán emplear arcillas del lugar y de ser necesario se utilizará una capa de polietileno de espesor variable entre 250 a 500 micrones debidamente soldada, simultáneamente se perfilarán las superficies con las pendientes proyectadas y se construirán las zanjas correspondientes para la recolección del percolado.

Estas zanjas pueden rellenarse con piedra partida y eventualmente con arena. También se pueden colocar tuberías de PVC perforadas. Mediante pendientes suaves los líquidos deben escurrir al área de almacenamiento o al carcamo de los lixiviados.

#### Cobertura

Para concluir la celda, se le cubre con una capa de tierra y se le compacta. Conviene recordar que la cobertura diaria evita la presencia de insectos, roedores y otros vectores, así como el fuego, gases y malos olores, humedad y la basura dispersa, es importante que al terminar la jornada diaria no debe quedar ningún desecho sólido expuesto y menos aun, al final de la semana. En cuanto a la calidad del material de cobertura para un relleno

sanitario, se recomienda aprovechar la tierra que se encuentra mas accesible, puesto que el objetivo fundamental es la cobertura de los desechos.

Se recomienda realizar las coberturas intermedias de 0.30 m y la final de 0.60 m en dos etapas, cada una de 0.15 a 0.30 m con un intervalo de un mes aproximadamente para tratar de cubrir los asentamientos que se produzcan en la primera capa.

Cuando se trabaja con el método del área, si se excava en el propio sitio, los costos de acarreo de tierra de cobertura son mínimos. Se recomienda extraerla de los taludes del terreno conformando terrazas para evitar la erosión; además resulta aconsejable ampliar la capacidad del sitio y por ende su vida útil, también se puede aprovechar la tierra sobrante de las excavaciones de las nuevas construcciones del área urbana.

En los periodos secos, se recomienda extraer y acumular la tierra para cobertura utilizando un tractor o retroexcavadora, de esta forma se obtienen mejores rendimientos, la tierra puede ser acumulada en otra celda terminada y ahí descender a la celda en construcción.

En época de lluvia ocurrirá lo contrario, pues el material acumulado se va deslavando por arrastre y se torna mas pesado debido a la humedad, lo que implica mayores dificultades para su transporte, por lo tanto, en estas circunstancias resulta aconsejable extraer solo la cantidad de tierra necesaria para efectuar la cobertura de la celda diaria.

Cuando se trabaja con el método de la trinchera, el material de cobertura esta prácticamente asegurado, se recomienda acumularlo a un lado de la zanja en elaboración o sobre una ya terminada.

En la tabla 11.3 se muestran recomendaciones para utilizar adecuadamente el material de cubierta, según la función a la que se destine.

#### Compactación

Generalmente se compacta con maquinaria, sin embargo existen otros mecanismos que inciden en la compactación de residuos, entre los mas importantes se tienen:

- El transito de los vehículos sobre las celdas terminadas, esta practica debe estimularse en los periodos secos
- El proceso de descomposición de los desechos sólidos disminuye su volumen, en los países en desarrollo la materia orgánica ocupa un alto porcentaje de su composición física (entre el 40-70%) la que es transformada en humus, agua y gases
- El peso propio de las celdas superiores sobre las inferiores también produce una carga que aumenta el grado de compactación
- El peso del material de cobertura colocado sobre celdas terminadas también aumenta el grado de compactación

Tabla 11.3 Característica de materiales utilizados como cubierta

Función	Grava limpia	Grava limo arcillosa	Arena limpia	Arena limo arcillosa	Lirno	Arcilla
Prevención de roedores	B	R/B	B	M	M	M
Salida de moscas	M	R	M	B	B	E
Minimizar entrada humedad	M	R/B	M	B/E	B/E	E
Minimizar salida de gases	M	R/B	M	B/E	B/E	E
Apariencia y control de la celda	E	E	E	E	E	E
Vegetación	M	B	M/R	E	B/E	R/B
Permitir salida de gases	E	M	B	M	M	M

E: Excelente  
 B: Bueno  
 R: Regular  
 M: Malo

Para evitar la contaminación en la operación de los rellenos, es necesario vigilar las actividades que se realizan o administran, para determinar las fuentes de contaminación, que deberán ser controladas. La figura 11.10 es una guía de los pasos a seguir.

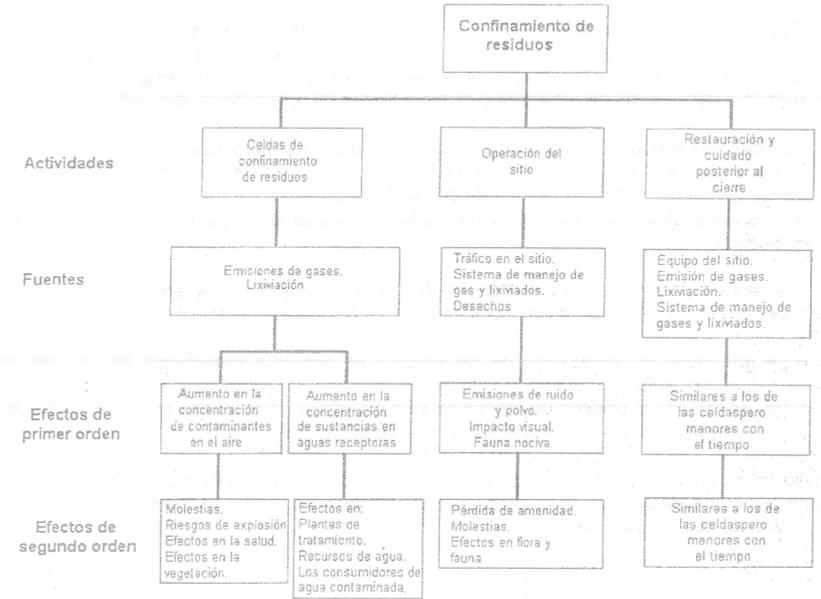


Figura 11.10 Confinamiento de residuos. Actividades y fuentes a controlar.

### 11.8 MAQUINARIA Y EQUIPO

Al operar un relleno sanitario o vertedero será necesario contar con un parque adecuado para poder cumplir la totalidad de las tareas. Para ello se deberá disponer del equipo que realice las operaciones necesarias de forma económica y apropiada.

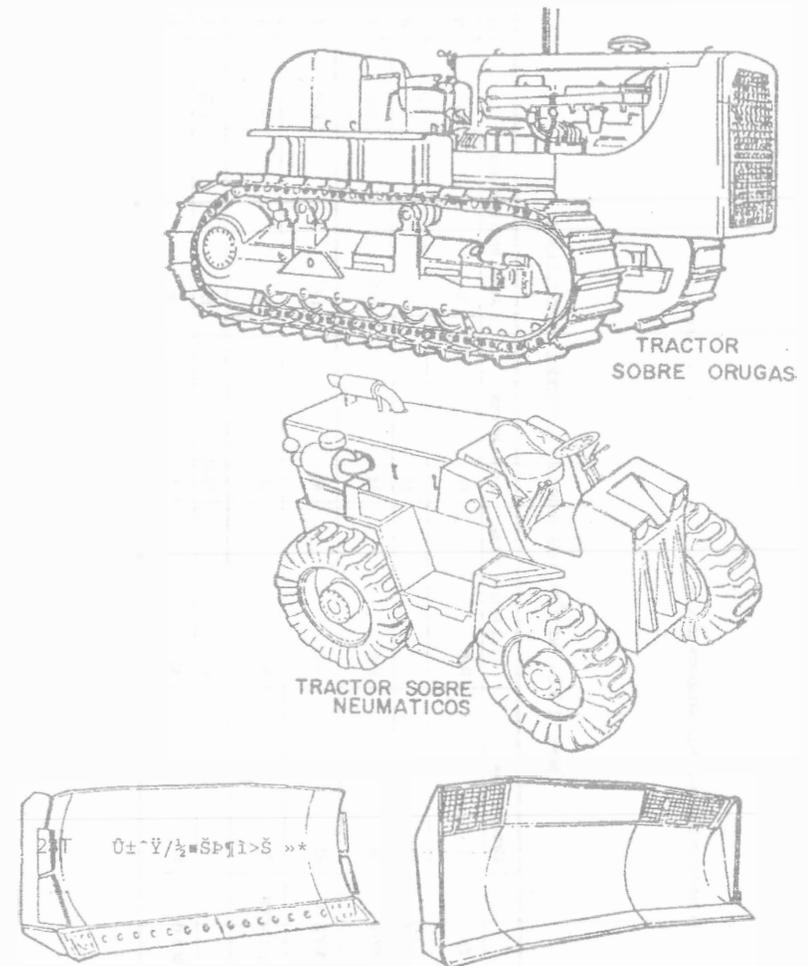
También se deberá establecer una dotación polifuncional para reemplazos que puedan producirse por distintas razones durante la operación del relleno a fin de asegurar la continuidad de su funcionamiento el equipo dependerá del tipo y cantidad de residuos recibidos del material de cobertura y de los métodos de operación dentro del vertedero.

Las basuras requerirán ser acomodadas y compactadas pero rara vez necesitarán ser trasladadas por el equipo de relleno a distancias superiores de treinta metros. El material de recubrimiento si puede necesitar para su traslado a distancias mayores, sin embargo ambos materiales necesitan ser compactados adecuadamente, durante y después de ser colocados.

Los requerimientos de equipo atienden el manejo de los residuos, en compactación, la cobertura, la construcción de terraplenes y el acondicionamiento de celdas.

Para garantizar la continuidad de los trabajos se aconseja incrementar en un 30% el equipo básico a fin de mejorar su vida útil. Una manera de compensar el costo del equipo extra, es recurrir al empleo de maquinas polifuncionales como puede ser el caso de una compactadora que también puede ser utilizada para conformar terraplenes.

De forma orientativa daremos unos datos sobre los diferentes tipos equipos a utilizar, sin olvidar que el estudio de la selección del equipo debe realizarse de forma local para cada relleno sanitario o vertedero



## CARGADORES FRONTALES

Básicamente este equipo es un tractor al cual se le adapta un cucharón con movimientos ascendentes y descendentes. Al igual que los tractores pueden ser sobre orugas o sobre llantas, siendo los de orugas lo más recomendables para rellenos al igual que los tractores.

Los cargadores sobre ruedas son normalmente utilizados para cargar el material de cubierta dentro de camiones para acarrearlo. También es posible que el cargador acarree el material en distancias hasta de 200 m. Debido a la forma y tamaño del cucharón no es muy recomendado para el tendido del material y su principal función será excavar y cargar.

Los cargadores frontales pueden estar equipados con dos tipos de cucharones: de propósito general o de propósito múltiple. El de propósito general es un cucharón de una sola pieza, mientras que el de propósito múltiple es de dos piezas articulado en la parte superior y de funcionamiento hidráulico; puede sujetar objetos tales como troncos, postes, etc.

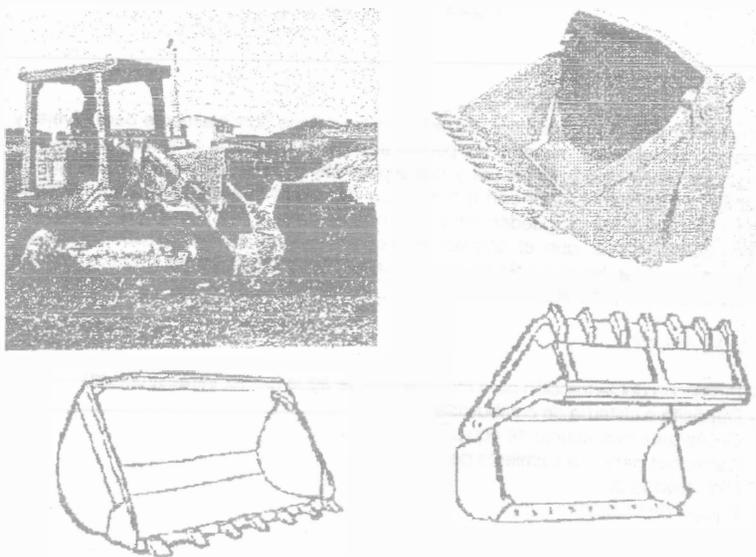


Figura 11.12 Cargador Frontal

## COMPACTADORES DE RELLENO SANITARIO

Estas máquinas son las más recomendables para rellenos sanitarios, ya que están provistas de ruedas de acero con cuchillas o pisones que ejercen mayor esfuerzo de compactación que las máquinas convencionales aumentando la densidad de los desechos. El compactador de rellenos es una máquina excelente para extender y compactar en un terreno plano y opera eficientemente en terrenos con pendientes moderadas, pero le falta tracción cuando opera en lomas empinadas o cuando excava. Su velocidad de operación en tendido y compactación de desechos en terreno plano es aproximadamente de 35 km/hr. pudiendo operar de igual forma hacia delante y en reversa.

La eficiencia de estas máquinas aumenta bastante cuando se utilizan únicamente para extender y compactación de desechos y de material de cubierta, pero esto será posible solo en grandes rellenos donde se requiera un gran número de equipos. Para rellenos pequeños una sola máquina realizará todas las labores, por lo que se debe elegir la que sea más versátil posible.

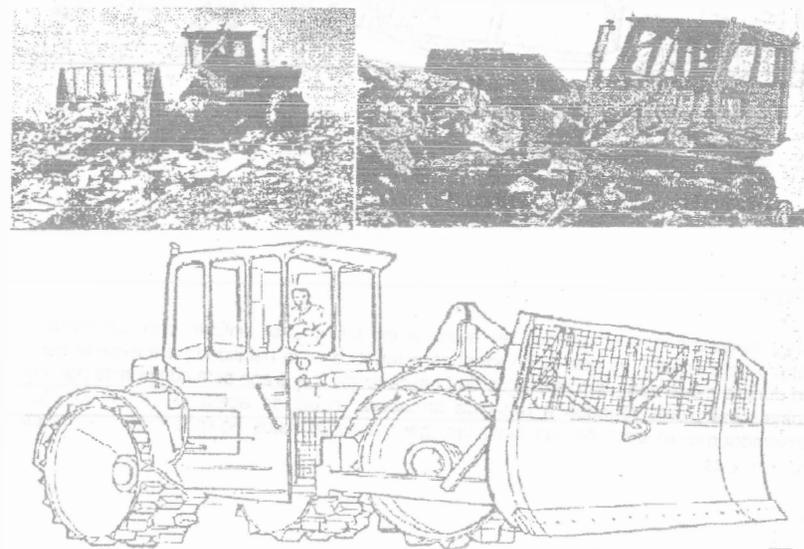


Figura 11.13 Compactador de rellenos sanitarios

## MOTOESCREPA

Este tipo de maquinaria es utilizada para acarreo de material a largas distancias. Su principal función en un relleno sanitario será excavar, acarrear y extender el material de cubierta. Este tipo de maquinaria se requiere principalmente donde los bancos de material de cubierta se encuentran a distancias mayores de 300 m. y el volumen de desechos a disponer sea lo bastante grande para que justifique el uso de este equipo.

La capacidad de estas máquinas es variable, para relleno se utilizan con capacidad de 10 a 14 metros cúbicos.

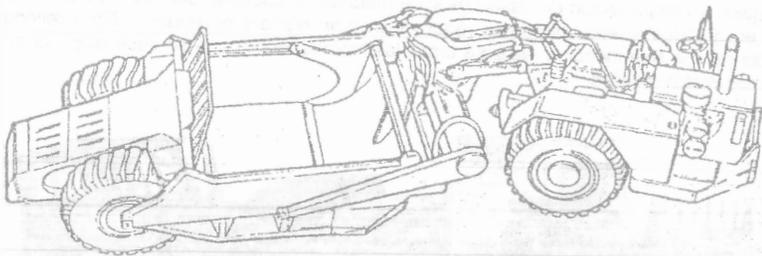


Figura 11.14 Motoescrepa

## DRAGA

Estas máquinas son empleadas en rellenos en los que se utilizan principalmente el método de trinchera, ya que su principal característica es la habilidad para excavar tierra con dureza moderada y arrojarla lejos de la excavación. La draga está compuesta por una cabina, una pluma formada a base de armadura, cable de acero (30 m de longitud aproximadamente) un bote con casquillo, generalmente estos equipos están montados sobre orugas.

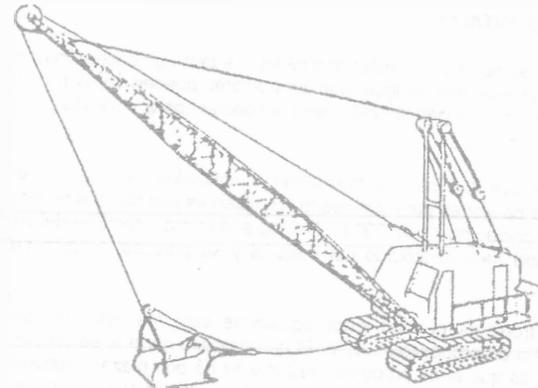


Figura 11.15 Draga

## MOTOCONFORMADORAS

Las motoconformadoras pueden ser utilizadas en un relleno principalmente para nivelar y conformar la cubierta final, dándole las pendientes y el acabado de proyecto, también se pueden utilizar para limpiar la basura y cascajo de los caminos de acceso. Constan de una cuchilla en la parte inferior con movimientos de giro en los dos sentidos (mediante una cremallera), sus llantas pueden inclinarse para trabajar sobre superficies que así lo requieran. Cabe señalar que el empleo de este equipo no es indispensable para un relleno, ya que un tractor con hoja topadora puede efectuar los mismos trabajos aunque con menos eficiencia y rapidez.

## EQUIPO DE APOYO

- 1.- Pipas con doble tracción para movimientos de agua (polvo, infraestructura)
- 2.- Depósito o cisterna de combustible
- 3.- Grúas para movimiento de equipo
- 4.- Camiones para el movimiento de tierras
- 5.- Hidrolavadoras
- 6.- Equipo de soldadura
- 7.- Torres de iluminación
- 8.- Bombas varias para desalojar líquidos.

EVALUACIÓN DEL EQUIPO

Debido a que existe una gran diversidad de equipos para el movimiento de tierras que pueden ser utilizados en las diversas etapas de la construcción de un relleno sanitario, se presenta la figura 11.16, en ella se evalúan los distintos equipos para las diferentes funciones, con esto se tiene un panorama más amplio para la elección de la maquinaria a utilizar.

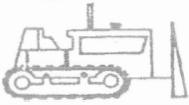
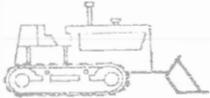
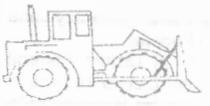
		DESECHOS SÓLIDOS		MATERIAL DE CUBIERTA			
		COMPACTAR		ESPARCIR		ESPARCIR	
		ESTABILIZAR		ESPARCIR		ESPARCIR	
	TRACTOR SOBRE ORUGAS CON HOJA TOPADORA (BULLDOZER)	E	B	E	E	B	NA
	TRACTOR SOBRE ORUGAS CON CUCHARÓN (CARGADOR FRONTAL)	B	B	E	B	B	NA
	COMPACTADOR DE RELLENOS SANITARIOS CON RUEDAS DENTADAS	E	E	P	E	E	NA
	TRACTOR SOBRE NEUMÁTICOS CON HOJA TOPADORA	E	B	R	E	B	NA
	TRACTOR SOBRE NEUMÁTICOS CON CUCHARÓN	B	B	R	B	B	NA
	MOTOESCREPA	NA	NA	B	E	NA	E
	DRAGALINA	NA	NA	E	R	NA	NA

Figura 11.16 Opciones de maquinaria para un relleno sanitario

ALGUNAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN RELLENO SANITARIO.

Ventajas

- 1.- Es la alternativa mas conveniente para la disposición de desechos sólidos.
- 2.- La inversión inicial regularmente es inferior a la que se requiere en cualquier otro método de disposición final, por ejemplo; incineración o compostación.
- 3.- Bajos costos de operación mantenimiento.
- 4.- Es un método completo y definitivo., en el cual se puede recibir todo tipo de desechos sólidos, excepto los materiales no susceptibles de descomposición.
- 5.- Generación de empleo.
- 6.- Recuperación económica de gas metano, para los rellenos sanitarios que reciben mas de 200 ton/día.
- 7.- Recuperación de terrenos, convirtiéndolos en útiles para la construcción de parques, campos deportivos, áreas verdes, etc.
- 8.- Funcionamiento a corto tiempo como método de eliminación.
- 9.- Es una obra flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes.

Desventajas

- 1.- Adquisición de terreno, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada por:
  - a. La falta de conocimiento sobre la técnica de relleno sanitario.
  - b. Desconfianza hacia las administraciones locales.
- 2.- Debido a la urbanización, los costos de los terrenos disponibles se encarecen, debiendo ubicar el relleno en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual incrementa los costos de transporte.
- 3.- Supervisión constante, para mantener un nivel de calidad adecuado en las operaciones.
- 4.- Alto riesgo de transformarlo en un tiradero de basura, cuando no se realiza la operación y mantenimiento (cuando no se cuenta con el financiamiento necesario).
- 5.- Eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, de no tomarse las medidas de control y seguridad adecuadas en la construcción y la operación.
- 6.- Los asentamientos diferenciales, principalmente en los dos primeros años, impiden que estos sitios sean utilizados para uso habitacional.

## INGENIERÍA SANITARIA APLICADA AL CONTROL, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

### CAPITULO 12 ANEXOS

- 12.1 REGLAMENTO PARA EL SERVICIO DE LIMPIA EN EL DISTRITO FEDERAL.
- 12.2 NORMAS
- NMX-AA-15-1985 MUESTREO -MÉTODO DE CUARTEO
  - NMX-AA-16-1984 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD
  - NMX-AA-19-1985 PESO VOLUMÉTRICO "IN SITU".
  - NMX-AA-22-1985 SELECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SUBPRODUCTO.
  - NMX-AA-33-1985 DETERMINACION DE PODER CALORÍFICO SUPERIOR.
  - NMX-AA-61-1985 DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN
  - NOM-083-ECOL-1996 CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
  - NOM-084-ECOL-1994 DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO Y LA CONSTRUCCIÓN DE SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS
- 12.3 METODOLOGIA RESUMIDA PARA EL ANÁLISIS DE RESIDUOS SÓLIDOS (MUESTREO, DENSIDAD, PRODUCCIÓN PER CAPITA POR DÍA POR PPC, COMPOSICIÓN FÍSICA EN BASE HUMEDA, PRUEBA DE HUMEDAD Y PODER CALORÍFICO.
- 12.4 RELLENO SANITARIO MANUAL PARA PEQUEÑAS POBLACIONES.
- 12.5 GUIA PARA EL DIAGNOSTICO DE UN SERVICIO DE ASEO URBANO

### 12.1 REGLAMENTO PARA EL SERVICIO DE LIMPIA EN EL DISTRITO FEDERAL

#### REGLAMENTO para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal\*.

(Publicado en el Diario Oficial de la federación el 27 de julio de 1989).

Al margen un sello con el Escudo Nacional que dice: Asamblea de Representantes del Distrito Federal.- Oficialia mayor.

LA ASAMBLEA DE REPRESENTANTES DEL DISTRITO FEDERAL, EN EJERCICIO DE LA FACULTAD QUE LE CONFIERE EL ARTICULO 37, FRACCION VI, BASE 3ª ; INCISO a) DE LA CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, EXPIDE:

#### REGLAMENTO PARA EL SERVICIO DE LIMPIA EN EL DISTRITO FEDERAL

##### CAPITULO I DISPOSICIONES GENERALES.

**ARTICULO 1o.-** El presente Reglamento es de orden social e interés general y tiene por objeto regular la prestación del servicio de limpia en el Distrito Federal.

**ARTICULO 2o.-** La prestación del servicio de limpia en el Distrito Federal constituye un servicio público. Estará a cargo del Departamento del Distrito Federal, a través de las Delegaciones y unidades administrativas centrales, en los términos de la Ley Orgánica del propio Departamento y de su Reglamento Interior.

**ARTICULO 3o.-** Para los efectos del presente Reglamento se entenderá por:

- I. Departamento: El Departamento del Distrito Federal;
- II. Delegación: Las Delegaciones del Departamento del Distrito Federal;
- III. Reglamento: El presente Ordenamiento;
- IV. Residuo Sólido: El material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control y tratamiento de cualquier producto, cuya calidad no permite usarlo nuevamente en el proceso que lo generó; que no esté considerado como residuo peligroso de acuerdo a la normatividad emitida oficialmente por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, y que provenga de actividades que se desarrollen en domicilios, mercados, establecimientos mercantiles, industrias, vías públicas y áreas comunes, y
- V. Áreas comunes: Son los espacios de convivencia y uso general de los vecinos del Distrito Federal.

\* Ya se tienen integradas las correcciones señaladas en la "Fe de erratas" publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de Octubre de 1987.

**ARTICULO 4o.-** El Departamento, para el debido cumplimiento de la prestación del servicio de limpia, coordinará la colaboración de los vecinos del Distrito Federal y de las organizaciones de colonos, asociaciones de comerciantes, industriales o representativas de cualquier sector organizado de la población.

**ARTICULO 5o.-** Corresponde al Departamento:

- I. Prestar el servicio de limpia;
- II. Aplicar las normas técnicas ecológicas vigentes para la recolección, tratamiento y disposición de residuos sólidos no peligrosos;
- III. Dar mantenimiento a los contenedores;
- IV. Concertar con los medios de comunicación masiva y con los sectores social y privado, en coordinación con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, la realización de campañas la Asamblea de Representantes del Distrito Federal;
- V. Diseñar, construir y operar directamente o bajo el régimen de concesión, estaciones de transferencia, plantas de tratamiento de residuos sólidos y sitios de disposición final, y
- VI. De considerarlo necesario y conveniente por las exigencias de la ciudad y sus habitantes, concesionar la prestación del servicio público de limpia de acuerdo con las disposiciones de su Ley Orgánica y de lo dispuesto en el primer párrafo del Artículo 10 de este Reglamento.

**ARTICULO 6o.-** Corresponde al Departamento por conducto de las

Delegaciones:

- I. Nombrar al personal necesario y proporcionar los elementos, equipos, útiles y en general todo el material indispensable para efectuar el barrido manual y mecánico, así como la recolección de los residuos sólidos; su transporte a las estaciones de transferencia, planta de tratamiento o sitio de disposición final, según lo indique la unidad administrativa central competente del Departamento;
- II. En términos del artículo 4o., coordinar a los vecinos que auxiliarán a las Delegaciones en la vigilancia y cumplimiento del presente Reglamento. Tales vecinos tendrán el carácter de Inspectores Honorarios;
- III. Organizar administrativamente el servicio público de limpia y formular el programa anual del mismo;
- IV. Instalar contenedores de residuos sólidos, depósitos metálicos o similares, en los lugares que previamente se hayan seleccionado en base a estudios. Se supervisará en forma periódica el buen funcionamiento de los mismos;
- V. Atender oportunamente las quejas del público y dictar las medidas necesarias para su mejor y pronta solución;
- VI. Establecer rutas, horarios y frecuencias en que debe prestarse el servicio público de limpia pudiendo, después de escuchar a los vecinos, modificarlos de acuerdo a las necesidades de dicho servicio;
- VII. Aplicar las sanciones que correspondan por violaciones al presente Reglamento, y
- VIII. Las demás que en la materia le otorguen el Reglamento y otros ordenamientos aplicables.

**ARTICULO 7o.-** El cargo de Inspector Honorario será de servicio social, y lo cumplirá el vecino a quien se le confirió en los horarios que les resulten más convenientes. Ya que su función no será considerada como administrativa, no percibirán remuneración alguna y en ningún caso podrán aplicar sanciones ni intervenir directamente con carácter ejecutivo en la aplicación de este Reglamento.

**ARTICULO 8o.-** Corresponde a los inspectores Honorarios:

- I. Informar a la Delegación sobre la existencia de sitios no autorizados en los que se depositen residuos sólidos, a efecto que se tomen las medidas pertinentes para su recolección, ya sea instalando nuevos depósitos, ampliando los existentes, colocando con tenedores, modificando las fechas y honorarios de recolección u orientando a la población sobre la ubicación de los sitios de depósito autorizados;
- II. Comunicar a la Delegación los nombres o manera de identificar a las personas que en forma reiterada depositen residuos sólidos en sitios no autorizados. La Delegación verificará en todos los casos la veracidad de esa información;
- III. Informar a la Delegación de cualquier violación a las normas de este Reglamento para que se tomen las medidas que correspondan, y
- IV. Informar a la Delegación sobre las deficiencias o carencia del servicio.

**ARTICULO 9o.-** Los contenedores de residuos sólidos, depósitos metálicos o similares a que se refiere la fracción IV del Artículo 6o. de este Reglamento, deberán cumplir con lo siguiente:

- I. Que su capacidad esté en relación con la cantidad de residuos sólidos que deba contener, atendiendo a la superficie asignada y tomando en cuenta las necesidades del caso,
- II. Que su construcción sea de material resistente;
- III. Que sean revisados y aseados regularmente para un adecuado mantenimiento, a fin de que no se favorezca la procreación de fauna nociva y de microorganismos perjudiciales para la salud, así como evitar la emisión de olores desagradables, y
- IV. Deberán tener la inscripción alusiva a su uso y podrán contener, además propaganda comercial y del servicio de limpia, cuando sea autorizado por concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal a través del Departamento.

**ARTICULO 10.-** El servicio de recolección de residuos sólidos domiciliarios será gratuito.

- I. En el caso de establecimientos mercantiles, industriales o similares cuyo volumen de residuos sólidos generados por día, sea superior a 200 Kg., los propietarios, poseedores o administradores podrán convenir con la Delegación correspondiente la recolección y transporte de dichos residuos, cubriendo los derechos que para el efecto establezca la Ley de Hacienda del Departamento del Distrito Federal.
- II. En el supuesto de que no se convenga en los términos señalados en la fracción anterior, los propietarios, poseedores o administradores deberán sufragar los costos de recolección y transporte de los residuos sólidos, a los lugares que determine la Delegación respectiva, debiendo observar las condiciones de higiene que establezcan las disposiciones sanitarias aplicables.

Los usuarios procuraran separar los desechos sólidos en orgánicos e inorgánicos, de conformidad con el procedimiento que al efecto emita el Departamento.

## CAPITULO II

### DE LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO PUBLICO DE LIMPIA.

**ARTICULO 11.-** El servicio de limpia comprende:

- I. El barrido de vías públicas y áreas comunes;

- II. La recolección de residuos sólidos, y
- III. El diseño, instrumentación y operación de sistemas de almacenamiento, transporte, reuso, tratamiento y disposición final de dichos residuos.

**ARTICULO 12.-** El barrido de vías públicas y áreas comunes se hará por lo menos tres veces por semana, conforme a los horarios que señale el departamento, los cuales deberán fijarse preferentemente entre las 22:00 horas y 14:00 horas del día siguiente.

**ARTICULO 13.-** La recolección de residuos sólidos deberá realizarse por lo menos tres veces a la semana, en los horarios y días que fije la Delegación.

La Delegación deberá informar periódicamente a la población las fechas y horas fijadas, mediante su publicación en mamparas o cartelones colocados en los sitios destinados para la recolección de residuos sólidos y, en dos de los diarios de mayor circulación o a través de cualquier otro medio masivo de comunicación.

**ARTICULO 14.-** El Departamento vigilará la operación de depósitos especiales u hornos incineradores en hospitales, clínicas, sanatorios, consultorios médicos, mercados y establecimientos públicos que lo requieran. Estos deberán cumplir con las condiciones de seguridad e higiene que establece la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente; la Ley de Salud y el Reglamento de Construcciones, ambos para el Distrito Federal, y demás ordenamientos aplicables. En dichos hornos se incinerarán únicamente los desechos que por su naturaleza lo requieran.

En ningún caso las Delegaciones recolectarán residuos sólidos clasificados como peligrosos.

**ARTICULO 15.-** Cuando existan hornos incineradores en los términos del artículo anterior, el Departamento únicamente estará obligado a recolectar los residuos sólidos que tengan una temperatura de combustión superior a 700 grados centígrados.

**ARTICULO 16.-** El Departamento podrá procesar los residuos sólidos o disponerlos en relleno sanitario. En ningún caso permitirá tiraderos a cielo abierto.

**ARTICULO 17.-** Las actividades de selección de subproductos, sólo se realizará en los sitios de tratamiento y disposición final de los residuos sólidos y podrán hacerlo las personas, empresas u organizaciones que para tal efecto sean autorizadas por el Departamento que además supervisará las actividades de selección en dichos lugares.

**ARTICULO 18.-** Cuando por razones de orden económico y de interés general; los residuos sólidos puedan ser aprovechados industrialmente, el aprovechamiento quedará sujeto a las disposiciones legales vigentes previo el otorgamiento de la concesión respectiva, la cual autorizará construcciones, procesos y procedimientos que no afecten el ambiente ni la salud pública.

**ARTICULO 19.-** Para el servicio de limpia del Distrito federal se adoptará un distintivo general aprobado por el departamento y se usará en todos los equipos.

**ARTICULO 20.-** Los empleados del servicio de limpia estarán provistos del distintivo que se apruebe y de credencial que contenga su categoría, nombre, firma o huella digital, una fotografía adherida y sellada por el Departamento, y usará uniforme, así como el casco protector en los casos que se requiera.

### CAPITULO III DE LAS OBLIGACIONES.

**ARTICULO 21.-** Es obligación de los habitantes del Distrito Federal y de las personas que transiten por su territorio, el participar activamente para conservar limpias las vías públicas y áreas comunes de esta entidad.

**ARTICULO 22.-** Los habitantes del Distrito Federal deberán:

- I. Barrer diariamente las banquetas de los frentes de sus viviendas o establecimientos industriales o mercantiles, y

- II. Mantener limpios los terrenos de su propiedad que no tengan construcción, a efecto de evitar contaminación y molestias a los vecinos.

**ARTICULO 23.-** Los locatarios de los mercados conservarán aseadas las áreas comunes de los mismos y el espacio comprendido dentro del perímetro de sus puestos, dejando los residuos sólidos en los depósitos o contenedores destinados para ello, quedando la obligación de vigilar que sean retirados diariamente, en la persona del administrador del mercado.

**ARTICULO 24.-** Los propietarios o encargados de expendios y bodegas de toda clase de artículos, cuya carga o descarga ensucie la vía pública, están obligados al aseo inmediato del lugar una vez terminadas las maniobras respectivas.

**ARTICULO 25.-** Los conductores de vehículos destinados al transporte de materiales, deberán cubrir la caja de sus vehículos con el equipo adecuado para evitar que la carga se esparza en el trayecto que recorran.

Quando los materiales que se transporten corran el peligro de esparcirse o producir polvo, deberán cubrirse con lonas o costales húmedos.

**ARTICULO 26.-** Los conductores de los vehículos de transporte de materiales, deberán barrer el interior de la caja del vehículo una vez que hayan terminado su recorrido o hayan descargado los materiales respectivos, para evitar que se escapen polvos, desperdicios o residuos sólidos, durante el recorrido de regreso.

**ARTICULO 27.-** Los propietarios o encargados de puestos fijos y semifijos establecidos en la vía pública, deberán tener limpia permanentemente el área que ocupe para su actividad, debiendo depositar los residuos sólidos que se produzcan en los recipientes que para tal objeto instalen.

**ARTICULO 28.-** Los propietarios o encargados de establos, caballerizas o cualquier otro local o sitio destinado al alojamiento de animales, están obligados a transportar diariamente el estiércol producido, llevándolo por cuenta propia a los depósitos señalados previamente para ello.

**ARTICULO 29.-** Los propietarios o encargados de establecimientos y talleres para la reparación de automóviles, carpintería, pintura y otros establecimientos similares, deberán ejecutar sus labores en el interior de los establecimientos, y no en la vía pública y transportar por su cuenta al lugar que les indique la Delegación correspondiente, los residuos sólidos que generen, observando para tal efecto lo dispuesto en el Artículo 10 de este Reglamento.

**ARTICULO 30.-** Los propietarios o encargados de los expendios o bodegas de carbón o leña, están obligados mantener en perfecto estado de aseo el frente de sus establecimientos, así como evitar la propagación del polvo o residuos sólidos, poniendo especial cuidado en las maniobras de carga, descarga o despacho de dichos combustibles.

**ARTICULO 31.-** Los propietarios, directores responsables de obra, contratistas y encargados de inmuebles en construcción o demolición, son responsables solidariamente de la diseminación de materiales, escombros y cualquier otra clase de residuos sólidos. El frente de las construcciones o inmuebles en demolición deberán mantenerse en completa limpieza, quedando estrictamente prohibido acumular escombros y materiales en la vía pública. Los responsables deberán transportar los escombros a los sitios que determine el Departamento.

**ARTICULO 32.-** Los propietarios, administradores o encargados de los establecimientos que se dedican a la venta de gasolina o servicio de lubricación y limpieza de vehículos, deberán mantenerlos aseados, así como los pavimentos de la vía pública correspondientes al frente de sus locales.

**ARTICULO 33.-** Los propietarios, administradores o encargados de camiones y transporte colectivo en general, destinados al servicio de pasajeros y de carga, así como

de automóviles de alquiler, deberán mantener en perfecto estado de limpieza los pavimentos de la vía pública de sus terminales o lugares de estacionamiento.

**ARTICULO 34.-** Los propietarios, condominios, administradores, arrendatarios o encargados de edificaciones habitacionales, comerciales, industriales o públicas, mandarán colocar en los lugares que crean convenientes en el interior de sus muebles, los depósitos necesarios, a fin de que en ellos se recolecten los residuos sólidos, debiendo sacarlos a la banqueta en el horario que señale la Delegación, con el objeto de que su contenido sea recogido por el personal del vehículo recolector. Dichos depósitos deberán satisfacer las necesidades de servicio del inmueble, y cumplir con las condiciones de seguridad e higiene que, de conformidad con la Ley de Salud para el Distrito federal y demás ordenamientos aplicables, emita el Departamento

**ARTICULO 35.-** Los propietarios de animales domésticos estarán obligados a recoger y limpiar los desechos fecales que arrojen sus animales en las vías públicas y áreas comunes.

#### **CAPITULO IV DE LAS PROHIBICIONES.**

**ARTICULO 36.-** Queda prohibido:

- I. Arrojar o abandonar en la vía pública, áreas comunes, barrancas, y en general en sitios no autorizados, residuos sólidos de cualquier especie;
- II. Orinar o defecar en cualquier lugar público distinto de los autorizados para ese efecto;
- III. Arrojar a la vía pública animales muertos o desechos y sustancias tóxicas o peligrosas para la salud pública o que despidan olores desagradables;
- IV. Quemar en lugares no autorizados, cualquier tipo de residuos sólidos;
- V. Arrojar o abandonar en lotes baldíos, residuos sólidos de cualquier especie;
- VI. Extraer de los botes colectores, depósitos o contenedores instalados en la vía pública, los residuos sólidos que contengan;
- VII. Establecer depósitos de residuos sólidos en lugares no autorizados;
- VIII. Utilizar la vía pública como estancia de animales de cualquier especie, y
- IX. Todo acto u omisión que contribuya al desaseo de las vías públicas y áreas comunes o que implica la prestación del servicio de limpia.

#### **CAPITULO V DE LAS SANCIONES.**

**ARTICULO 37.-** El Departamento, a través de la Delegación correspondiente y en los términos de este capítulo, sancionará a quienes resulten responsables de las infracciones al presente Reglamento.

La imposición y cumplimiento de las sanciones no eximirá al infractor de la obligación de corregir las irregularidades que hayan dado motivo a dicha sanción.

**ARTICULO 38.-** Se exceptúa de lo ordenado por el artículo anterior la sanción a las prohibiciones contempladas en las fracciones I, II y III del Artículo 36 del presente Reglamento, que se impondrá en los términos del Reglamento de la Ley sobre Justicia en Materia de Faltas de Policía y Buen Gobierno del Distrito Federal.

**ARTICULO 39.-** El Departamento, por conducto de la Delegación respectiva, para aplicar la sanción correspondiente, deberá tomar en cuenta las condiciones personales del infractor, la gravedad de la infracción, y las modalidades y demás circunstancias en que la misma se haya cometido.

Si el infractor fuese jornalero, obrero o trabajador, no podrá ser sancionado con multa mayor del importe de su jornal o salario de un día.

Tratándose de trabajadores no asalariados, la multa no excederá del equivalente a un día de su ingreso.

**ARTICULO 40.-** El incumplimiento a lo preceptuado en este Reglamento, se sancionará en la forma siguiente:

- I. Con multa equivalente a un día de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal, a quien infrinja lo dispuesto en la fracción I del Artículo 22;
- II. Con multa equivalente a 3 días de salario mínimo diario general vigente en el Distrito Federal, a quienes infrinjan lo dispuesto en los Artículos 22, fracción II, 23, 25, 26, 27, 28, 30, 35 y 36 fracciones V, VI y VII;
- III. Con multa equivalente de 4 a 30 días de salario mínimo diario general vigente en el Distrito federal, a quienes infrinjan lo dispuesto en los Artículos 18, 24, 29, 31, 32, 33, 34 y 36 fracciones IV y IX de este Reglamento, y
- IV. Con multa equivalente de 30 a 180 días de salario mínimo diario general vigente en el Distrito Federal, a quienes infrinjan lo dispuesto en los Artículos 10, fracción II, 14 y 36 fracción VII de este Reglamento.

**NOTA:** la presente errata es propia del texto elaborado por la Comisión correspondiente.

**ARTICULO 41.-** En el caso de reincidencia se aplicará hasta el doble del máximo de la sanción correspondiente.

Para los efectos de este Reglamento, se considerará reincidente a aquella persona que habiendo sido sancionada por cometer una infracción al mismo, viole nuevamente la misma disposición en el transcurso de un año.

#### **CAPITULO VI DEL RECURSO DE INCONFORMIDAD.**

**ARTICULO 42.-** Contra las resoluciones administrativas emitidas por las autoridades del departamento, en términos del Reglamento, procede el recurso de inconformidad.

**ARTICULO 43.-** El recurso de inconformidad tendrá por objeto que la autoridad emisora de la resolución administrativa impugnada, la confirme, revoque o modifique.

**ARTICULO 44.-** La inconformidad deberá interponerse dentro de los ocho días hábiles siguientes a la fecha en que se le notifique o ejecute el acto de resolución que se impugna.

**ARTICULO 45.-** El escrito por el que se interponga el recurso de inconformidad, no estará sujeto a formar especial alguna y bastará con que el recurrente precise el acto que reclama, los motivos de la inconformidad, señale domicilio para oír notificaciones, designe, en su caso, a su representante legal, acompañe las pruebas documentales que tenga a su disposición y ofrezca las demás que estime pertinentes, con excepción de la confesional y aquellas que fueren contrarias a derecho o a la moral.

**ARTICULO 46.-** El recurrente podrá solicitar la suspensión de la ejecución del acto o resolución que reclame, la cual será concedida siempre que, a juicio de la autoridad, no sea en perjuicio de la colectividad o se contravengan disposiciones de orden público. Cuando con la suspensión se puedan causar daños al Departamento o a terceros, sólo se concederá si el interesado otorga ante la Tesorería del Departamento del Distrito Federal, alguna de las garantías a que se refiere el Código Fiscal de la Federación.

El monto de la garantía será el suficiente para asegurar la reparación de los daños posibles que pudiera causarse. La garantía será fijada por la autoridad de la que haya emanado el acto.

**ARTICULO 47.-** La autoridad que conozca del recurso, dictará la resolución que proceda debidamente fundada y motivada, en un plazo de ocho días hábiles siguientes a la fecha de presentación del recurso de inconformidad.

### TRANSITORIOS

**PRIMERO.-** El Reglamento entrará en vigor sesenta días después de su publicación en la Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.

**SEGUNDO.-** Publíquese en el Diario Oficial de la Federación por ser de interés general.

**TERCERO.-** Se abroga el Reglamento para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 1941.

**CUARTO.-** Los propietarios, condominios, administradores, arrendatarios o encargados de los inmuebles a que se refieren los Artículos 14 y 34 que actualmente no cumplan con los requisitos de acondicionamiento que en dichos preceptos se prevén, dispondrán de un plazo de tres meses contados a partir de la fecha en que entre vigor este Reglamento, para que los satisfagan.

SALON DE SESIONES DE LA ASAMBLEA DE REPRESENTANTES DEL DISTRITO FEDERAL, A 6 DE JULIO DE 1989. José Antonio Padilla Segura.- Representante, Presidente.- Rúbrica.- Joaquín López Martínez.- Representante, Secretario.- Rúbrica.- Justino Rosas Villegas.-Representante, Secretario.- Rúbrica.

## 11.2 NORMAS

### NMX-AA-015-1985

#### NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985. PROTECCION AL AMBIENTE - CONTAMINACION DEL SUELO - RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES - MUESTREO - METODO DE CUARTEO

##### PREFACIO

En la formulación de esta norma participaron los siguientes organismos:

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA
- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.
- Dirección General de Estudios Prospectivos
- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.
- Comisión de Ecología.

##### 1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana, establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio

Para aquellos residuos sólidos de características homogéneas, no se requiere seguir el procedimiento descrito en esta norma.

### 2.- REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes;

NMX-AA-19 Protección al Ambiente - Contaminación del suelo - Residuos Sólidos Municipales - Peso volumétrico "IN SITU"

NMX-AA-22 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos.

NMX-AA-61 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Generación.

NMX-AA-91 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos - Terminología.

### 3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las que se establecen en la Norma Mexicana NMX-AA-81.

### 4.- METODO DE CUARTEO

Para el cuarteo, la muestra debe ser representativa de la zona o estrato socioeconómico del área en estudio, obtenida según Norma Mexicana NMX-AA-61

#### 4.1 Aparatos y equipo

- Báscula de piso, con capacidad de 200 Kg
- Bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.90 m y calibre mínimo del No. 200, para el manejo de los subproductos (tantas como sean necesarias).
- Palas curvas
- Bieldos
- Overoles
- Guantes de carnaza
- Escobas
- Botas de hule
- Cascos de seguridad
- Mascarillas protectoras
- Papelería y varios (cédula de informe de campo, marcadores, ligas, etc).

#### 4.2 Procedimientos

Para efectuar este método de cuarteo, se requiere la participación de cuando menos tres personas.

El equipo requerido antes descrito, está de acuerdo con el número de personas que participan en el cuarteo.

Para realizar el cuarteo, se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos, resultado del estudio de generación según la Norma Mexicana NMX-AA-61.- En ningún caso se toma más de 250 bolsas para efectuar el cuarteo.

El contenido de dichas bolsas, se vacía formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo.

El montón de residuos sólidos se traspalea con pala y/o bieldo, hasta homogeneizarlos, a continuación, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A B C y D (Fig. 1), y se eliminan las partes opuestas A y C ó B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 Kg de residuos sólidos con los cuales se debe hacer la selección de subproductos de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-22.

De las partes eliminadas del primer cuarteo, se toman 10 Kg aproximadamente de residuos sólidos para los análisis del laboratorio, físicos, químicos y biológicos, con el resto se determina el peso volumétrico de los residuos sólidos "in situ", según Norma Mexicana NMX-AA-19.

La muestra obtenida para los análisis físicos, químicos y biológicos debe trasladarse al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (véase marcado), evitando que queden expuestas al sol durante su transporte, además se debe tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna rotura. El tiempo máximo de transporte de la muestra al laboratorio, no debe exceder de 8 horas.

Se han considerado, las cantidades anteriores como óptimas, sin embargo estas pueden variar de acuerdo a las necesidades. Sólo en el caso de que la cantidad de residuos sólidos sea menor a 50 Kg, se remienda repetir la operación de cuarteo.

#### 5.- MARCADO

La muestra se identifica con una etiqueta, la cual debe contener la siguiente información:

Número de folio de la cédula de informe de campo para el cuarteo, hora y fecha del envío, localidad, municipio, estado, procedencia de la muestra (estrato socioeconómico) temperatura y humedad relativa del ambiente, peso de la muestra en kilogramos, datos del responsable de la toma de muestra y observaciones.

#### 6.- INFORME DE CAMPO: (Ver cédula en el apéndice)

En el informe debe indicar lo siguiente:

- Localidad, Municipio y Estado
- Fecha y hora del cuarteo
- Procedencia de la muestra (estrato socioeconómico)

- Condiciones climatológicas
- Cantidad de residuos sólidos tomados para el cuarteo, en Kg
- Cantidad de residuos sólidos obtenidos para la selección en subproductos, en Kg
- Datos del responsable del cuarteo
- Observaciones

#### 7.- APENDICE

##### CEDULA DE INFORME DE CAMPO PARA EL CUARTEO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.

No. de  
Folio -----

Localidad ----- Municipio ----- Estado -----  
Fecha y hora del cuarteo -----  
Procedencia de la Muestra -----

Condiciones Climatológicas Imperantes Durante el Cuarteo (describa):

-----  
Cantidad de Residuos Sólidos para el Cuarteo -----Kg -----  
Cantidad de Residuos Sólidos para la Selección de Subproductos -----  
----- Kg ---  
Cantidad de Residuos Sólidos para los Análisis Físicos, Químicos y  
Biológicos -----  
Responsable del Cuarteo:  
Nombre: ----- Cargo -----  
Dependencia o Institución -----  
Observaciones -----  
-----  
-----

#### 8.- BIBLIOGRAFIA

\* Journal of the Sanitary Engineering División.- Proceedings of the American Society of Civil Engineers.- "Sample Weights in Solid Waste Composition Studies".- Albert J. Klee and Dennis Carrth. August, 1970.

Rolle, G. Int. Research Group in Refuse Disposal (IRGR). Information Bulletin 22, 23.- Zurich.- 1954.

NMX-AA-016-1984

## PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL SUELO-RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACION DE HUMEDAD.

*ENVIRONMENTAL PROTECTION-SOIL POLLUTION-MUNICIPAL SOLID RESIDUES-HUMIDITY DETERMINATION.*

### PREFACIO

En la actualización de la presente norma participaron los siguientes Organismos:

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA
  - Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
  - Comisión de Ecología
  - Dirección General de Programación de Obras y Servicios

### 1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana establece el método llamado de Estufa que determina el porcentaje de humedad, contenido en los residuos sólidos municipales; se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra cuando se somete a las condiciones de tiempo y temperatura que se establecen en esta norma, considerando que dicha pérdida se origina por la eliminación de agua

### 2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX-AA-091	Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos - Terminología.
NMX-AA-052	Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Preparación de muestras en laboratorios para su análisis

### 3 DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-091.

### 4 OBTENCION DE LA MUESTRA

La muestra se obtiene en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado, según Norma Mexicana NMX-AA-052.

### 5 APARATOS Y EQUIPO

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g
- Espátula para balanza
- Estufa con temperatura 423K (150°C) con sensibilidad 1.5K (1.5°C) capaz de mantener una temperatura constante
- Cajas de aluminio con tapa de 250cm<sup>3</sup>
- Guantes de asbesto
- Desecador con deshidratante
- Equipo usual de laboratorio

### 6 PROCEDIMIENTO

6.1 Se coloca la caja abierta y su tapa en la estufa a 393K (120°C) durante dos horas, transcurrido ese tiempo, se tapa la caja dentro de la estufa, e inmediatamente se pasa al desecador durante dos horas como mínimo o hasta obtener peso constante.

6.2 Se vierte la muestra sin compactar hasta un 50% del volumen de la caja.

6.3 Se pesa la caja cerrada con la muestra y se introduce destapada a la estufa a 333K (60°C) durante 2 horas, se deja enfriar y se pesa nuevamente. Se repite esta operación las veces que sea necesario hasta obtener peso constante (se considera peso constante cuando entre dos pesadas consecutivas la diferencia es menor al 0.01%).

NOTA: Durante este procedimiento debe utilizarse pinzas.

### 7 CALCULOS

El porcentaje de humedad se calcula con la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que para obtener G y G<sub>1</sub> se debe restar el peso de la caja.

$$H = \frac{G - G_1}{G} \times 100$$

H	=	Humedad en %
G	=	Peso de la muestra humedad en g
G <sub>1</sub>	=	Peso de la muestra seca en g

### 8 REPRODUCIBILIDAD

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1% en caso contrario se recomienda repetir la determinación.

### 9 BIBLIOGRAFIA

- Tentative Methods of Analysis of Refuse and Compost Municipal - Refuse Disposal.-  
Appendix A. pag. 392

- Methods of soil Analysis Agronomy No. 92-96 - American Society of Agronomy. Inc.  
Publisher

México, D.F., Diciembre 10, 1984  
Fecha de Aprobación y Publicación: Diciembre 14, 1984  
Esta Norma cancela a la: NMX-AA-016-1975

**NMX-AA-021-1985**

**PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL SUELO-  
RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACION DE  
MATERIA ORGANICA.**

*ENVIRONMENTAL PROTECTION-SOIL CONTAMINATION MUNICIPAL SOLID  
RESIDUES-ORGANIC MATTER DETERMINATION.*

**DIRECCION GENERAL DE NORMAS**

**PREFACIO**

En la elaboración de esta norma participaron los siguientes organismos:

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.  
Dirección General de prevención y control de la contaminación ambiental.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.  
Dirección General de estudios prospectivos.  
Comisión de Ecología.

**1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.**

La presente Norma Oficial Mexicana establece el método para la determinación de materia orgánica en los residuos sólidos municipales.

**2 REFERENCIAS.**

Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

NOM-AA-52 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Preparación de muestras en laboratorio para su análisis.

NOM-AA-91 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos - Terminología.

**3 DEFINICIONES.**

Para los efectos de esta Norma las definiciones son las establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-91

**4 APARATOS Y EQUIPO.**

Equipo usual de laboratorio.

**5 MATERIALES Y REACTIVOS.**

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser de grado analítico a menos que se indique otra cosa; cuando se hable de agua, debe entenderse agua destilada.

- Sulfato Ferroso 0.5 N.
- Dicromato de Potasio 1 N.
- Difenilamina al 1 %.
- Acido sulfúrico concentrado al 98%.
- Acido Fosfórico al 95%

**6 OBTENCION DE LA MUESTRA.**

La muestra se obtiene según la Norma Mexicana NOM-AA-52 y en cantidad suficiente para efectuar la determinación con dos series de cinco pruebas cada una.

**7 PROCEDIMIENTO.**

- 7.1 Simultáneamente correr un blanco por cada serie para obtener el factor de corrección.
- 7.2 Triturar la muestra en un mortero hasta obtener una consistencia similar al talco.
- 7.3 Pesar 0.1 g de la muestra y transferirlos a un matraz Erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup> ó mayor.
- 7.4 Agregar con bureta 10 cm<sup>3</sup> de dicromato de potasio

7.5 Agregar 20 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico concentrado.

7.6 Agitar enérgicamente durante un minuto.

7.7 Dejar reposar durante 30 minutos.

7.8 Posteriormente agregar 100 cm<sup>3</sup> de agua.

7.9 Agregar 10 cm<sup>3</sup> de ácido fosfórico.

7.10 Añadir 0.5 cm<sup>3</sup> de difenilamina

7.11 Titular con sulfato ferroso 0.5 N hasta que vire de violeta obscuro a verde.

## 8 CALCULOS

El porcentaje de materia orgánica se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Materia orgánica en \%} = \frac{(V_1 N_1 - VNF) K}{P}$$

En donde:

$V_1$  = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en la muestra en cm<sup>3</sup>.

$N_1$  = Normalidad de la solución de dicromato de potasio.

$V$  = Volumen de solución del sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra de cm<sup>3</sup>

$N$  = Normalidad de la solución de sulfato ferroso.

$P$  = Peso de la muestra en g.

$$K = 0.69 = 0.003 \frac{1.72}{0.74} \times 100; \text{ en donde}$$

0.003 = Miliequivalente del carbono.

0.74 = Factor de recuperación.

1.72 = Factor para convertir el % de carbono en % de materia orgánica.

$F$  = Factor de corrección y se obtiene por la siguiente fórmula:

$$F = \frac{V_o N_1}{V_B N} \text{ donde:}$$

$V_o$  = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en el blanco en cm<sup>3</sup>

$V_B$  = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco en cm<sup>3</sup>

## 9 REPRODUCCION DE LA PRUEBA

La diferencia máxima permisible entre dos series de pruebas, no debe exceder de  $\pm AA$  2% en el resultado, en caso contrario repetir la determinación.

## 10 BIBLIOGRAFIA

- JACKSON, M.L.  
Methods of sampling and analysis of solid wastes.
- SWISS FEDERAL INSTITUTE FOR WATER SUPPLY  
Section for solid wastes.  
Methods of sampling and analysis of solid wastes.  
CH - 8600 Düsendorf (Switzerland). 1970.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL  
Manual de laboratorio de la planta industrializadora de desechos sólidos .  
México, D.F. 1976.
- ING. RICARDO PEREZ HERRERA  
Análisis de estudios comparativos para desechos sólidos.  
Tesis profesional para obtener título. E.S.I.Q.I.E. I.P.N.  
México, D.F. 1976.

México, D.F., Agosto 8, 1985

Fecha de aprobación y publicación: Agosto 8, 1985

NMX-AA-019-1985

**PROTECCION AL AMBIENTE CONTAMINACION DEL SUELO - RESIDUOS SOLIDOS. MUNICIPALES - PESO VOLUMETRICO "IN SITU".****PREFACIO**

En la actualización de la presente norma participaron los siguientes organismos:

**SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA**

- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

**DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL**

- Comisión de Ecología
- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.

**1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION**

Esta Norma Mexicana, establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar donde se efectuó la operación de "cuarteo".

**2.- REFERENCIAS**

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX-AA-91 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos-Terminología.

NMX-AA-15 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Muestreo-Método de Cuarteo.

**3.- DEFINICIONES**

Para los efectos de esta norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91.

**4.- DESCRIPCION DE LA OPERACION**

Para determinar el peso volumétrico "in situ", se debe tomar los residuos eliminados de la primera operación del cuarteo, la cual se debe realizar según Norma Mexicana NMX-AA-15.

**4.1 Aparatos y equipo**

- Básculas de piso con capacidad de 200 kg
- Tambos metálicos de forma cilíndrica, con capacidad de 200 L
- Palas curvas
- Overoles
- Guantes de carnaza
- Escobas
- Recogedores
- Botas de hule
- Mascarillas
- Papelería y varios necesarios para la operación (cédula de información de campo, marcadores, etc.)

**4.6 Procedimiento**

Para efectuar esta determinación, se requiere de cuando menos dos personas.

El equipo requerido antes descrito está de acuerdo con el número de personas que participen en la determinación.

Antes de efectuar la determinación se verifica que el recipiente esté limpio y libre de abolladuras; así como también que la báscula esté nivelada. A continuación se pesa el recipiente vacío, tomando este peso como la tara del recipiente.

En caso dado de no conocer la capacidad del recipiente, ésta se determina a partir de las formulaciones aritméticas existentes, según sea la geometría de dicho recipiente.

A continuación, llenar el recipiente hasta el tope con residuos sólidos homogeneizados, obtenidos de las partes eliminadas del primer cuarteo según la Norma Mexicana NMX-AA-15; golpear el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm.

Nuevamente agregue residuos sólidos hasta el tope, teniendo cuidado de no presionar al colocarlos en el recipiente; esto con el fin de no alterar el peso volumétrico que se pretende determinar.

Se debe tener cuidado de vaciar dentro del recipiente todo el residuo, sin descartar los finos. Para obtener el peso neto de los residuos sólidos, se pasa el recipiente con estos y se resta el valor de la tara.

Cuando no se tenga suficiente cantidad de residuos sólidos para llenar el recipiente se marca en éste, la altura alcanzada y se determina dicho volumen.

**5.- CALCULO**

El peso volumétrico del residuo sólido se calcula mediante la siguiente fórmula

P  
 $P = \frac{m}{V}$

en donde:

P = Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m<sup>3</sup>

m = Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg

V = Volumen del recipiente, en m<sup>3</sup>

Los resultados obtenidos al realizar la operación que se describe en esta Norma Mexicana, deben reportarse en la cédula de informe de campo (anexo No. 1).

6.- BIBLIOGRAFIA

Instructivo de Campo del Departamento de Desechos Sólidos de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, 1976.

Experiencias de campo de la Comisión de Ecología del D.D.F. y de la S.D.U.E.

7.- APENDICE

7.1 Anexo No. 1

CEDULA DE INFORME DE CAMPO PARA LA DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO- "IN SITU" DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Localidad ----- Municipio ----- Estado -----

Fecha y hora de la determinación: -----

Estrato o socio-económico muestreado: -----

Condiciones climatológicas imperantes durante la determinación -----

Capacidad del recipiente ----- m<sup>3</sup> -----

Tara del recipiente ----- kg

Capacidad del recipiente, tomada para la determinación -----m<sup>3</sup> -----

Peso bruto (peso del recipiente con residuos sólidos) ----- kg

Peso neto de los residuos sólidos (peso bruto-tara) -----

----- kg

Peso volumétrico "in situ", de los residuos sólidos ----- kg/m<sup>3</sup>

Responsable de la determinación:

Nombre: ----- Cargo -----

Dependencia o Institución -----

Observaciones: -----

NMX-AA-022-1985

PROTECCION AL AMBIENTE - CONTAMINACION DEL SUELO - RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES - SELECCION Y CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS

PREFACIO

En la formulación de la presente norma participaron los siguientes Organismos:

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

- Comisión de Ecología

- Dirección General de Programación de Obras y Servicios.

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los Residuos Sólidos Municipales.

## 2.- REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NMX-AA-91 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Terminología.

NMX-AA-15 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método de Cuarteo.

NMX-B-231 Industria Siderúrgica - Cribas de Laboratorio para Clasificación de Materiales Granulares - Especificaciones.

## 3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta Norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91.

## 4.- APARATOS Y EQUIPO

- Báscula de piso capacidad de 200 Kg
- Balanza granataria con capacidad para 20 Kg y sensibilidad de 1 g
- Criba M 2.00 según Norma Mexicana NMX-B-231
- Mascarillas
- Recogedores
- Overoles
- Escobas
- Botas de hule
- Guantes de carnaza
- Treinta bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.80 m y calibre mínimo de 200
- Papelería y varios

El equipo antes descrito esta en función del número de participantes en la determinación que marca esta Norma; se requiere para ello, cuando menos de dos personas.

## 5.- SELECCION

### 5.1 Obtención de la Muestra.

La muestra se extrae como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-15 y se toman como mínimo 50 Kg, que procede de las áreas del primer cuarteo que no fueron eliminadas.

### 5.2 Procedimiento.

Con la muestra ya obtenida como se establece en 5.1, se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotar, de acuerdo con las siguiente clasificación:

- Algodón
- Cartón
- Cuero
- Residuo fino (todo material que pase la criba M 2.00)
- Envase de cartón encerado
- Fibra dura vegetal (esclerénquima)
- Fibras sintéticas
- Hueso
- Hule
- Lata
- Loza y cerámica
- Madera
- Material de construcción

- Material ferroso
- Material no ferroso
- Papel
- Pañal desechable
- Plástico rígido y de película
- Poliuretano
- Poliestireno expandido
- Residuos alimenticios (Véase observaciones)
- Residuos de jardinería
- Trapo
- Vidrio de color
- Vidrio transparente
- Otros

#### 6.- CUANTIFICACION

Los subproductos ya clasificados se pesan por separado en la balanza granataria y se anota el resultado en la hoja de registro.

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente expresión:

$$PS = \frac{G_1}{G} \times 100$$

En donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

$G_1$  = Peso del subproducto considerado, en Kg; descontando el peso de la bolsa empleada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 Kg).

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, debe ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra (G). En caso contrario, se debe repetir la determinación.

#### 7.- REPORTE

Los resultados se anotan, como se indica en la hoja de registro (véase apéndice).

#### 8.- OBSERVACIONES

- Los cambios en peso durante la determinación, se deben principalmente a la liberación o admisión de humedad.
- Se recomienda efectuar la determinación en un lugar cerrado y bajo techo.
- Dentro de los residuos sólidos alimenticios se deben incluir todos aquellos residuos de fácil degradación, tales como: vísceras, apéndices o cadáveres de animales.

#### 9.- APENDICE

##### HOJA DE REGISTRO DE CAMPO SELECCION Y CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS

Localidad ----- Municipio ----- Estado -----  
 Fechas y hora de análisis ----- Peso de la Muestra ----- Kg  
 Estrato socioeconómico ----- Tara de las bolsas ----- Kg  
 Responsable del análisis ----- Dependencia o Institución -----

No.	SUBPRODUCTOS	PESO EN Kg	% EN PESO	OBSERVACIONES
1	ALGODON			
2	CARTON			
3	CUERO			

- 4 RESIDUO FINO  
QUE PASE LA CRIBA M 2.00
- 5 ENVASE EN CARTON ENCERADO
- 6 FIBRA DURA VEGETAL (esclerénquima)
- 7 FIBRAS SINTETICAS
- 8 HUESO
- 9 HULE
- 10 LATA
- 11 LOZA Y CERAMICA
- 12 MADERA
- 13 MATERIAL DE CONSTRUCCION
- 14 MATERIAL FERROSO
- 15 MATERIAL NO - FERROSO
- 16 PAPEL
- 17 PAÑAL DESECHABLE
- 18 PLASTICO DE PELICULA
- 19 PLASTICO RIGIDO
- 20 POLIURETANO
- 21 POLIESTIRENO EXPANDIDO
- 22 RESIDUOS ALIMENTICIOS
- 23 RESIDUOS DE JARDINERIA
- 24 TRAPO
- 25 VIDRIO DE COLOR
- 26 VIDRIO TRANSPARENTE
- 27 OTROS

10.- BIBLIOGRAFIA

. Instructivo de Campo del Departamento de Desechos Sólidos de la Secretaría de Mejoramiento del Ambiente, 1976.

NMX-AA-033-1985

**PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL SUELO-  
RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACION DE  
PODER CALORIFICO SUPERIOR**

ENVIRONMENTAL PROTECTION-SOIL CONTAMINATION  
MUNICIPAL SOLID RESIDUES-SUPERIOR CALORIFIC POWER  
DETERMINATION

**DIRECCION GENERAL DE NORMAS**

PREFACIO

En la formulación de la presente norma participaron los siguientes organismos:

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA.  
Dirección General de Previsión y Control de la Contaminación Ambiental.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.  
Dirección General de Estudios Prospectivos.  
Comisión de Ecología.

PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL SUELO-RESIDUOS  
SOLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACION DE PODER CALORIFICO SUPERIOR

ENVIRONMENTAL PROTECTION-SOIL CONTAMINATION MUNICIPAL SOLID  
RESIDUES-SUPERIOR CALORIFIC POWER DETERMINATION

**1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION**

Esta Norma Oficial Mexicana especifica un método de prueba para determinar el poder calorífico superior de los residuos sólidos municipales, empleando una bomba calorimétrica de los diferentes tipos para planear y diseñar los sistemas adecuados de disposición final de los mismos.

**2 REFERENCIAS.**

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

NOM-AA-052 Protección al Ambiente- Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos Municipales- Preparación de Muestras de Laboratorio para sus análisis.

NOM-AA-091 Protección al Ambiente- Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos- Terminología

### 3 DEFINICIONES

Para los efectos de esta Norma las definiciones son las que establecen en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-091 además de las siguientes:

3.1 Poder calorífico. Es el calor de combustión de una sustancia normalmente expresado en calorías por gramo.

3.2 Poder Calorífico Superior. (También llamado total) es el calor producido en la combustión de una cantidad unitaria de combustible sólido bajo volumen constante, dentro de una bomba calorimétrica en condiciones específicas tales que toda el agua de los productos permanezca en estado líquido

3.3 Poder Calorífico Neto. (Poder Calorífico Inferior) se calcula a partir del poder calorífico total y equivale al calor producido por la combustión de una cantidad unitaria de un combustible sólido en condiciones constantes de presión y condiciones específicas tales que toda el agua de los productos permanezca en forma de vapor

### 4 APARATOS Y EQUIPO.

Equipo Usual de Laboratorio además de:

4.1 Balanza analítica con sensibilidad de 0.000 1 g.

4.2 Calorímetro formado por un recipiente equipado con una camisa al vacío ó de agua y con una cubierta para protegerla de las corrientes de aire. En el caso de emplearse camisa de agua, la capacidad de ésta no debe ser menor de 5 veces el equivalente del agua del calorímetro cargado y la temperatura uniforme de la cubeta de agua se obtiene con un aparato de agitación adecuada.

4.3 Bomba calorimétrica con capacidad no menor de 300 cm<sup>3</sup>

4.4 Cápsula de platino (ó de otro material recomendado por el proveedor) de 2.5 a 5 cm<sup>3</sup> de capacidad

4.5 Prensa pastilladora.

4.6 Soporte para montaje de bomba de oxígeno.

4.7 Cronómetro.

4.8 Tanque de oxígeno comercial con dos manómetros, que indiquen la presión interior del tanque y de la bomba.

4.9 Balanza de torsión con sensibilidad de 0.1 g.

4.10 Calentador de agua con especificaciones de acuerdo el modelo del calorímetro empleado.

4.11 Refrigerador.

4.12 Estufa con rango de temperatura ambiente a 353 K (80°C)

4.13 Regulador de tensión.

### 5 MATERIALES Y REACTIVOS

5.1 Materiales

- Alambre de encendido de hierro puro, platino ó de otro material adecuado de 0.15 mm de diámetro y de 10 a 30 cm de largo con su conductividad térmica conocida. Si se emplea cápsula de platino el alambre utilizado también debe ser del mismo material.

5.2 Reactivos.

- Cápsula \* de ácido benzoico de poder calorífico conocido no mayor de 1.5 g.

- Solución valorada de carbonato de sodio 0.0725 N.

- Solución alcohólica de indicador anaranjado de metilo al 1%

### 6 OBTENCION DE LA MUESTRA.

La muestra se obtiene según Norma Mexicana NOM-AA-052 y en cantidad suficiente para efectuar una serie de cinco determinaciones como mínimo.

### 7 PROCEDIMIENTO.

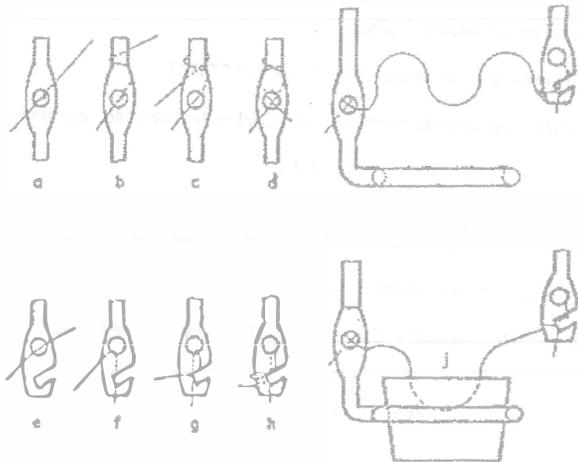
7.1 El aparato se calibra usando como material combustible una cápsula de ácido benzoico de peso conocido (0.9 a 1.25 g) y se procede de la misma manera que en el caso de una muestra problema.

7.2 La muestra se seca a peso constante y se pesan de 0.6 a 1.5 g para formar en la prensa, una pastilla de peso conocido.

- 7.3 Unir 10 cm de alambre de encendido a los electrodos del cabezal (ver figura 1).
- 7.4 Introducir la pastilla dentro de la cápsula metálica de combustión verificando que el alambre permanezca en contacto con la muestra. (ver figura 1).
- 7.5 Colocar en el interior de la bomba 1 cm<sup>3</sup> de agua destilada cuidando que el agua no toque la muestra.
- 7.6 El conjunto se adapta al cilindro de la bomba enroscando el cabezal hasta lograr un cierre hermético.
- 7.7 Se introduce oxígeno lentamente en el interior de la bomba a fin de evitar la dispersión del producto en la cápsula, hasta alcanzar una presión de 25 a 35 atmósferas. Se recomienda emplear 30 atmósferas de presión; si se excede la presión de las 35 atmósferas, se desaloja el oxígeno en su totalidad, se cambia la muestra y se repite la determinación.

\* Cápsula según patente

FIGURA 1. - PASOS PARA LIGAR EL ALAMBRE A LOS ELECTRODOS



- 7.8 Pesar 2000 g de agua destilada debiendo estar de 1 a 2 °C abajo de la temperatura ambiente y se llevan a la cubeta del calorímetro
- 7.9 Se introduce la bomba dentro de la cubeta empleando una pinza metálica, evitando pérdida de agua.

- 7.10 Se conectan los electrodos en la parte superior de la tapa bomba teniendo cuidado de evitar pérdidas de agua.
- 7.11 Se cierra el calorímetro y se baja el termómetro que registra la temperatura del agua de la cubeta conjuntamente con el agitador y del elemento primario de medición; cuando el equipo sea automático, verificar que el bulbo de dicho termómetro así como el elemento de agitación queden sumergidos en el agua.
- 7.12 En el caso de que el calorímetro cuente con calentador de agua se enciende y se coloca en posición normal de operación, debiendo permanecer bajo estas condiciones un período de 10 minutos antes de operar el equipo. En caso contrario, se requiere de una alimentación de agua caliente siguiendo las condiciones del aparato empleado.
- El agitador debe permanecer operando un tiempo mínimo de 5 minutos.
- 7.13 Encender el equipo y activar el agitador del agua de la cubeta. Asegurar que no existen separaciones en la columna de mercurio de ambos termómetros.
- 7.14 Equilibrar las temperaturas del agua de la cubeta del calorímetro con el agua de la camisa, mediante los controles manuales de agua fría y caliente.

Si después de 1 ó 2 minutos no hay cambio en las temperaturas ó en la temperatura del sistema, se anota ésta como temperatura inicial.

Para evitar errores de paralaje y obtener una lectura precisa del orden de 0.005°C, se emplean lentes apropiados.

Referirse a las recomendaciones de proveedor de los termómetros para proceder de acuerdo a ellos en caso de existir burbujas en el bulbo del termómetro así como separaciones en la columna de mercurio.

7.15 En equipos automáticos se procede a mantener constantes ambas temperaturas, por medio del sistema automático. Una vez logrado esto, por medio de un cronómetro se asegura la estabilidad de dichas temperaturas durante un lapso de 4 minutos; 4 segundos antes de concluir éste período de 4 minutos, se procede de acuerdo a lo siguiente: Se toma una lectura final cuando el cronómetro registre 13 minutos, entendiéndose que 4 minutos correspondieron al período de estabilización automática y 9 minutos al período posterior a la incineración.

7.16 Se procede a quemar la muestra, manteniendo oprimido el botón de ignición durante 4 o 5 segundos, accionando al mismo tiempo el cronómetro. En caso de no contar con equipo de control de temperatura automático se procede en forma manual, controlando los flujos de agua fría y caliente para mantener la temperatura del agua de la camisa igual ó ligeramente menor que la temperatura del agua de la cubeta del calorímetro.

Cuando el sistema esté alcanzando su temperatura final de equilibrio, debe mantenerse la temperatura en la camisa con variaciones máximas de  $\pm 0.1$  °C, de la temperatura del agua de la cubeta del calorímetro.

7.17 Anotar la lectura final máxima de acuerdo al instructivo del aparato que se esté empleando, ya que en algunos se registra una sola lectura final después de un tiempo establecido

7.18 En aparatos no automáticos se recomienda lecturas a los 30, 45, 60, 75, 90 y 105 segundos, después cada 30 segundos hasta que la temperatura permanezca constante durante 5 minutos.

7.19 Desalojar el contenido de agua de la camisa oprimiendo el botón de purga, apagar el equipo y asegurar que el agitador de agua, el bulbo del termómetro de registro de la cubeta y el elemento primario de medición del aparato queden fuera de la cubeta del calorímetro.

7.20 Levantar el termómetro antes de abrir el calorímetro; abrir el calorímetro, desconectar los electrodos, sacar la bomba de la cubeta y abrir la válvula de escape de la bomba lentamente para evitar un flujo de escape violento de residuos de la combustión. Sacar la bomba verificando que la combustión haya sido completa, en caso contrario repetir la determinación.

7.21 Se transfiere el contenido de la bomba a un vaso de precipitado y se lavan las paredes de la bomba, la tapa, los electrodos y el crisol, con una pizeta de agua destilada y se filtra el lavado

7.22 Titular el filtrado con la solución del carbonato de sodio usando como indicador anaranjado de metilo, hasta neutralizar la solución teniendo en cuenta  $1 \text{ cm}^3$  de solución de carbonato gastado en la titulación equivale a 1 caloría.

7.23 Medir los restos de alambre no quemado y restar de los 10 cm iniciales.

## 8 CALCULOS

8.1 Calibrar el aparato usando la siguiente fórmula:

$$W = \frac{HG + e_1 + e_3}{T}$$

EN DONDE:

W = Equivale de agua del calorímetro empleado, en cal/°C.

H = Poder de combustión del ácido benzóico, en cal/g (valor constante = 6318 cal/g).

G = Peso del ácido benzóico en g.

T = Elevación de temperatura neta corregida en °C; y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$T = t_f - t_i$$

EN DONDE:

$t_f$  = Temperatura máxima final, en °C corregida de acuerdo a la escala de error del termómetro (indicada por el fabricante).

$t_i$  = Temperatura en el momento de encendido, en °C corregida por la escala de error del termómetro.

$e_1$  = Corrección para el calor de formación del ácido nítrico, en calorías.

$$e_1 = \frac{C_1 N}{0.0725}$$

EN DONDE:

$C_1$  = Solución básica valorada empleada en la titulación en  $\text{cm}^3$ .

N = Normalidad de la solución alcalina.

$e_1$  =  $C_1$  si se emplea solución de carbonato de sodio 0.0725 N.

$e_3$  = Corrección para el calor de combustión del alambre de encendido en calorías.

$$e_3 = K C_3$$

EN DONDE:

K = Equivalente térmico del alambre utilizado (proporcionado por el proveedor).

$C_3$  = Alambre de ignición consumido durante el encendido, en cm.

8.2 El poder calorífico superior P.C.S. en (cal/g) se calcula con la siguiente fórmula:

$$PCS = \frac{TW - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

EN DONDE:

$e_2$  = Corrección para el calor de formación del ácido sulfúrico en calorías; se obtiene con la siguiente fórmula:

$$e_2 = 14 C_2 m$$

14 = Factor de conversión para el calor de formación del ácido sulfúrico, para el cálculo de azufre en la muestra, en %

$C_2$  = Azufre en la muestra, en %

m = Peso de la muestra, en g.

8.3 Cálculo del poder calorífico inferior o neto PCI en (cal/g); se calcula con la siguiente fórmula:

$$PCI = PCS - 10.30 (\% h \times 9)$$

EN DONDE:

10.30 = EFactor de conversión de los BTU del agua resultante de la combustión del hidrogeno, más la humedad del combustible, por unidad de peso del combustible.

h = % h total.

$$\% h \text{ Total} = \frac{\% \text{ de materia volátil}}{15}$$

% de materia volátil = 100 - % de cenizas.

15 = Valor empírico.

9 = Factor de conversión que toma en cuenta el calor latente de vaporización del agua (varía según la presión).

## 9 REPRODUCCION DE LA PRUEBA.

9.1 La diferencia máxima permisible en el resultado de pruebas efectuadas no deber exceder de 27.5 cal/g; en caso contrario se repite la serie.

## 10 APÉNDICE.

10.1 Observaciones

10.1.1 El área donde se efectúa la determinación no debe verse afectada por cambios de temperatura y de presión atmosférica.

10.1.2 El aparato debe calibrarse cada mes si el uso del mismo es continuo; de otra forma, debe calibrarse al inicio de una serie de pruebas.

10.1.3 Se debe conocer la equivalencia en cal/cm del alambre utilizado para propósitos de calibración.

## 11 BIBLIOGRAFIA

- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.  
Manual de operación de la planta industrializadora de Residuos Sólidos México, D.F. 1974.
- III CURSO LATINOAMERICANO DE LIMPIEZA URBANA.  
Buenos Aires, Argentina, 1978.
- ING. FRANCISCO ROMERO LUNA.  
Aprovechamiento de los Residuos Sólidos del D.F., en la generación de Energía Eléctrica.  
Tesis Profesional, U.N.A.M.  
México, D. F.
- IGN. FILEMON BRAVO OLGUIN.  
Proyecto de un incinerador central con control de contaminantes para la eliminación de basuras de hospitales en el Distrito Federal.  
Tesis Profesional, E.S.I.Q.I.E. I.P.N.  
México, D. F. 1978.  
Paginas de la 21 a la 28.
- ING. LEON AVALOS Y VEZ.  
Generadores de Vapor  
Ciencias y Técnica-Serie de Tecnología. I.P.N.  
México, D.F., 1965.  
Páginas de 34 a la 48.
- BOND, R.G. Y STRAUB, C.P. Handbook of environmental control.  
Volume II Cleveland, OH. C.R.C. Press, 1973.
- PARR INSTRUMENTS Co. Instructivo para el calorímetro adiabático 1241 y 1242 Manual No. 153.
- ING. RICARDO PEREZ HERRERA.  
Análisis Comparativo de desechos sólidos en el D.F.  
Tesis Profesional E.S.I.Q.I.E. I.P.N.  
México, D F. 1976.

México, D.F., Agosto 8, 1985  
 Fecha de aprobación y publicación: Agosto 8, 1985  
 Esta Norma cancela a la: NOM-AA-033-1976

#### NMX-AA-61-1985.

### PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL SUELO-RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES-DETERMINACION DE LA GENERACION

#### PREFACIO

En la elaboración de esta norma participaron los siguientes organismos:

- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

Dirección General de Estudios Prospectivos.  
 Comisión de Ecología.

#### 1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Mexicana especifica un método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo estadístico aleatorio. Para efectos de aplicación de esta norma los residuos sólidos municipales se subdividen en domésticos (que son los generados en casas habitación) y en no domésticos (generados fuera de las casas habitación).

#### 2.- REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Mexicanas:

NMX-AA-91 Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos-Terminología.

NMX-AA-15 Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Muestreo-Método de cuarteo

#### 3.- DEFINICIONES

Para los efectos de esta Norma, las definiciones son las establecidas en la Norma Mexicana NMX-AA-91 además de:

FUENTE. Es cualquier establecimiento generador de residuos sólidos incluido dentro de los giros municipales por muestrear.

#### 4.- APARATOS Y EQUIPO

- Báscula con capacidad mínima de 100 kg y precisión de 10 g o similar.
- Báscula con capacidad mínima de 10 kg y precisión de 1 g o similar.
- Tablas de inventario, tamaño carta u oficio.
- Marcadores de tinta permanente, preferentemente color negro.
- Bolsas de polietileno de 0.70 m x 0.50 m y calibre mínimo del No. 200.
- Ligas de hule de 1.5 mm de ancho.
- Guantes de camaza
- Brochas de 0.025 m de ancho.
- Pintura de esmalte color amarillo.
- Papelería y varios (cédula de encuesta, lápices, gomas y otros).
- Tablas de números aleatorios y de las siguientes distribuciones:

Normal, "t" de Student, "F" de Fisher; así como la empleada para el rechazo de observaciones, si se aplica para tal efecto, el criterio de Dixon, (ver Apéndice).

NOTA: Lo antes citado está en función del número de personas a participar en el muestreo, así como en la cantidad de estratos socioeconómicos por muestrear y del tamaño de las premuestras.

#### 5.- GENERACION PER-CAPITA DE RESIDUOS SOLIDOS DOMESTICOS

##### 5.1 Procedimiento de campo

Este parámetro se obtiene con base en la generación promedio de residuos sólidos por habitante, medido en kg/hab-día, a partir de la información obtenida de un muestreo estadístico aleatorio en campo, con duración de ocho días para cada uno de los estratos socioeconómicos de la población.

##### 5.1.1 Selección de riesgo " $\alpha$ "

El riesgo con que se realiza el muestreo se elige con base en los siguientes factores:

- Conocimiento de la localidad.
- Calidad técnica del personal participante.
- Facilidad para realizar el muestreo
- Características de la localidad a muestrear.
- Exactitud de la báscula por emplear

##### 5.1.2 Tamaño de la muestra " n "

A partir del riesgo seleccionado ( $\alpha$ ) se adopta un tamaño de muestra por estrato, con base en la siguiente tabla:

RIESGO ( $\alpha$ )	TAMAÑO DE PREMUESTRA (n)
0.05	115
0.10	80
0.20	50

5.1.3 Determinar y ubicar el universo de trabajo (de 300 a 500 casas) en un plano actualizado de la localidad en la zona o colonia correspondiente al estrato socioeconómico por muestrear.

5.1.4 Contar y numerar en orden progresivo, los elementos del universo de trabajo, para conocer su tamaño.

5.1.5 Con base en el tamaño de la premuestra y del universo de trabajo, seleccionar aleatoriamente, los elementos de dicho universo que forman parte de la premuestra. Para realizar lo anterior, emplear la tabla No. 1 de números aleatorios (ver Apéndice).

5.1.6 Identificar físicamente los elementos de la premuestra en el universo de trabajo, anotando con pintura amarilla el número aleatorio correspondiente al elemento, en algún lugar visible de la calle donde se encuentra la casa habitación o elemento por muestrear.

5.1.7 Recorrer el universo de trabajo, visitando a los habitantes de las casas seleccionadas para la premuestra, con el fin de explicarles la razón del muestreo por realizar, así como para captar la información general que se indica en la cédula de encuesta de campo (ver Apéndice). Entregando una bolsa de polietileno.

5.1.8 Visitar nuevamente las casas-habitación seleccionadas del universo de trabajo el primer día del período en que se realiza el muestreo, lo más temprano posible, para recoger las bolsas conteniendo los residuos sólidos generados antes de este día. Esto sirve únicamente como una "operación de limpieza", para asegurar que el residuo generado después de ella, corresponda a un día.

Simultáneamente con la "operación de limpieza", se entrega una nueva bolsa para que se almacenen los residuos generados las siguientes 24 horas; por último, las bolsas ya recogidas conteniendo los residuos se transfieren al equipo de recolección municipal o se llevan al sitio de disposición final.

5.1.9 A partir del segundo, hasta el séptimo día del período de muestreo, se recogen las bolsas conteniendo los residuos generados el día anterior y a su vez se entrega una nueva bolsa para almacenar los residuos por generar las siguientes 24 horas.

A la bolsa conteniendo los residuos generados, se le anota el número aleatorio correspondiente, con el fin de identificar los elementos de la premuestra.

El octavo día únicamente se recogen las bolsas con los residuos generados el día anterior.

5.1.10 Diariamente después de recoger los residuos sólidos generados el día anterior, se procede a pesar cada elemento anotando su valor en la cédula de encuesta, en el renglón correspondiente al día en que fue generado.

5.1.11 Para obtener el valor de la generación per-cápita de residuos sólidos en kg/hab-día correspondiente a la fecha en que fueron generados; se divide el peso de los residuos sólidos entre el número de habitantes de la casa habitación.

## 5.2 Evaluación de resultados.

La evaluación que se presenta, se considera la más adecuada para los fines que se persiguen con este tipo de estudios.

5.2.1 De los siete datos obtenidos de cada casa habitación, durante el período de muestreo; calcular el promedio de generación de residuos "per-cápita". De acuerdo con lo anterior, se obtiene una serie de "n" valores promedio, uno por cada casa habitación incluída en la premuestra.

5.2.2 Ordenar la información obtenida del punto anterior, como a continuación se ilustra:

$$\bar{X}_1 \leq \bar{X}_2 \leq \bar{X}_3 \leq \dots \leq \bar{X}_i \leq \dots \leq \bar{X}_{n-1} \leq \bar{X}_n$$

Donde:

$\bar{X}$  = Promedio por casa-habitación, de los 7 valores diarios de la generación de residuos per-cápita, obtenidos durante el período de muestreo.

5.2.3 Realizar el análisis de rechazo de observaciones sospechosas, empleando cualquier método o procedimiento que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología considere confiable. En caso de aplicar el criterio de Dixon, se debe realizar lo siguiente:

Calcular el valor del estadístico (r), para las siguientes situaciones:

$$r = \left( \frac{X_n - X_i}{X_n - X_j} \right) \quad \text{Cuando se sospecha del elemento máximo de la premuestra.}$$

$$r = \left( \frac{X_j - X_1}{X_i - X_1} \right) \quad \text{Cuando se sospecha del elemento mínimo de la premuestra.}$$

donde:

n = Número de observaciones o elemento mayor.

i = El elemento menor.

i = n - (j-1).

j = Elemento del muestreo que define el límite inferior del intervalo de sospecha en la cola superior de los datos ya ordenados.

Calcular el valor del estadístico permisible ( $r_{1-\alpha/2}$ ) correspondiente al

percentil definido por el nivel de confianza establecido y el número de observaciones correspondientes al caso que se trate. Para lograr lo anterior se usa la Tabla No. 2 (Ver Apéndice).

Comparar el valor del estadístico ( $r$ ) con el estadístico permisible ( $r_{1-\frac{\alpha}{2}}$ ) con el fin de rechazar o aceptar la observación sospechosa de  $1 - \alpha/2$  acuerdo con el siguiente criterio:

$$\text{Si } r \geq r_{1-\frac{\alpha}{2}}$$

Se rechaza la observación sospechosa.

$$\text{Si } r \leq r_{1-\frac{\alpha}{2}}$$

Se acepta la observación sospechosa

5.2.4 Una vez rechazadas o aceptadas las observaciones sospechosas, realizar un análisis estadístico de los "n" valores promedio resultantes para obtener la medida de la generación per-cápita diaria de los valores promedio por casa habitación y la desviación estándar de ellos como conjunto de valores, con respecto a la media.

5.2.5 Verificar el tamaño de la premuestra, calculando el tamaño real de la muestra, con base en la desviación estándar de la premuestra, y empleando la distribución "t" de Student (Ver Apéndice).

La determinación del tamaño real de la muestra, se realiza con la siguiente expresión:

$$n_1 = \left( \frac{t * S}{E} \right)^2$$

Donde:

$N_1$  = Tamaño real de la muestra.

E = Error muestral en kg/hab-día, recomendándose emplear un valor comprendido en el siguiente intervalo:

0.04 kg/hab-día  $\frac{3}{4}$  E  $\frac{3}{4}$  0.07 kg/hab-día

s = Desviación estándar de la premuestra

t = Percentil de la distribución "t" de Student, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

Sabiendo que (n) es el valor de la premuestra, se puede encontrar las siguientes situaciones: Si  $n_1 > n$ , entonces  $n_1 = n_1 - n$ ; por lo tanto  $n_2 > 0$ .

El tamaño de la muestra ( $n_1$ ) resulta ser mayor que el tamaño de la premuestra (n); por lo que se debe obtener en campo las ( $n_2$ ) observaciones faltantes de la misma zona de estudio de donde se obtuvieron las ( $n_1$ ) observaciones de la premuestra, para cumplir con la confiabilidad deseada para el muestreo.

Para este caso se debe realizar un nuevo análisis estadístico, que tome en cuenta tanto a los (n) elementos de la premuestra, como a los ( $n_2$ ) elementos faltantes para la muestra.

Si  $n < n_1$ ; entonces  $n = 0$ .

El tamaño de la muestra ( $n_1$ ) es igual al tamaño de la premuestra (n), por lo cual no se requieren más elementos ( $n_2$ ) para considerar válido el muestreo. Por ello se acepta el análisis estadístico realizado en el punto anterior.

Si  $n < n_1$ , entonces  $n = 0$ .

En este caso, el tamaño de la premuestra resulta mayor al de la muestra, tomándose dicho valor como el tamaño real de la muestra, por lo que no deben eliminarse los elementos sobrantes de la premuestra, ya que pueden ampliarse en un momento dado el nivel de confianza del muestreo. De acuerdo con lo anterior, los estadísticos obtenidos para la premuestra, se consideran válidos también para la muestra, por lo que no hay necesidad de realizar un nuevo análisis estadístico.

5.2.6 Realizar un análisis de confiabilidad, con el fin de poder aceptar o rechazar los estadísticos de la muestra como los parámetros del universo de trabajo, para el nivel de confianza establecido. Esta fase del procedimiento estadístico consiste en realizar una prueba de hipótesis en dos colas, o bien ya sea en la cola izquierda o en la cola derecha de la distribución empleada para este análisis con el fin de definir la media muestral (X) es igual o difiere de la media poblacional (M). Puede emplearse para este análisis, la tabla No. 4 (Ver Apéndice) correspondiente a la distribución normal.

Esta fase, consiste en el establecimiento de la hipótesis nula  $H_0$  y de la hipótesis alternativa  $H_1$ .

La hipótesis nula a comprobar o rechazar, es que la media muestral, no difiere de la media poblacional.

$$H_0 : \bar{X} = \mu$$

La hipótesis alternativa es lo contrario de la hipótesis nula, es decir:

$$H_1 : X < \mu$$

En caso de aceptarse la hipótesis nula, se concluye que los estadísticos de la muestra, pueden ser tomados como los parámetros del universo de trabajo. Si la hipótesis alternativa se acepta, los estadísticos de la muestra no deben ser tomados como los parámetros del universo de trabajo; por lo que es necesario realizar un nuevo muestreo y desechar el analizado.

5.2.7 Prueba de la razón de varianza (F).

Esta prueba se emplea para aceptar o rechazar la siguiente hipótesis:

"La media poblacional estimada para un determinado estrato socioeconómico, es igual a las medias poblacionales estimadas de los demás estratos socioeconómicos en que se sub-dividió la población muestreada."

Lo anterior es con el fin de poder concluir, que en un momento dado se puede emplear un valor promedio de la generación de residuo per-cápita diario, para todos los estratos socioeconómicos de la población muestreada: sólo en los casos en que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología lo considere pertinente, se realizará la prueba de la razón de varianzas (F), por lo tanto para un análisis de la información de tipo corriente, no se requiere realizar esta prueba.

La razón (F); se expresa entre dos varianzas poblacionales estimadas independientemente, como sigue:

$$F = \frac{(S_1)^2}{(S_2)^2}$$

Donde el subíndice, indica el número de la muestra y cada (S)<sup>2</sup>, representa la estimación de la varianza poblacional basada en la muestra.

Cuando las dos varianzas poblacionales estimadas sean iguales, la razón (F) debe ser la unidad.

Si (F) no es igual, la diferencia puede ser atribuida al azar (no es significativa), o puede no ser atribuida al azar (es significativa ya sea demasiado grande o demasiado pequeña). Para tomar tales decisiones, debemos confiar en la distribución del estadístico (F).

De acuerdo con lo anterior, la hipótesis para realizar esta prueba, es que las medidas poblacionales normalmente distribuidas, de los estratos socioeconómicos sean iguales.

Cuando combinamos las poblaciones de cada estrato en una única población<sup>2</sup> grande, se espera que la media y la varianza de la población grande (M<sub>1</sub><sup>2</sup>), sean iguales a las de las poblaciones originales de los estratos:

$$\mu = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3; S_1^2 = S_2^2 = S_3^2$$

Debe entenderse como "población grande", a la compuesta por las poblaciones de los estratos socioeconómicos muestreados.

La población No. 1, es el universo de trabajo compuesto por el estrato socioeconómico bajo; mientras que la población No. 2, corresponde al universo de trabajo definido por el estrato socioeconómico medio, y así sucesivamente con los demás estratos.

El procedimiento seguido para realizar esta prueba, se describe a continuación:

Calcular la varianza entre clases (o entre muestras) con la siguiente expresión:

$$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^m n_i (X_i - X)^2}{m - 1}$$

Donde:

- m = Número de muestras.
- i = Número de la muestra.
- n<sub>i</sub> = Tamaño de la muestra extraída de la población "i".
- X<sub>i</sub> = Media de los elementos de la muestra "i".
- X = Media de todos los elementos de la muestra grande.
- (X<sub>i</sub> - X) = Desviación entre la medida de la muestra "i" y la media de la muestra grande.
- (X<sub>i</sub> - X)<sup>2</sup> = Cuadrado de la desviación (variación).

Calcular la varianza intra clases (o dentro de la muestras individuales) con la siguiente expresión:

$$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^m n_i (X_i - X)^2}{r - m}$$

Donde:

- i = Número de la muestra.
- j = Número del elemento.
- X<sub>j</sub> = Elementos en la muestra "i".
- r = Número de elementos de la muestra grande.

$$\left( r = \sum_{i=1}^m n_i \right)$$

Para realizar esta prueba, se emplea la tabla No. 5 (Ver Apéndice) la cual corresponde a la distribución "F" de Fisher.

Sólo en el caso que la diferencia se deba al azar, se trabaja con una generación per-cápita promedio, para todos los estratos socioeconómicos analizados.

## 6.- GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS NO DOMESTICOS

### 6.1 Procedimiento.

El valor de esta generación se puede obtener, adecuando el procedimiento descrito en el inciso 5.1 siempre y cuando se pueda determinar confiablemente el tamaño de la premuestra con base en la siguiente expresión:

$$n = \left( \frac{Z}{E} \right)^2$$

Donde:

- n = Tamaño de la muestra. (número de fuentes por muestra)
- E = Error muestral, en kg/fuente-día.
- S = Desviación estándar poblacional, en kg/fuente-día.
- Z = Percentil de la distribución normal, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

Para aplicar la expresión anterior, se debe definir primero los giros municipales excepto el doméstico, que se pretende muestrear en la localidad.

6.1.2 De no poder determinar la generación de estos residuos conforme a lo descrito en el punto 6.1; obtener a partir de un balance de materia, del proceso o giro que se trate. Para tal situación se debe conocer lo siguiente:

- Las fronteras del sistema.
- Las actividades que cruzan u ocurren dentro de sus fronteras
- La generación de residuos sólidos asociada con estas actividades.

Estos residuos se relacionan con el número de clientes, monto de ventas, área de establecimiento o giro municipal.

Sólo en el caso de que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, lo considere conveniente, se le dará a la información, un tratamiento diferente a lo expuesto; en tal caso, la misma Secretaría, establecerá el procedimiento más adecuado.

CEDULA DE ENCUESTA DE CAMPO PARA EL MUESTREO DE GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS

No. DE MUESTRA ----- No. ALEATORIO -----

POBLACION ----- MUNICIPIO O DELEGACION ----- ENTIDAD FED ----

CALLE ----- NUM ----- C.P. -----

COLONIA ----- NIVEL SOCIOECONOMICO -----

HABITANTE POR CASA ----- FREC. DERECH. ----- TIPO DE RECIPIENTE -----

QUE HACE CON LOS RESIDUOS SOLIDOS SI NO PASA EL CAMION? -----

SU OPINION SOBRE EL SERVICIO DE RECOLECCION BUENA ---- MALA ---  
REGULAR ---

NOMBRE DEL ENCUESTADOR -----

PUESTO QUE DESEMPEÑA -----

INSTITUCION O EMPRESA -----

No	FECHA	DIA	PESO DE LOS RESIDUOS	GENERACIÓN PER-CAPITA	OBSERVACIONES
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

TABLA No. 1  
NUMEROS ALEATORIOS

85967	73152	14511	85285	36009	95892	36962	67835	63314	50162
07483	51453	11649	86348	76431	81594	95858	36738	25014	15460
96283	01898	61414	83525	04231	13604	75339	11730	85423	60698
49174	12074	98551	37895	93547	24769	09404	76548	05393	96770
97366	39941	21225	93629	19574	71565	33413	56087	40875	13351
90474	41469	16812	81542	81652	45554	27931	93994	22375	00953
28599	64109	09497	76235	41383	31555	12639	00619	22909	29563
25254	16210	89717	65997	82667	74624	36348	44018	64732	93589
28785	02760	24359	99410	77319	73408	58993	61098	04393	49245
84725	86576	86944	93296	10081	82454	76810	52975	10324	15457
41059	65456	47679	65810	15941	84602	14493	65515	19251	41642
67434	41045	82830	47617	36932	46728	71183	36345	41404	81110
72766	68816	37643	19959	57550	49620	98480	25640	67257	18671
92079	46784	66125	94932	64451	29275	57669	66658	30818	58353
29187	40350	62533	73603	34075	16451	42885	03448	37390	96328
74220	17612	65522	80607	19184	64164	66962	82310	18163	63495
03786	02407	06098	92917	40434	60502	82175	04470	78754	90775
75085	55558	15520	27038	25471	76107	90832	10819	56797	33751
09161	33015	19155	11715	00551	24909	31894	37774	37953	78837
75707	48992	64998	87080	39333	00767	45637	12538	67439	94914
21333	48660	31288	00086	79889	75532	28704	62844	92337	99695
65626	50061	42539	14812	48895	11195	34335	60492	70650	51108
84380	07389	87891	76255	89604	41372	10837	66992	93183	56920
46479	32072	80083	63868	70930	89654	05359	47196	12452	38234
59847	97197	55147	76639	76971	55928	36441	95141	42333	67483
31416	11231	27904	57383	31852	69137	96667	14315	01007	31929
82065	83436	67914	21465	99605	83114	97885	74440	99622	87912
01850	42782	39202	18582	46214	99228	79541	78298	75404	63648
32315	89276	89582	87138	16165	15984	21466	63830	30475	74729
59383	42703	55198	80380	67067	97155	34160	85019	03257	78140
58089	27632	50987	91373	07736	20436	96130	73483	85332	24384

31705	57285	30392	23660	75841	21931	04295	00875	09114	32101
18914	98982	60199	99275	41967	35208	30357	76772	92656	62318
11965	94089	34803	48941	69709	16784	44642	89761	66864	62803
85251	48111	80936	81781	93248	67877	16498	31924	51315	79921

65121	95986	84844	93873	46352	92183	51152	85878	30490	15974
53972	96642	24199	58080	35450	03482	65953	49521	63719	57615
34509	16594	78883	43222	23093	58645	60257	89250	63266	90858
37700	07688	65533	72126	23611	93993	01848	03910	38552	17472
85466	59392	72722	15473	73295	49759	56157	60477	83284	56367

52969	55863	42312	67842	05673	91878	82736	36563	79540	61940
42744	68315	17514	02878	97291	74851	42725	57894	81434	62041
26140	13336	67726	61876	29971	99294	96664	52817	90039	53211
95589	56319	14563	24071	06916	59555	18195	32280	79367	04224
39118	13217	59999	49952	83021	47709	53105	19295	88318	41626

41392	17622	18994	98283	07249	52289	24209	91139	30715	06604
54684	53645	79246	70183	87731	19185	08541	33519	07223	97413
89442	61001	36658	57444	95388	36682	38052	46719	09428	94012
36751	16778	54588	15357	68003	43564	90976	58904	40512	07725
06159	02564	21416	74944	53049	88749	02865	25772	89853	88714

TABLA No. 2

CRITERIO PARA RECHAZO DE OBSERVACIONES DISTINTAS

No. DE ESTADISTICO	No. DE OBSERVACIONES	PERCENTILES MAXIMOS							
		.70	.80	.90	.95	.98	.99	.995	
r 1	3	.584	.781	.886	.941	.976	.998	.994	
	4	.471	.560	.579	.765	.846	.889	.926	
	5	.373	.451	.557	.642	.729	.780	.821	
	6	.318	.386	.482	.550	.644	.698	.740	
r 11	7	.261	.344	.434	.507	.586	.637	.680	
	8	.318	.385	.479	.554	.631	.683	.725	
	9	.288	.352	.441	.512	.587	.635	.677	
r 21	10	.265	.325	.409	.477	.551	.597	.639	
	11	.391	.442	.517	.576	.638	.679	.713	
	12	.370	.419	.490	.546	.605	.642	.675	
r 22	13	.351	.399	.457	.521	.578	.615	.649	
	14	.370	.421	.492	.546	.602	.641	.674	
	15	.353	.402	.472	.525	.579	.616	.647	
	16	.333	.386	.454	.507	.559	.595	.624	
	17	.325	.373	.438	.490	.542	.577	.605	
	18	.314	.361	.424	.475	.527	.561	.589	
	19	.304	.350	.412	.462	.514	.547	.575	
	20	.295	.340	.401	.450	.502	.535	.562	

21	.287	.331	.391	.440	.491	.524	.551
22	.260	.323	.382	.430	.481	.514	.541
23	.274	.316	.374	.421	.472	.505	.532
24	.268	.310	.367	.413	.454	.497	.524
25	.262	.304	.360	.406	.457	.489	.516

TABLA No. 3  
PERCENTILES DE LA DISTRIBUCION "t"

Grados de Libertad	t							
	t.60	t.70	t.80	t.90	t.95	t.975	t.993	t.995
1	.325	.727	1.376	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	.289	.617	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	.277	.584	.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	.271	.569	.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	.267	.559	.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
r 6	.265	.553	.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	.263	.549	.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	.262	.546	.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	.261	.543	.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	.260	.542	.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
r 11	.260	.540	.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	.259	.539	.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	.259	.538	.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	.258	.537	.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	.258	.536	.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
r 16	.258	.535	.865	1.337	1.745	2.120	2.583	2.921
17	.257	.534	.863	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	.257	.534	.862	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	.257	.533	.861	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	.257	.533	.860	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
r 21	.257	.532	.859	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	.256	.532	.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	.256	.532	.858	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	.256	.531	.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	.256	.531	.856	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
r 26	.256	.531	.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	.256	.531	.855	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	.256	.530	.855	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	.256	.530	.854	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	.256	.530	.854	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
r 40	.255	.529	.851	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	.254	.527	.848	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	.254	.526	.845	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	.253	.524	.842	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

TABLA No. 4

DISTRIBUCION NORMAL ACUMULATIVA-VALORES DE Z  $p = 1-a/2$   
 VALORES DE Z CORRESPONDIENTES A PARA LA CURVA NORMAL  
 Z ES LA VARIABLE NORMAL STANDARD

p	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.00	-.233	-2.05	-1.88	-1.75	-1.64	-1.55	-1.48	-1.41	-1.34	
.10	-1.28	-1.23	-1.18	-1.13	-1.08	-1.04	-0.99	-0.95	-0.92	-0.88
.20	-0.84	-0.81	-0.77	-0.74	-0.71	-0.67	-0.64	-0.61	-0.58	-0.55
.30	-0.52	-0.50	-0.47	-0.44	-0.41	-0.39	-0.36	-0.33	-0.31	-0.28
.40	-0.25	-0.23	-0.20	-0.18	-0.15	-0.13	-0.10	-0.08	-0.50	-0.03
.50	0.00	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23
.60	0.25	0.28	0.31	0.33	0.36	0.39	0.41	0.44	0.47	0.50
.70	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74	0.77	0.81
.80	0.84	0.88	0.92	0.95	0.99	1.04	1.08	1.13	1.18	1.23
.90	1.28	1.34	1.41	1.48	1.55	1.64	1.75	1.88	2.05	2.33

VALORES ESPECIALES

p	.001	.005	.010	.025	.050	.100
z	-3.090	-2.576	-2.326	-1.960	-1.645	-1.282
p	.999	.995	.990	.975	.950	.900
z	3.090	2.576	2.326	1.960	1.645	1.282

TABLA No. 5

PRIMERA PARTE  
 PERCENTILES DE LA DISTRIBUCION "F"

n = grados de libertad del numerador									
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n = grados de libertad del denominador									
2									
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.99	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.88
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.85	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.88
8	5.82	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.95	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.80	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.00	3.74	3.84	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.60	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.58	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.68	2.51	2.48
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.00	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.28	3.40	3.01	2.78	2.02	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.49	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12

## SEGUNDA PARTE

	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	5.96	5.91	5.85	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	4.74	4.68	4.52	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	2.45	2.38	2.31	2.28	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	2.41	2.34	2.27	2.19	2.16	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.50	1.84
21	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.95	1.92	1.87	1.81
22	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	2.16	2.09	2.01	1.93	1.85	1.84	1.79	1.74	1.63	1.62
40	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.56	1.51

NORLEX INTERNACIONAL, S.A. DE C.V.

FICHA TECNICA

## 12.3 METODOLOGIA RESUMIDA PARA EL ANÁLISIS DE RESIDUOS SÓLIDOS.

## 1. INTRODUCCIÓN

En cualquier ciudad, sea grande o pequeña, es esencial conocer la cantidad de basura a recoger y disponer y sus características tales como densidad, composición, humedad y poder calorífico, con el objetivo de diseñar técnicamente los sistemas de recolección, transporte y disposición final de la misma.

Sin embargo, los métodos estándares de análisis de residuos sólidos desarrollados en los países industrializados son bastante complicados y podrían estar fuera de alcance por la carencia de recursos físicos y humanos de las ciudades medianas y pequeñas que abundan en América Latina.

Este trabajo tiene por finalidad aclarar el objetivo del análisis de manera que facilite el conocimiento mínimo de cantidad y características de basura a manejar por los encargados del servicio de aseo en estas ciudades.

## 2. Objetivo del análisis de residuos sólidos

Los volúmenes de producción y características de residuos sólidos son muy variables, ciudad por ciudad, país por país, en función de los diferentes hábitos y costumbres de la población, de las actividades dominantes, del clima, de las estaciones y otras condiciones locales que se modifican con el transcurso de los años.

Estas variaciones influyen mucho en la búsqueda de la solución más apropiada a los problemas involucradas en las operaciones del servicio de aseo. Las operaciones básicas a las que es necesario dar solución son: el almacenamiento, la recolección y la disposición final.

En primer lugar es preciso, en el caso del almacenamiento, determinar las características que deben tener los receptáculos para almacenar los residuos sólidos en lo referente a su forma, tamaño y material, a fin de asegurar su fácil manejo y condiciones higiénicas. El tamaño se debe determinar en base a la frecuencia de recolección y al volumen de producción de basura per cápita por día PPC. En el caso de la basura húmeda, tal como la de América Latina, se debe reducir el uso de cajas de cartón como recipientes, ya que éstas se rompen fácilmente por el efecto de la humedad causando problemas al derramar la basura en las calles.

A continuación se debe determinar la frecuencia de recolección y seleccionar el tipo de, capacidad, etc., de los vehículos recolectores a emplear. En la determinación de la frecuencia se necesita tener en cuenta los siguientes factores:

- Composición física de la basura
- Condiciones climáticas
- Consideraciones sanitarias (ciclo de la mosca etc.)

- Recursos disponibles para la recolección.

En el caso de la basura Latinoamericana, se requiere una frecuencia de recolección de por lo menos dos veces por semana por un alto contenido de desperdicios y humedad.

En cuanto a la selección de los vehículos recolectores, es muy común en América Latina el uso de camiones compactadores ensamblados con especificaciones para países industrializados o fabricados en estos países. En este caso, la sobrecarga de los vehículos es muy probable por la alta densidad de la basura latinoamericana, por lo cual provoca el desgaste prematuro de los vehículos, sobre todo de los resortes y ejes traseros por lo tanto es muy importante seleccionar la combinación oportuna de cajas y chasis teniendo en cuenta las características de la basura en cuestión.

Finalmente, corresponde seleccionar el sistema de disposición final más conveniente. Esto debe hacerse desde el punto de vista sanitario y económico. De los distintos métodos de disposición final, el que parece ser el más adecuado a la realidad técnica y económica de América Latina es el relleno sanitario. Cuando se trata de seleccionar otros sistemas tales como compostificación, incineración y pirólisis, es indispensable analizar debidamente las características de la basura a disponer, a fin de identificar la factibilidad técnica y económica de estos sistemas en el medio.

En resumen, es indispensable que los funcionarios del servicio de aseo conozcan bien las características cuantitativas y cualitativas de los residuos sólidos actuales de su ciudad así como sus proyecciones futuras. Estos conocimientos son fundamentales para un debido cumplimiento de las siguientes tareas:

- Planeamiento adecuado del servicio de aseo a corto, mediano y largo plazo.
- Dimensionamiento del sistema de aseo
- Selección de equipos y tecnologías apropiados.

El análisis de la basura tiene como objetivo el permitir conocer en forma fidedigna dichas características, al objeto de contar con los antecedentes necesarios para dar correcta solución a los problemas que se plantean.

### 3. Toma de muestras

Generalmente, la cantidad, la composición y la densidad de la basura llevada al relleno son bastante diferentes que las de la basura generada debido a la activa recuperación de materiales tales como papeles, cartones, trapos, botellas y metales y a la compactación y espojamiento que se realizan en el transcurso del manejo de basura. Por ejemplo, la densidad de basura se altera a medida que se avanzan las etapas de su manejo como se muestra en el cuadro a continuación.

### EJEMPLO DE ALTERACIÓN DE DENSIDAD DE BASURA

Etapa	Densidad
A. Basura suelta en recipientes	200 kg/m <sup>3</sup>
B. Basura compactada en camiones compactadores	500 kg/m <sup>3</sup>
C. Basura suelta descargada en los rellenos	400 kg/m <sup>3</sup>
D. Basura recién llenada	600 kg/m <sup>3</sup>
E. Basura estabilizada en los rellenos (2 años después del relleno)	900 kg/m <sup>3</sup>

Por tanto, se necesita seleccionar una etapa más apropiada para la toma de muestras teniendo en cuenta el motivo de análisis. Por ejemplo, para la determinación del volumen de recipientes se debe medir la densidad de basura en la etapa arriba mencionada y para la selección de camiones compactadores se necesita la densidad de la etapa B. En el caso de dimensionamiento de celdas de relleno, es fundamental la medición de la densidad en la etapa D, y se debe usar la densidad de la etapa E en el cálculo de la vida útil del relleno. Si se trata de identificar la factibilidad de industrialización de basura, sería preferible tomar la muestra en la etapa A.

### 4. Número de muestras

En un programa de análisis por muestreo, la primera y más importante interrogante a responder es la referente al número de muestras. Si el número de muestras es muy pequeño, los resultados son de poca confiabilidad. Es necesario pues fijar un número mínimo de muestras tal que los resultados a obtener reflejen con cierto grado de confianza y reducido porcentaje de error las condiciones prevalecientes en el universo poblacional.

- 4.1. En el caso de que el objetivo principal del análisis sea la determinación del PPC de cada estrato socioeconómico (ingreso alto, medio, bajo zonas marginales, etc.) se necesita tomar aleatoriamente el siguiente número de muestras (vivienda) del estado en cuestión:

**NUMERO DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PPC DE CADA ESTRATO SOCIOECONÓMICO**

(Nro de viviendas a probar)

(1) Confiabilidad = 95%, Error permisible = 50 gr/hab/día

		Derivación estándar* de las muestras del estado en cuestión (gr/hab/día)				
		50	100	150	200	250
Nro. Total de viviendas del estrato en cuestión	500	3.8	14.9	32.2	54.7	80.6
	1,000	3.8	15.1	33.4	57.9	87.6
	5,000	3.8	15.3	34.3	60.7	94.2
	10,000	3.8	15.3	34.5	61.1	95.1
	Más de 50,000	3.8	15.4	34.6	61.4	95.9

- Derivación estándar de variable Xi (Xi = PPC de la vivienda i)

		Derivación estándar* de las muestras del estado en cuestión (gr/hab/día)				
		50	100	150	200	250
Nro. Total de viviendas del estrato en cuestión	500	14.9	54.7	108.3	164.8	217.2
	1,000	15.1	57.9	121.5	197.3	277.5
	5,000	15.3	60.7	134.6	234.3	356.8
	10,000	15.3	61.1	136.4	240.0	369.9
	Más de 50,000	15.4	61.4	137.9	244.7	381.2

\* Ibid

Por ejemplo, si es permisible un error de 50 gr/hab/día en la estimación de PPC del estrato y cuyo número total de viviendas sea 500, y la desviación estándar de las muestras de este estrato medidas a través del estudio anteriormente realizado tiene orden de 100 gr/hab/día, sería suficiente la toma de 15 (15>14.9) muestras (viviendas). Si no se cuenta con datos de estudios anteriores, se recomienda el uso de 200 gr/hab/día como desviación estándar. Es decir, se necesitan tomar 55 (55>54.7) muestras (viviendas) en vez de 15.

Si se requiere determinar el número necesario de muestras (n) para los casos no incluidos en las tablas arriba presentadas, se puede hacerlos por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{V^2}{\frac{E^2}{1.96} + \frac{V^2}{n}}$$

donde:

n= Nro. de viviendas a probar aleatoriamente.

V= Desviación estándar de la variables xi (xi= PPC de la vivienda i) (gr/hab/día)

E= Error permisible en la estimación de PPC (gr/hab/día)

N= Número total de viviendas del estrato en cuestion.

**4.2 Cuando se trata de determinar la composición física de basura.**

(porcentaje de cartones, metales, etc.) con el fin de identificar la factibilidad técnica y económica de recuperación de algunos materiales, sería necesaria la toma aleatoria del siguiente número de muestras:

**NUMERO DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACIÓN DE COMPOSICIÓN FÍSICA DE BASURA**

(Nro de muestras a tomar, confiabilidad = 95%)

		% estimado del componente en cuestión					
		1.0	2.0	5.0	10.0	20.0	40.0
Error permisible en la determinación de e%	0.1	1540					
	0.2	401	754				
	0.5		129	292			
	1.0		36	77	139	240	355
	2.0			21	36	61	89
	5.0				6.4	10.3	14.4

Nota: Esta tabla se basa en la desviación estándar transformada 0.1962 medida en vez de la cifra 0.1632 indicada por Klee y Carruth.

Por ejemplo si se requiere determinar el porcentaje de metales contenidos en la basura cuya cifra estimable es el 5.0% y se permita un error del 1.0% con la confiabilidad del 95%, sería necesaria la toma de por lo menos 77 muestras. Como se explica más adelante en el inciso a. del ítem 7.1, cada muestra aleatoriamente tomada deberá tener un volumen de 1m<sup>3</sup> aproximadamente.

**5. Prueba de densidad**

5.1 La medición de la densidad de la basura en la etapa A, B o C se hace en la siguiente forma:

- Se prepara un tambor de alrededor de 100 litros que servirá para el muestreo y una balanza de pie.
- Se pesa el tambor y se mide su volumen
- Se pone la base en el tambor sin hacer presión y se remece de manera que se llenen los espacios vacíos en el mismo
- Se pesa una vez lleno y por diferencia se obtiene el peso de la basura

- e. Se obtiene la densidad de la basura al dividir su peso en kilogramos entre el volumen del tambor en metros cúbicos.

$$\text{Densidad de la basura } D (\text{kg/m}^3) = \frac{\text{Peso de la basura en Kg}}{\text{Volumen del tambor en m}^3}$$

5.2 La medición de la densidad de la basura recién llenada (etapa D) se hace de la siguiente manera:

- Se prepara una celda especial de tamaño de alrededor de 50m<sup>3</sup>. Es preferible preparar una trinchera por su conveniencia en la medición del volumen.
- Se mide el volumen de la trinchera
- Se llena la trinchera con la basura que fue llenada con una bascula para pasar camiones, espaciándola y compactándola en la forma empleada en el relleno en cuestión.
- Una vez llena esta trinchera, se suma el peso de la basura que ha sido colocada en la misma.
- Se obtiene la densidad de la basura recién rellena al dividir su peso9 determinado en d, entre su volumen determinado en b.

5.3 En el caso de la basura estabilizada en los rellenos (etapa E), se hace la medición de la densidad en la siguiente forma:

- Se hace la selección del sitio para ensayo, el cual debe tener registros de operación tales como el periodo de operación y los orígenes de la basura.
- Se raspa la tierra superficial del sitio con un tractor para retirar la tierra de cobertura
- Se hace la excavación con el empleo de una retroexcavadora, de un área de 25 m<sup>2</sup> midiendo 5m x 5m, hasta una profundidad de 2m logrando en esta forma 50m<sup>3</sup> de basura estabilizada.
- Se coloca la basura excavada en un camión basculante, mediante una pala mecánica. Se pesa este camión, de tara conocida, por una balanza para pesar camiones.
- Se obtiene la densidad de la basura estabilizada al dividir su peso, medido en d., entre su volumen, determinado en c.

## 6. Producción per cápita por día

Se toma la muestra de la etapa A diariamente, cubriendo ocho días sucesivos, puesto que hay una variación destacada dentro de ese plazo. Se debe destacar la muestra tomada el primer día de recojo, ya que la duración de almacenamiento para esa muestra no se conoce. Se mide el peso de la muestra usando una balanza de pie en la misma manera que el punto 5.1 supra.

Se puede determinar la PPC (producción per cápita por día) del modo

$$PPC (\text{gr / hab / dia}) = (1/7) \frac{(A1/B1) * P1 + (A2/B2) * P2 + (A3/B3) * P3 + (A4/B4) * P4}{P1 + P2 + P3 + P4}$$

donde:

P1, P2, P3 y P4= Número de habitantes en las zonas comercial, residencial (ingreso alto), residencial (ingreso medio) y residencial (ingreso bajo), respectivamente.

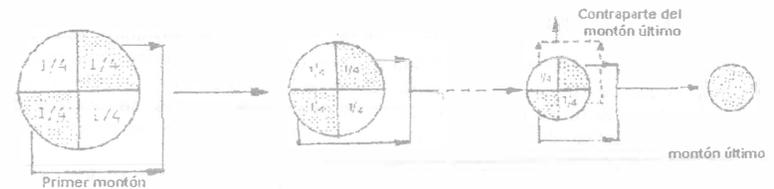
A1, A2, A3 y A4= Peso de las muestras de una semana completa tomada de una de las zonas arriba mencionadas (gr/semana)

B1, B2, B3 y B4= Número de habitantes correspondientes a la muestra tomada de cada zona arriba mencionada.

## 7. Prueba de composición física (base húmeda)

7.1 La determinación de la composición física (base húmeda) a la basura se hace de la siguiente manera:

- Se toma la muestra de alrededor de 1m<sup>3</sup> llevándola a un lugar pavimentado de preferencia en donde se vierte formando un montón.
- Se rompen bolsas y se cortan cartones y maderas contenidas en la basura hasta conseguir un tamaño de 15 cm por 15 cm o menos.
- Se homogeniza la muestra mezclándola toda.
- El montón se divide en cuatro partes y se escoge dos opuestas para formar otra muestra representativa más pequeña. La muestra menor se vuelve a mezclar y se divide en cuatro partes, luego se escoge dos opuestas y se forma otra muestra más pequeña. Esta operación se repite hasta obtener una muestra de 50 Kg De basura o menos.



- Se separan los componentes del montón último y se clasifican de acuerdo a las siguientes características:
- Papel y cartón
- Trapos
- Madera y follaje
- Restos de alimentos
- Plástico, caucho y cuero

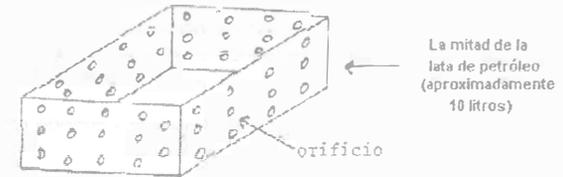
- k. Metales
- l. Vidrios
- m. Suelo y otros
- n. Los componentes se van clasificando en cilindros pequeños que pueden ser de 50 litros.
- o. Se debe pesar los cilindros antes de empezar la clasificación usando la balanza de pie
- p. Una vez terminada la clasificación se pesan los cilindros con los diferentes componentes y por diferencia se saca el peso de los componentes.
- q. Se saca un porcentaje (%) de los componentes teniendo los datos del peso total y el peso de cada clase.
- r. Se necesita realizar este análisis con la mayor rapidez posible para evitar demasiada evaporación de agua.

7.2 Cuando se trata de utilizar los datos de composición física así obtenidos, se necesita tener en cuenta la eficiencia de separación, es decir, el porcentaje del producto que se consigue separar mediante el proceso de reciclaje. Dichos porcentajes varían en función del proceso adoptado de separación. A continuación se presentan algunos valores de la Usina de Reciclaje Ing. Luiz Eduardo Bahía de la COMLURB, Río de Janeiro, que puedan servir como referencia para un preestudio y que tienen como base la separación manual, con excepción del material ferroso, que se supone debe ser separado mediante el proceso electromagnético:

EFICIENCIA DE SEPARACION	
Producto	% Eficiencia en la separación
Papel	5
Cartón	80
Plástico duro	70
Plástico lámina	60
Vidrio	40
Trapo de paño	60
Metal no ferroso	70
Metal ferroso	90

**8. Prueba de humedad**

- a. Se toma la contraparte del montón último en el análisis de la composición de basura, se mezcla y luego se forma un montón
- b. Se realiza la operación similar que la del punto d. del análisis de la composición de la basura hasta tener 50 litros de basura o menos.
- c. Se preparan unos 6 recipientes metálicos utilizando latas de petróleo de 20 litros y se pesan estos recipientes (W1).



- d. Se pone la muestra en los recipientes cortando bien los restos de frutas y verduras para facilitar la disecación.
- e. Una vez llenos se pesan (w2) y se colocan sobre un horno de pan o una caldera de vapor tres o cuatro días aprovechando el calor radiado.
- f. Una vez secos se pesan (w3) y se calcula la humedad de la basura usando la siguiente ecuación.
- g. 
$$\frac{W2 - W3}{W2 - W1} \times 100$$
- h. Humedad de la basura W (%) =

**9. Método para estimar el poder calorífico de la basura**

9.1 Para facilitar el cálculo del poder calorífico de la basura, en primer lugar se adoptan los siguientes valores como el poder calorífico de cada componente seco:

- a) Papel y cartón..... 4.000 kcal/kg
- b) Trapos..... 4.000 kcal/kg
- c) Madera y follaje..... 4.000 kcal/kg
- d) Restos de alimentos..... 4.000 kcal/kg
- e) Plástico, caucho y cuero..... 9.000 kcal/kg
- f) Metales..... ¿? 0 kcal/kg
- g) Vidrios..... ¿? 0 kcal/kg
- h) Suelo y otros..... ¿?..... 0 kcal/kg

Un segundo lugar, se supone que toda la humedad de la basura está en los componentes de las clases a, b, c y d.

Se calcula el poder calorífico superior de la basura (Ps) como sigue:

Por tanto, el poder calorífico superior de la basura (Ps) está dado por la ecuación siguiente:

$$Ps \text{ (kcal / kg)} = 40 (a + b + c + d - w) + 90e$$

Se calcula el poder calorífico inferior de la basura (Pi) usando la siguiente ecuación:

$$P_i \text{ (kcal / kg)} = P_s - \frac{W}{600} = P_s - 6W * 100$$

9.2 Cuando se trata de seleccionar el proceso de incineración como un método de tratamiento de la basura con el objeto de reducir su volumen y recuperar energía, hay que chequear el poder calorífico inferior de la basura usando las siguientes normas:

- $P_i$  para incinerar la basura sin combustible auxiliar - cuando menos 1.000 Kcal/kg
- $P_i$  para recuperar energía - cuando menos 1.500 Kcal/kg.

También se debe considerar cuidadosamente la disponibilidad de capital inicial y de recurso humano bien calificado para operario, aunque estos son generalmente muy difíciles de conseguir en los países en desarrollo. Como regla general se puede decir que la incineración no es apropiada en los países en desarrollo a excepción de la incineración de residuos sólidos hospitalarios.

## 12.4 RELLENO SANITARIO MANUAL PARA PEQUEÑAS POBLACIONES

### 1 GENERACIÓN Y DENSIDAD DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

#### 1.1 PRODUCCIÓN PER CÁPITA

$$ppc = \frac{Dsr \text{ en una semana}}{Pob * 7 * Cob} \text{ [Kg / hab - día]}$$

ppc = producción por habitante por día ( Kg/hab-día). Si no se tienen estudios considerar 0.5 Kg/hab-día.

Dsr = Cantidad de desechos sólidos recolectados en una semana

Pob = población área urbana (hab)

7 = Días de la semana

Cob = Cobertura del servicio de limpia (%)

#### 1.2 PRODUCCIÓN TOTAL

$$Dsp = Pob * ppc$$

Dsp = Cantidad de desechos sólidos producida

Pob = población área urbana

Ppc = producción per cápita

#### 1.3 DENSIDAD

Se puede considerar

- Celda diaria: densidad basura recién compactada 400 a 500 (Kg/m<sup>3</sup>)
- Volumen del relleno: densidad de la basura estabilizada 500 a 600 (Kg/m<sup>3</sup>)

### 2 CALCULO DE VOLUMEN Y DEL ÁREA REQUERIDA

Los requerimientos de espacio de relleno esta en función de:

- Producción diaria de desechos sólidos (100% ó la cantidad recolectada)
- Densidad de los desechos estabilizados
- Cantidad del material de cobertura (20-25%) del volumen estabilizado

#### 2.1 VOLUMEN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

$$V_{diario} = \frac{Dsp}{Drsm}$$

$$V_{anual} = V_{diario} * 365$$

$V_{diario}$  = Volumen de los desechos a disponer en un día (m<sup>3</sup>/día)

$V_{anual}$  = Volumen de los desechos en un año (m<sup>3</sup>/año)

Dsp = Cantidad de desechos sólidos producidos (kg/día)

Drsm = densidad de los desechos sólidos recién compactados (400-500 Kg/m<sup>3</sup>) y estabilizados (500-600 Kg/m<sup>3</sup>)

365 = Días de un año

#### 2.2 VOLUMEN NECESARIO

$$V_{RS} = V_{anual} * MC$$

$V_{RS}$  = Volumen del relleno sanitario (m<sup>3</sup>/año)

MC = Factor de material de cobertura (1.2 a 1.25)

#### 2.3 ÁREA REQUERIDA

Con el volumen calculado se puede estimar el área requerida para el relleno, solamente si se puede estimar en forma aproximada la profundidad o altura del relleno. Para esto es necesario tener una idea de la topografía de los sitios probables.

El relleno sanitario manual se recomienda que debe proyectarse para un tiempo mínimo de dos a cinco años dependiendo de los posibles lugares que se destinen para ello, aunque de preferencia debe buscarse un lugar suficiente para 10 años.

El área requerida depende principalmente de factores como:

- Cantidad de desechos sólidos a disponer
- Cantidad de material de cobertura
- Densidad de compactación de los desechos sólidos
- Profundidad o altura del relleno sanitario
- Capacidad en volumen del terreno
- Áreas adicionales para obras complementarias

### 3 METODOS DEL RELLENO

#### 3.1 SELECCIÓN DEL METODO

Puede ser trinchera, área, por depresión o combinado.

El diseño debe contar con los planos que orienten la construcción:

- General, conteniendo los límites del terreno y la conformación del terreno natural
- Configuración inicial del desplante
- Configuraciones parciales del relleno

#### 3.2 CALCULO DE LA CELDA

Las dimensiones y el volumen dependen de factores tales como:

- La cantidad diaria de desechos sólidos a disponer
- El grado de compactación
- La altura de la celda más cómoda para el trabajo manual
- El frente de trabajo necesario que permita la descarga de los vehículos de recolección

Dimensiones de la celda

-Área

$$Ac = \frac{Vc}{hc}$$

Ac = Área de la celda (m<sup>2</sup>/día)

Vc = Volumen de la celda diaria (m<sup>3</sup>)

hc = Altura de la celda (entre 1.0, 1.5 y 2.0)

-Largo o avance de la celda

$$l = \frac{Ac}{a}$$

l = Largo o avance de la celda

a = Ancho que se fija de acuerdo con el frente de trabajo, debe tenerse en cuenta que en pequeñas comunidades serán uno o dos vehículos como máximo descargando a la vez (ancho entre 3 y 6 metros)

-Talud

Como los taludes (perímetro) también requieren cubrirse con tierra, la relación de ancho a largo de la celda que menos material de cobertura requeriría sería la de un cuadrado. Esta medida se obtendrá entonces como la raíz cuadrada del área de la celda:

$$a = l = \sqrt{Ac}$$

### 4 CLAUSURA DEL TIRADERO MUNICIPAL EXISTENTE

Para la exitosa operación del sistema proyectado, se debe programar y clausurar el tiradero tradicional del municipio así como localizar y clausurar los demás tiraderos existentes en la zona.

Para las operaciones de la clausura del tiradero, en lo posible se debe realizar las siguientes acciones:

- Hacer las modificaciones necesarias al "Reglamento de Limpia" o a la legislación correspondiente.
- Hacer pública la clausura del tiradero, anunciando que ya no se permitirá la disposición de basura en ese lugar y además informar a la comunidad sobre la existencia y ubicación del relleno sanitario, solicitando su cooperación, para que en lo sucesivo se dirijan al lugar en que se encuentra.
- En especial a los comerciantes, que esporádicamente generan gran cantidad de basura y contratan a un particular para su disposición, informarles de la existencia del relleno sanitario, e indicarles que las depositen allí.
- Colocar avisos informando a la ciudadanía las sanciones que aplicarán a quienes infrinjan las normas dictadas al respecto
- Construir un cerco, de preferencia en los límites del terreno, para impedir el ingreso de personas extrañas y de animales
- Realizar un programa de exterminio de roedores y de artrópodos Figura 1. En esta actividad es importante la asesoría de los Servicios de Salud. Si este programa no se realiza, es posible que dicha fauna nociva al no disponer de guarida y alimento (por el enterramiento de la basura), emigren a las viviendas vecinas, con los consiguientes riesgos y problemas
- Inmediatamente después del exterminio, en todos los tiraderos se procede a cubrirlos con tierra bien compactada con una capa de 0.20 a 0.40 m de espesor, además se proveen los drenajes necesarios para evitar la erosión
- Sembrar vegetación sobre la tierra de cobertura en toda el área



Figura 1. necesario el exterminio de roedores

## 5 OPERACIÓN DEL RELLENO

### CONTROL DE OPERACIONES

Las labores en el relleno sanitario deben ser organizadas y supervisadas estrictamente para alcanzar los objetivos propuestos. Esto se logra con:

- El control del ingreso de residuos sólidos (portería). Tabla 1.
- El control de flujo de vehículos (portería).
- La orientación del tráfico y descarga (plaza de operaciones).
- La descarga en el frente de trabajo (supervisor).
- El control del tamaño y conformación de las celdas, con su respectivo material de cobertura (supervisor).
- La distribución adecuada del programa de trabajo (supervisor).
- El buen mantenimiento de las herramientas y dotación de implementos de protección de los trabajadores (supervisor).
- La vigilancia para impedir el ingreso de animales y personas extrañas y la excavación de materiales de los residuos sólidos en las celdas ya conformadas

### MANO DE OBRA

En el relleno sanitario manual, todas las operaciones están basadas en el trabajo desarrollado por obreros del municipio o comunidad. El número de trabajadores necesarios depende de la cantidad de desechos sólidos a enterrar, de las condiciones del clima y del método de construcción del relleno entre otros.

Es necesario contar además con un **responsable o supervisor de aseo** que tenga los conocimientos necesarios para dirigir esta obra en constante operación.

### HERRAMIENTAS

Para la operación del relleno sanitario manual, el equipo necesario se reduce al empleo de herramientas o utensilios de albañilería, tales como: carretillas de llanta neumática, pala, picas, azadones, barras, pisones de madera, así como de horquillas o rastrillos y un rodillo compactador. Figuras de la 2 a la 4.

La cantidad de estas herramientas está en función del número de trabajadores, y éstos a su vez dependen de la cantidad de desechos sólidos a enterrar en el relleno.

TABLA 1.  
Control de ingreso de Desechos Sólidos

Día	Fecha	No. Viajes	DESECHO SÓLIDOS		MATERIAL DE COBERTURA m <sup>3</sup>	OBSERVACIÓN
			Volumen m <sup>3</sup> /día	Cantidad Kg/sem.		
Lunes						
Martes						
Miércoles						
Jueves						
Viernes						
Sábado						
Subtotal						
Lunes						
Martes						
Miércoles						
Jueves						
Viernes						
Sábado						
Subtotal						
Lunes						
Martes						
Miércoles						
Jueves						
Viernes						
Sábado						
Subtotal						
TOTAL						

Peso (Kg) = Volumen(m<sup>3</sup>) x densidad(Kg/m<sup>3</sup>).



Figura 2. Herramientas de trabajo.

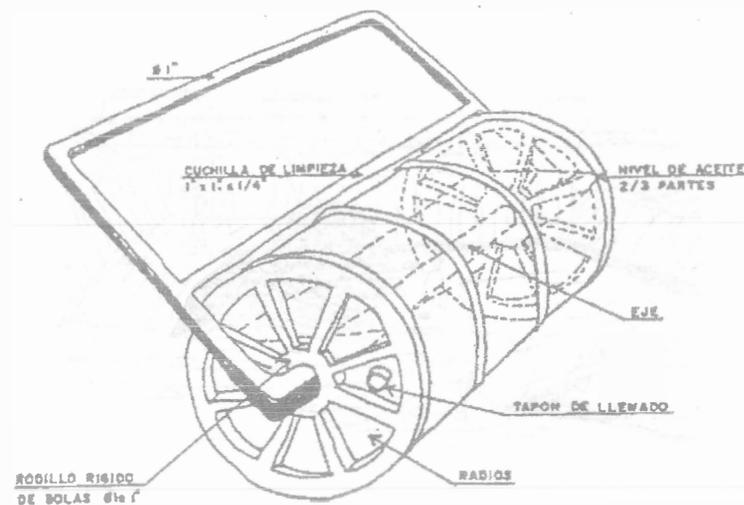


Figura 4. Barril de 55 galones acondicionado como rodillo compactador.

Para el acarreo del material de cobertura o basura, sobre las celdas ya construidas se recomienda la colocación en la superficie del relleno de unos tablones en forma lineal para facilitar el desplazamiento de las carretillas, sobre todo en época de lluvias, mejorando así los rendimientos en la operación. Fig. 5.

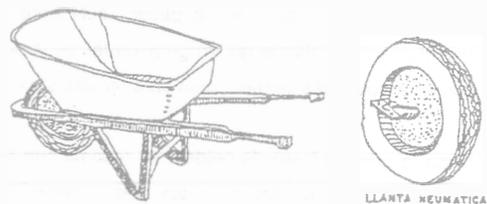


Figura 3. Carretilla de llanta neumática de 120 litros.

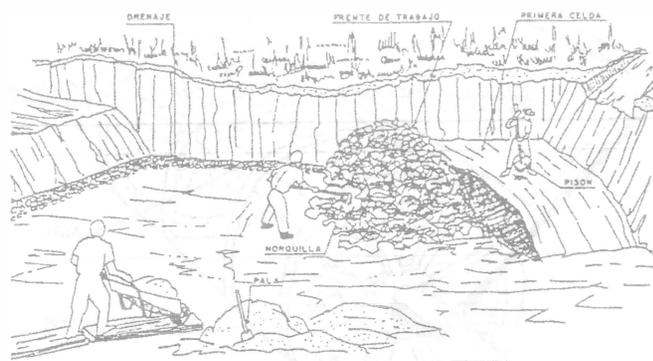


Figura 5. Desplazamiento de carretillas sobre el relleno.

### CONSTRUCCIÓN DE LAS CELDAS

El relleno sanitario manual debe llevarse a cabo siguiendo un plan general preconcebido, pero el **supervisor** estará facultado para obrar según su criterio cuando haya que resolver situaciones inesperadas como cambios de clima o emergencias.

Antes del inicio de la descarga de la basura, todas las obras de infraestructura del relleno deben estar construidas.

A diferencia de la operación que se realiza con equipo pesado, en la construcción de un relleno sanitario con **operación manual**, se recomienda que la basura y el material de cobertura sean descargados desde la parte superior de la celda ya terminada, a fin de facilitar el trabajo de los obreros para conformar la celda, manteniendo un **frente de trabajo estrecho**.

Es importante adiestrar a todos los trabajadores del servicio de aseo en la práctica no solo de construcción, operación y mantenimiento del relleno sanitario, sino también en todo el proceso del manejo de las basuras, destacando la importancia de cada actividad y el papel de su participación para lograr un buen trabajo.

El supervisor de aseo debe recordar que un trabajador tendrá mejores rendimientos, si se le ofrecen buenas condiciones para el desempeño de sus labores.

Pasos para la construcción de las celdas:

- Para la construcción de la **primera celda** se recomienda **delimitar el área** que ocupará, de acuerdo con las dimensiones estimadas basadas en la cantidad de desechos y grado de compactación fundamentalmente, esto dará una visión rápida y aclarará las dudas de los trabajadores.
- Descargar la basura en el **frente de trabajo** a fin de mantener una sola y estrecha área descubierta durante la jornada y evitar el acarreo de larga distancia.
- Esparcir la basura en capas delgadas de 0.20 a 0.30 m y compactar hasta obtener la altura recomendada para la celda en el **frente de trabajo**.
- Cubrir las basuras compactadas con la tierra **una vez al día al final de la jornada**, con el espesor suficiente para tapanlas completamente y rellenar las irregularidades de la superficie.
- Compactar todas las celdas hasta obtener una superficie uniforme.

Una vez completada la primera base de celdas, se recomienda hacer transitar el vehículo por encima de ellas en los períodos secos para lograr una mayor compactación. Se descargan los desechos en el frente de trabajo y se esparcen de arriba hacia abajo, manteniendo una pendiente de 3:1 (Horizontal:Vertical)

En las figuras 6 a 24 se puede apreciar el método constructivo y la operación manual del relleno.

▪ Método de área

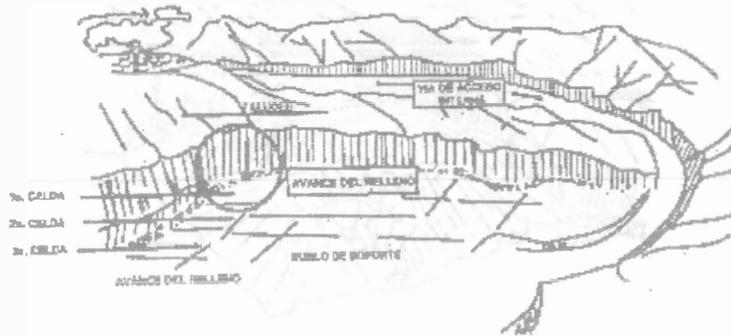


Figura 6. Terreno preparado para la construcción del relleno.



Figura 8. Esparcimiento de los desechos en el área limitada para la celda.

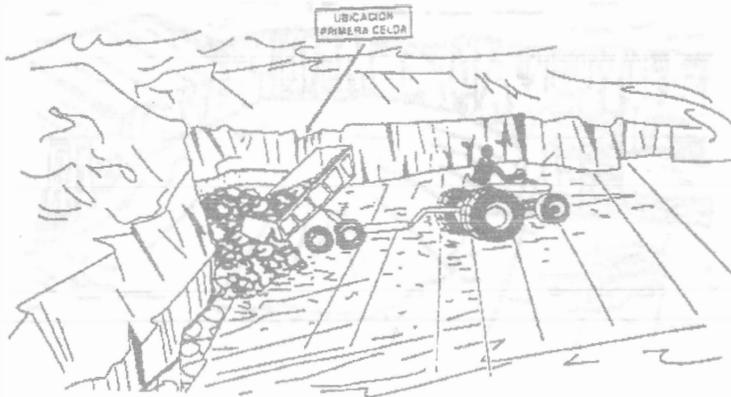


Figura 7. Descarga de los desechos sólidos.



Figura 9. Compactación de los desechos con el pisón de mano.



Figura 10. Extracción de la tierra para cubrir la basura.

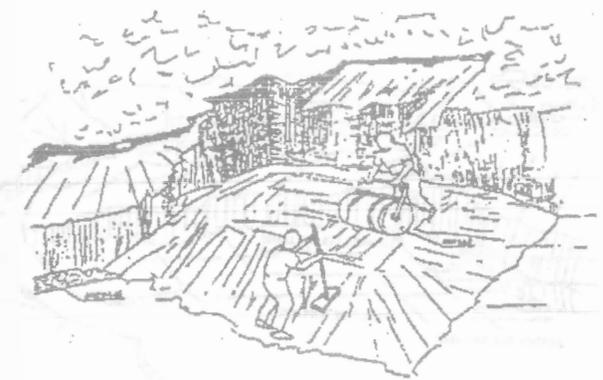


Figura 12. Compactación de la celda terminada (Primera Celda)



Figura 11. Cubrimiento de los desechos sólidos.

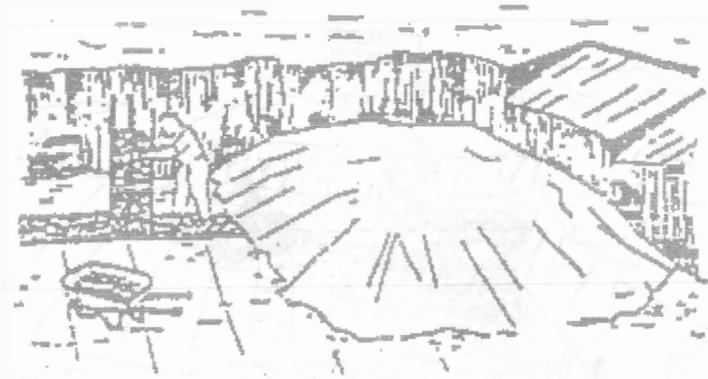


Figura 13. Construcción del drenaje de gases.

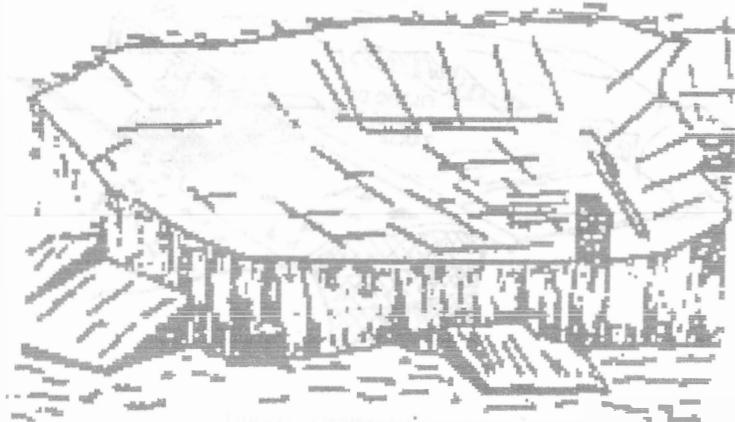


Figura 14. Construcción de la segunda celda apoyada en la primera

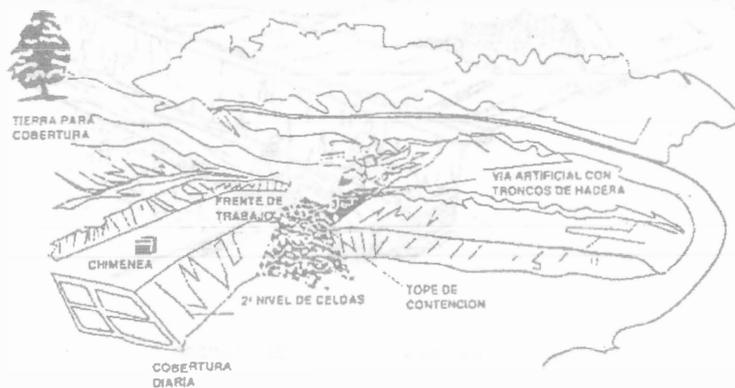


Figura 15. Construcción de la primera terraza del terreno

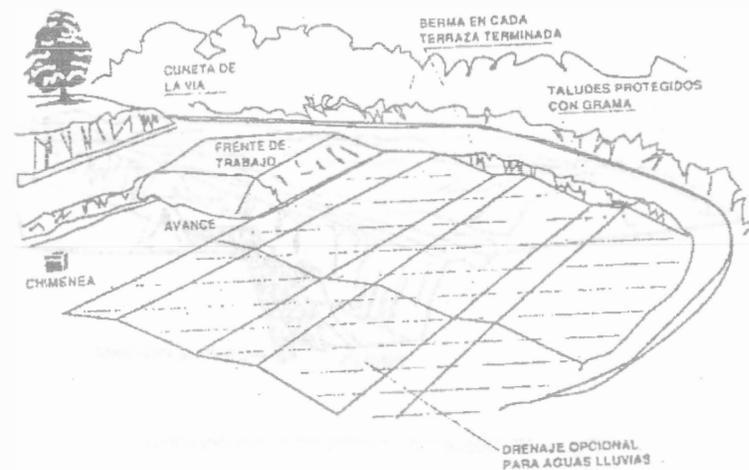


Figura 16. Construcción de la ultima terraza del terreno.

▪ Método de zanja o trinchera

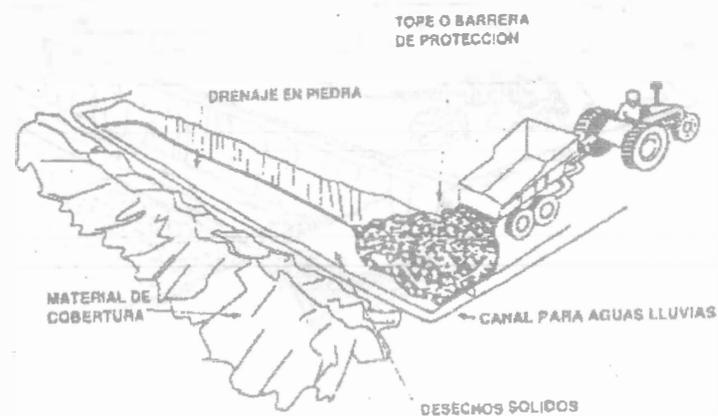


Figura 17. Descarga de los desechos sólidos

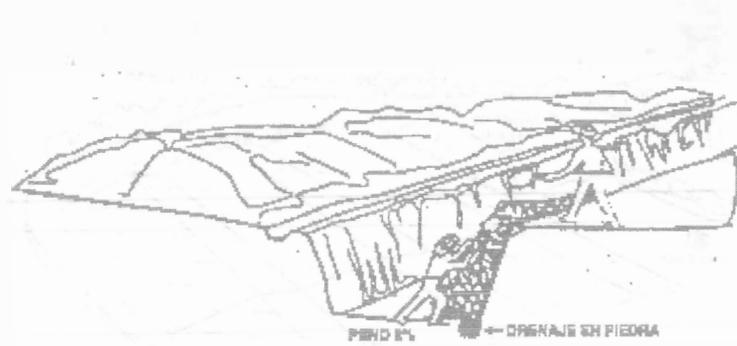


Figura 18. Descenso y nivelación de los desechos

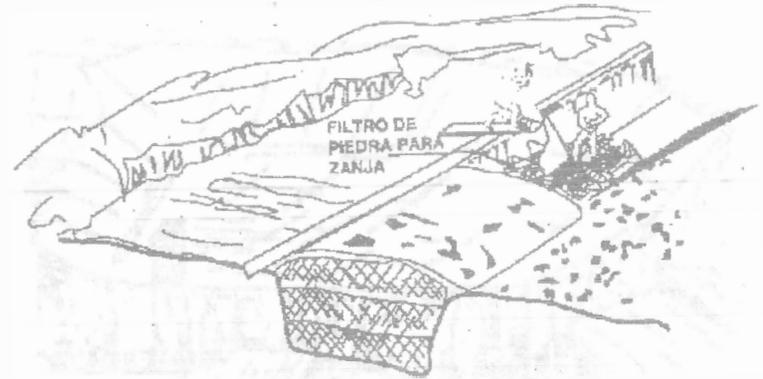


Figura 20. Compactación manual

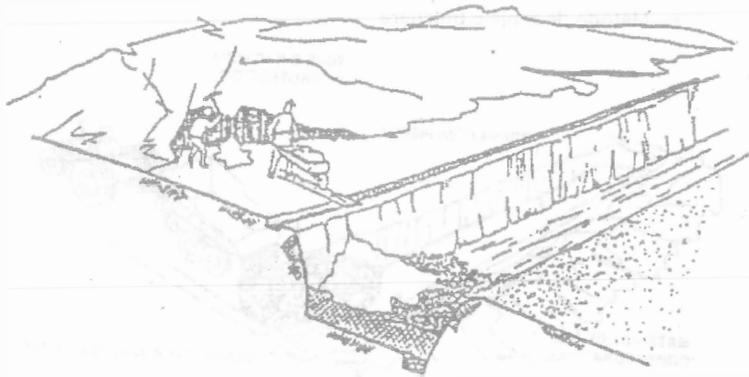


Figura 19. Conformación de la celda diaria.

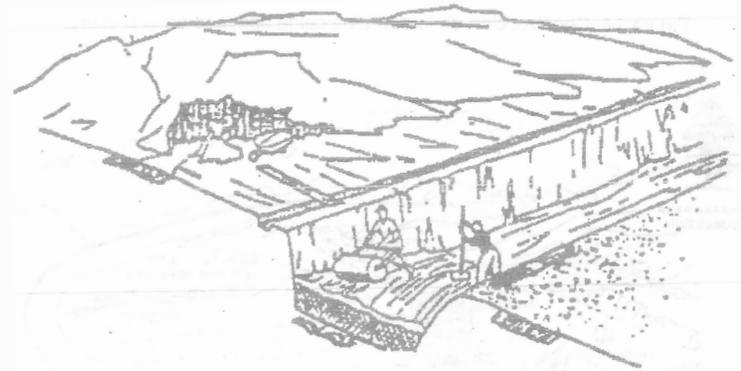


Figura 21. trinchera en proceso de rellenado.

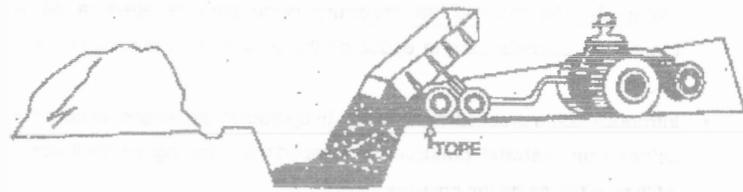


Figura 22. primera trinchera.

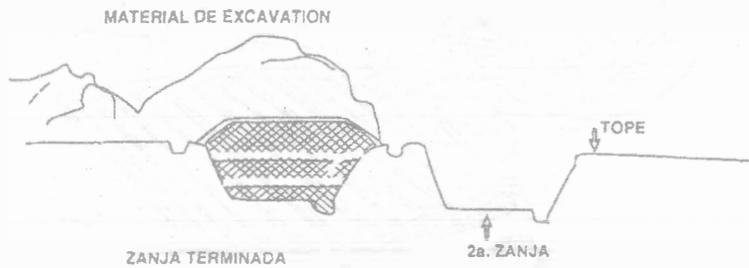


Figura 23. Segunda trinchera.

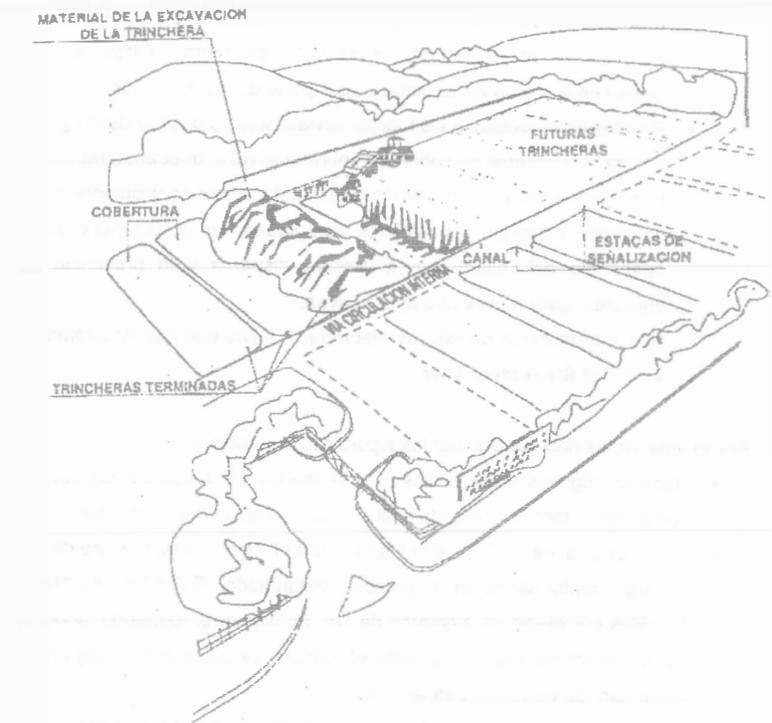


Figura 24. Avance del relleno en zanja o trinchera.

## 6. OPERACIÓN EN EPOCA DE LLUVIAS

En los periodos de lluvia se presentan los mayores problemas de operación en un relleno sanitario, como son:

- Difícil ingreso de los vehículos recolectores por encima de las celdas ya conformadas y posibles atascamientos debidos a la baja densidad alcanzada con la compactación manual.

- Dificultad para extraer y transportar el material de cobertura y además dificulta el trabajo de conformación de las celdas. Estos factores conducen a un menor rendimiento por parte de los operarios
- En ocasiones, debido a las fuertes lluvias, solo es posible descargar la basura y el material de cobertura sobre la terraza, quedando retrasada la conformación y compactación de las celdas, por consiguiente, si no se toman a tiempo las medidas apropiadas, se va deteriorando la apariencia del relleno por la basura dispersa y la presencia de zopilotes, gallinazos y otro tipo de aves.
- Mayor producción de lixiviado debido a la lluvia que cae directamente sobre las áreas rellenas.

Por lo anterior, es necesario tomar las siguientes previsiones:

- Reservar algunas áreas en los lugares menos afectados por las lluvias, con accesos bien conservados para operar en las peores condiciones.
- Construir una vía artificial, empleando para ello troncos de madera de 3m de largo, conformando un "empalado o entarimado". Estos troncos deben ir unidos por medio de alambroón de 1/8" de diámetro, formando módulos de 3m de ancho. Una vez armado el módulo, se cubre con cascajo para evitar que los vehículos patinen sobre ellos.

Este camino artificial se construye de acuerdo con las necesidades y avances del relleno en módulos de 3 m de longitud por 3 m de ancho, dado que éste es el tamaño comercial de estos troncos, los cuales (los módulos) pueden ser reutilizados en el futuro.

Se recomienda que los módulos sean armados en el sitio; el terreno debe estar bien compactado, para disminuir asentamientos, procurando además darle un buen drenaje provisional en tierra. Figuras 25 y 26.

- Aprovechar los escombros, producto de la demolición de viejas construcciones para conformar y mantener algunas vías internas.

- Durante uno o varios días de la semana reforzar la mano de obra, con una cuadrilla de dos o tres trabajadores más, para mantener el relleno en buenas condiciones mientras subsistan los factores adversos
- Programar el movimiento de tierras para los periodos secos, tanto para la extracción del material de cobertura como para la apertura de las trincheras, dejando para la época de lluvias sólo el enterramiento de la basura
- Introducir como practica de rutina en la operación del relleno, el cubrir las celdas con material plástico para impedir que las aguas de lluvia se infiltren a través de las basuras.
- Mantener áreas estrechas de trabajo, apoyando las celdas sobre el talud del terreno, y superponer tres o más celdas cerca de la vía interna para que el avance sea más en altura que en extensión. Figura 27.

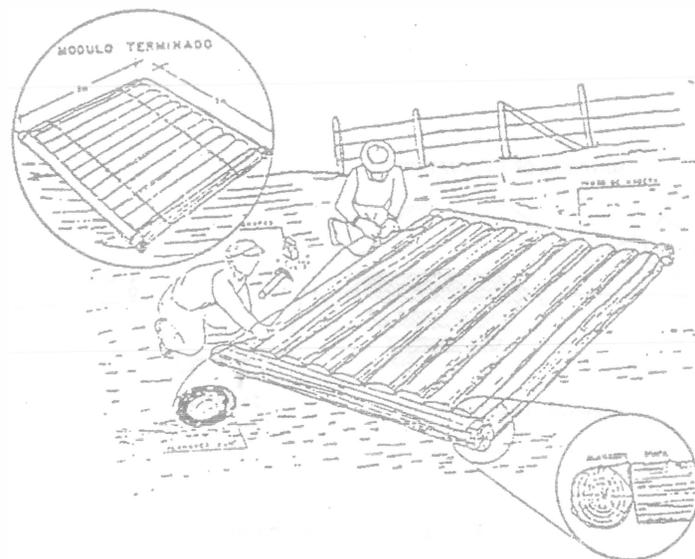


Figura 25. Construcción del módulo para el empalado

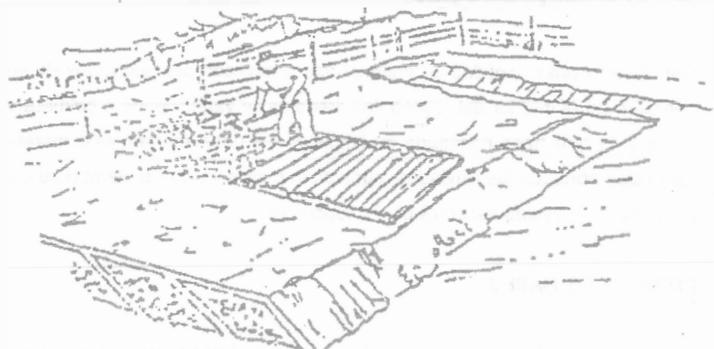


Figura 26. Colocar cascajo sobre el módulo.

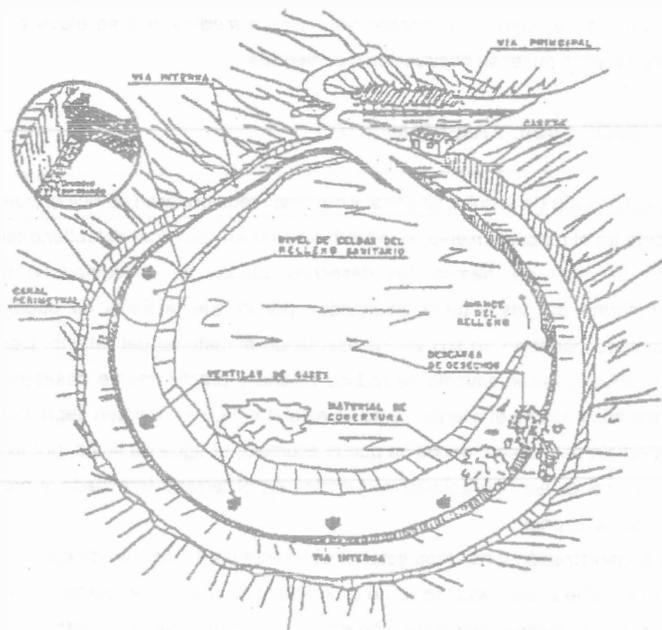


Figura 27. Operación del relleno en las áreas estrechas para zonas lluviosas.

## 7 HIGIENE Y SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN.

Debido al tipo de labores del servicio de aseo urbano (recolección, transporte y disposición final de basuras), los trabajadores están constantemente expuestos tanto a accidentes en la vía pública como a enfermedades infecto-contagiosas por tener que trabajar con desechos potencialmente contaminados. Estos accidentes pueden tener dos orígenes: uno por condiciones inseguras de trabajo y otro por negligencia por parte del propio trabajador.

Las principales condiciones inseguras del trabajo son:

- Recoger la basura manualmente, sin empleo de guantes y recogedores, lo que puede producir cortes y piquetes en las manos al encontrar vidrios rotos o metales afilados.
- Manejar recipientes muy grandes, inadecuados para el almacenamiento de las basuras lo que produce desgaste excesivo del trabajador, cortaduras, luxaciones y desgarramientos musculares al ser levantados para su traslado y vaciado al vehículo.
- Trabajar en jornadas excesivamente largas, con la consiguiente fatiga de los trabajadores.
- Carecer de uniformes adecuados y equipos individuales de protección.

Entre los actos de negligencia más comunes del propio trabajador se encuentran:

- No usar el equipo individual de protección.
- Ingerir bebidas alcohólicas durante la jornada de trabajo.
- Levantar en forma indebida recipientes u objetos pesados.
- No prestar atención al tráfico vehicular.

Por lo tanto, Se deben identificar cuidadosamente todas las condiciones inseguras así como las causas más comunes de accidentes de trabajo y riesgos a que esté expuesto el trabajador, además indicar, capacitar e insistir con el trabajador sobre los riesgos a que esta expuesto por negligencia, para darles la solución adecuada.



Figura 30. Recolección de material disperso en el área del relleno.

#### CONTROL DE INCENDIOS

En el área del relleno se debe evitar quemar papel, cartón, plásticos y otro material combustible para no correr el riesgo de propiciar un incendio, recordando que la descomposición de la basura produce metano también llamado "biogas" que es un gas combustible; además, esta acción deteriora el aspecto semejándolo a un tiradero a cielo abierto.

#### CONTROL DE AGUAS

Se debe conservar en buen estado el drenaje pluvial periférico (canal en tierra, cunetas y las pendientes) y la superficie del relleno. Asimismo el frente de trabajo debe tener drenajes para no perjudicar el movimiento de los vehículos.

#### DRENAJE DEL PERCOLADO

Debido a la gran cantidad de material fino arrastrado por las aguas de lluvia que percolan en el interior del relleno, los drenajes se van tapando o colmatando poco a poco, lo que hace necesaria su limpieza. Se debe extraer este material de la zanja que conduce los lixiviados, pues de lo contrario, con el tiempo su obstruirán y entonces el líquido escurrirá por la superficie.

#### DRENAJE DE GASES

Las chimeneas de gases se van deformando e inclinando debido principalmente a los asentamientos del relleno y al tránsito vehicular por encima de las celdas, por lo que es necesario mantenerlas verticales a medida que se eleva el nivel del relleno, para evitar su obstrucción o su pérdida.

#### ACABADO FINAL Y ASENTAMIENTO

La colocación de la cobertura final y del pasto requiere gran atención, pues no solo incide en el funcionamiento, sino también en la imagen final del relleno terminado. Con el paso del tiempo, los desechos sólidos se descomponen (parte se transforma en gas y parte en líquido), por lo que la tierra de cobertura y la humedad penetran en sus vacíos asentando el material del relleno. Después de dos años, el asentamiento se reduce mucho y prácticamente desaparece a los cinco años. Como el asentamiento no es uniforme, se producen depresiones en la superficie del relleno, donde se puede acumular el agua de lluvia; por lo tanto, se deben hacer las nivelaciones requeridas en el terreno terminado y procurar su adecuado drenaje.

La administración local debe estar al pendiente para que cuando concluya la vida útil del relleno sanitario, se le dé el acabado final y el mantenimiento necesario para que el terreno sea disfrutado por la comunidad, tal como debió preverse al inicio del proyecto, de otra forma la población no obtendrá uno de los beneficios de

### VIAS DE ACCESO

Las vías de acceso, frente de trabajo, redes de drenaje pluvial y superficie terminada del relleno, deben mantenerse en buenas condiciones operativas.

El costo del mantenimiento de los accesos es inferior al que representa la paralización de un vehículo recolector y la reparación del daño recibido, por ello deben almacenarse pedruscos, restos de demolición y tierra adecuada para estos trabajos. El frente de trabajo debe ser organizado y estar limpio.

### MATERIALES Y HERRAMIENTAS.

Debería proporcionarse a los trabajadores las herramientas necesarias (tabla 2) y llevarse el control diario de ellas.

Una vez concluidas las labores diarias, las herramientas deben limpiarse antes de guardarlas y en caso de estar dañadas o rotas, deben ser reparadas o sustituidas a la mayor brevedad.

Uno de los mayores problemas administrativos es el abastecimiento de materiales, del cual depende todo mantenimiento. Por lo tanto, es necesario planificarlo, esto incluye la previsión de piezas, herramientas para reparación y otros materiales que deben depositarse en el almacén del municipio. Es conveniente llevar un control de las herramientas e implementos suministrados a los trabajadores, tanto para su inventario como para establecer el tiempo de su reposición por daños. Como apoyo para este control se recomienda utilizar la tabla 2, esta tabla puede ser modificada según las necesidades de la operación del relleno.

### CONTROL DE MOSCAS

El control de moscas en el relleno no debe ni puede hacerse con insecticidas, ya que su excesivo empleo no sólo origina la contaminación del ambiente, sino que además desarrolla en las moscas la resistencia a los insecticidas, lo cual a largo plazo no permite un control adecuado, por lo tanto, debe disminuirse su uso y el

principal método de control debe ser el cubrimiento con la tierra. No obstante, como las moscas llegan con las basuras en los vehículos recolectores y en ocasiones resulta notoria su presencia, se recomienda fumigar el área del relleno, con la periodicidad que se requiera en cada caso. Figura 29.



Figura 29. Fumigación en el área del relleno sanitario.

### MATERIAL DISPERSO

Es importante mantener limpias las áreas adyacentes al frente de trabajo diario, puesto que en algunas ocasiones, cuando se dejan acumular en el terreno los papeles y plásticos arrastrados por el viento, se brinda un mal aspecto a la apariencia estética del relleno, además pueden trasladarse a los predios vecinos, se aconseja que uno de los trabajadores, utilizando un saco o costal, recoja todos estos materiales dispersos antes del término de la jornada diaria ya sea en forma manual (Figura 30), o con un vástago de madera que tenga una punta metálica, una vez recolectados, debe vaciar el costal o saco en el sitio donde se construye la última celda.

A continuación se señalan algunas recomendaciones para tratar de minimizar los problemas anteriores:

- Tratar de evaluar las causas de los accidentes más comunes y adoptar las medidas preventivas del caso.
- Elaborar normas de seguridad de trabajo, con las respectivas indicaciones para el uso del equipo y capacitar a los trabajadores para que las conozcan, las cumplan y utilicen.
- Proveer al personal de un local para vestuario y duchas donde asearse y cambiarse de ropa después de la jornada de trabajo, a fin de no llevar a su hogar cualquier tipo de contaminación.
- Establecer un programa de exámenes médicos para proteger la salud del personal y para identificar los riesgos potenciales de contaminación, relacionados con su actividad, concentrar y analizar los resultados.
- Mejorar la calidad del equipo y herramientas, haciendo recomendaciones para buscar la uniformidad de los recipientes en cuanto a forma, tamaño y peso, y obligar, por lo menos al sector comercial, el empleo de recipientes plásticos de unos 60 a 100 litros de capacidad. Para el sector residencial, llevar a cabo una buena campaña de promoción y conscientización.
- Dotar a los trabajadores de botas y por lo menos de dos uniformes al año. Figura 28.
- Llevar un registro inmediato y de ser posible, análisis estadístico anual de los accidentes que se presenten en horas de trabajo, donde se tengan los datos necesarios para identificar las causas.

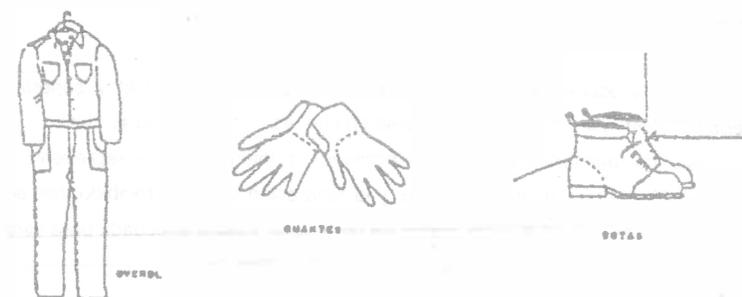


Figura 28. Implementos de protección.

## 8. MANTENIMIENTO DEL RELLENO

A diferencia de otras obras, la construcción y operación de un relleno sanitario requiere de una constante supervisión y mantenimiento, lo cual implica algunos gastos que, aunque son mínimos deben ser atendidos oportunamente, debiendo preverse los recursos correspondientes en el presupuesto anual del municipio.

### SUPERVISIÓN

Uno de los elementos más importantes en el relleno sanitario es el **jefe o supervisor de aseo**, quien debe organizar, dirigir y controlar las operaciones; además, debe contar con el pleno respaldo de la Administración Municipal.

Si el relleno sanitario manual no cuenta con una buena supervisión ni con un adecuado mantenimiento técnico y económico, fácilmente podrá convertirse en un tiradero a cielo abierto, con todos sus prejuicios, molestias y consecuencias.

Un relleno sanitario exige una **constante supervisión** para poder evitar fallas actuales y futuras.

esta obra de saneamiento básico. Esto podría provocar descontento y rechazo para conseguir nuevos sitios donde instalar rellenos sanitarios, lo que implicaría ubicaciones cada vez más lejanas de las áreas urbanas, aumentando los costos de transporte de los desechos y por lo mismo del servicio de aseo.

Se recomienda colocar un letrero o cartel con el nombre de la obra, parque o campo deportivo, indicando que está construido sobre un relleno sanitario.

### 9 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

Como resultado de los mecanismos de descomposición que ocurren en los desechos sólidos orgánicos, se generan líquidos, gases y productos intermedios, algunos son retenidos en los poros del terreno, mientras que otros pueden ser arrastrados y/o solubilizados por los líquidos que atraviesan las capas de tierra y basura. Parte del proyecto de un relleno sanitario es tomar antes, durante su ejecución y una vez terminado, una serie de medidas relacionadas con la prevención del riesgos potenciales para la salud y para la calidad del ambiente.

El relleno sanitario manual, aunque es una obra pequeña, dentro de lo posible debe contemplar entre los controles ambientales, por lo menos el monitoreo de la calidad hidráulica, para que en caso de que se presente un deterioro de las aguas subterráneas en su entorno esto pueda ser detectado oportunamente.

Dado que el tipo de desechos sólidos de estas pequeñas poblaciones es básicamente de **origen doméstico** con algunas excepciones, es importante destacar que las exigencias del relleno sanitario manual en cuanto a la impermeabilización de la base del terreno y paredes laterales son mínimas, si se cuenta con un suelo limo arcilloso, y un espesor mayor de un metro por encima del nivel freático, ya que con estas condiciones se disminuye sensiblemente la probabilidad de que el lixiviado ingrese a las aguas subterráneas o superficiales con su poder contaminante.

En las zonas de poca precipitación pluvial, es de esperar que el líquido percolado (lixiviado) sea mínimo.

Los análisis de laboratorio de las muestras de agua subterránea y superficiales cercanas, se pueden hacer intensivos durante los primeros meses y menos frecuentes una vez que se perciban valores constantes en los resultados.

Se debe considerar el análisis de los siguientes parámetros:

- pH
- Demanda química de oxígeno (DQO), mg/l
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), mg/l
- Nitrato, mg/l
- Cloruros, mg/l
- Sulfatos, mg/l
- Recuento total de colonias, colonias/ml
- Conductividad,  $\mu\text{homs/cm}$

El líquido percolado (lixiviado) también es objeto de análisis.

Para la toma de muestras del agua subterránea, si los mantos freáticos son superficiales, se pueden excavar los pozos manualmente. Dependiendo del tipo de suelo, se tomarán las medidas necesarias para evitar derrumbes durante el trabajo. Los pozos deberán estar situados a una distancia mínima de 5 m del área del relleno y del drenaje del líquido percolado. Una vez localizado el nivel freático, se coloca el material granular en el fondo y una tubería de 8" de diámetro o mayor que permita el ingreso de un garrafón muestreador. Posteriormente se cubre el resto del pozo con la misma tierra de la excavación.

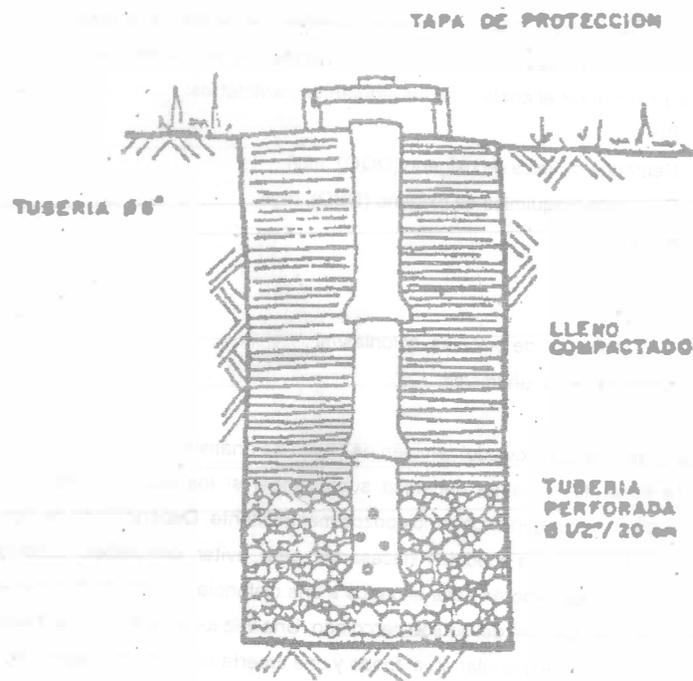


Figura 31. Pozo de monitoreo de aguas subterráneas.

En los sitios donde el nivel freático este a más de 3 m, se recomienda localizar el pozo de agua que se encuentre más cercano aguas abajo, aun cuando no se encuentre en funcionamiento y en ese lugar se hará el monitoreo.

## 12.5 GUIA PARA EL DIAGNOSTICO DE UN SERVICIO DE ASEO URBANO (SAU).

El objetivo de esta guía es acompañar la preparación del diagnóstico base para la elaboración del proyecto de gestión integral de RSM, señalando los principales factores e indicadores que deben ser analizados en el manejo de los Residuos.

Sin pretender ser un desarrollo exhaustivo de los mismos, tiende a enfocar los distintos aspectos que deben ser considerados en el momento de recopilar la información y la búsqueda de datos que permitan una visión de conjunto para la elaboración del diagnóstico del agua Sistema de Aseo Urbano Municipal.

### ASPECTOS GENERALES DEL MUNICIPIO O CIUDAD

1. Nombre
2. Ubicación
3. Población (cantidad de habitantes, densidad, tasa de crecimiento, etc.).
4. Características socioculturales y económicas de la población
5. Principales actividades económicas del municipio, zona o región
6. Características geográficas, climatológicas y topográficas
7. Principales características de urbanización (infraestructura, trazado de calles, calles pavimentadas, de tierra, planos de la localidad, flujo vehicular, etc.

### ASPECTOS GENERALES DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS

1. Determinación del área, departamento y/o dependencia responsable de la Gestión y su ubicación en la estructura organizacional del municipio o ciudad.
2. Organización y presentación del servicio. (indicar si es de gestión municipal, concesionado, conurbado, de gestión conjunta con otros municipios o ciudades, de gestión conjunta con el sector privado, etc.).
3. Precisar el marco legal en el que se encuadra el servicio (Leyes, normas, bandos, ordenanzas, reglamentos, etc., de origen federal, estatal o municipal).
4. Descripción del personal jerárquico, técnico y administrativo involucrado en la Gestión. (Indicar cantidad, nivel de participación, etc.), Verificar y analizar el organigrama en caso de existir.
5. Presupuesto. Origen del presupuesto, análisis del monto y de las partidas asignadas.
6. Costo del Servicio (Análisis de los costos para recolección, transporte, en personal, equipamiento, etc.).

7. Financiamiento del Servicio.  
(tasas, impuestos, tarifas, subsidios, otras formas de financiamiento).

#### ASPECTOS PARTICULARES SOBRE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

1. Análisis cuantitativo y cualitativo de los RSM.
  - Cantidad generada en Tn/día
  - Clasificación y composición de los RSM
2. Porcentaje de la Población atendida por zonas socioeconómicas
  - Delimitación de las zonas
  - Promedio de generación por zona
3. Sobre la Recolección y transporte de los residuos domiciliarios
  - Frecuencia actual
  - Áreas o zonas de recolección
  - Personal a cargo del servicio
  - Cantidad y características de los vehículos de recolección y de transporte
  - Rutas establecidas a los camiones
  - Existencia de estaciones de transferencia
  - Otros
4. Análisis de los mismos aspectos del punto anterior para:
  - Barrido y limpieza de calles
  - Residuos industriales y especiales (en forma general).
  - Residuos hospitalarios, patógenos y peligrosos (en forma general)

#### ANÁLISIS DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS

1. Método actualmente en uso para la disposición final.
2. Localización geográfica del sitio de disposición y describir las principales características del lugar, entre ellas la superficie y en especial las topográficas de la zona en la que se ubica el predio de disposición final.
3. Vida útil del actual vertedero.
4. Distancia entre el centro de generación de residuos y la disposición final.
5. Análisis de los accesos principales y secundarios al vertedero y verificación de su estado. Visibilidad del vertedero desde el exterior
6. Observar la existencia de un sistema de control de ingreso al vertedero, señalizaciones internas y externas.
7. Precisar si se realiza la cobertura de celdas y otro tipo de cobertura y su frecuencia.

8. Observar si hay presencia de personas dedicadas a la pepena, insectos, animales, etc.
9. Verificar el tipo de tratamiento del suelo usado para el vertedero (impermeabilización, otros) y determinar la presencia de líquidos percolados, drenajes, venteos, residuos en combustión, malos olores, etc.
10. Con relación al entorno interno y externo del predio de disposición: observar si hay materiales dispersos, pozos de agua, viviendas, cultivos, sistemas de monitoreo, zonas arboladas, mallas u otro tipo de protección, etc
11. Identificar la forma de descarga (manual, mecanizada).
12. Observar si existe manejo y disposición de los residuos industriales, hospitalarios, peligrosos en el predio.
13. Verificar la existencia de controles de seguridad y sanitarios.
14. Verificar la existencia de disposición alternativa de los residuos para los casos de emergencias climáticas.
15. Verificar la existencia de proyectos para el cierre, sellado y reutilización del predio.

## BIBLIOGRAFÍA

- INGENIERÍA AMBIENTAL, Henry J. Gynn, N. Hernke Gary, Editorial Prentice may, Segunda edición, México 1999.
- LA SALUD AMBIENTAL EN MÉXICO, Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, México 1993.
- ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN ÁREAS URBANAS, INE-SEMARNAP, México 1996.
- MINIMIZACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS, INE-SEMARNAP, México 1999.
- PROMOCIÓN DE LA MINIMIZACIÓN Y MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS, INE, RDS, PNUD, México 1999.
- NOM-083-ECOL-1996. CONDICIONES QUE DEBE REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.
- NOM-084-ECOL-1994. DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO Y LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS COMPLEMENTARIA.
- NMX-AA-15-1985. RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, MUESTREO METODO DE CUARTEO.
- NMX-AA-16-1984. RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.
- NMX-AA-19-1985. RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, PESO VOLUMÉTRICO "IN SITU".
- NMX-AA-21-1985. RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGANICA.
- NMX-AA-22-1985. RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, SELECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SUBPRODUCTOS.
- NMX-AA-33-1985. RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO.
- NMX-AA-61-1985. RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN.
- NOTAS DEL "CURSO LATINOAMERICANO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS", CEPIS-DECFI, Lima Perú 1997.
- NOTAS DEL "CURSO MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS", Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA) 1994.
- NOTAS DEL "CURSO A DISTANCIA RESIDUOS SÓLIDOS", DEPTI-UNAM 1995.
- NOTAS DEL "TALLER SUBREGIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES", OPS Y Sria. de Estado de Salud Publica y Asistencia Social, Republica Dominicana 1981.
- RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES, PROGRAMA DE SALUD AMBIENTAL", OPS/OMS, Serie Técnica No. 28, Washington DC., 1993.
- DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE", OPS/OMS, Segunda Edición, Washington DC. 1998.

- "REGLAMENTO PARA EL SERVICIO DE LIMPIA EN EL DISTRITO FEDERAL", D.O.F., 27 de Julio, 1989, México.
- SOLID WASTE ENGINEERING, Vesilind, Worrel, Reinhart, Ed. Brooks/Cole, California E.U.A. 2002.
- TURK, TURK, WITTES, WITTES "TRATADO DE ECOLOGÍA", Ed Interamericana, México D.F. 1984.

AFONTE  
53-A

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.



G.- 613266

613266

Esta obra se terminó de imprimir  
en noviembre de 2002  
en el taller de imprenta del  
Departamento de Publicaciones  
de la Facultad de Ingeniería  
Ciudad Universitaria, México, D.F.  
C.P. 04510

**Secretaría de Servicios Académicos**

El tiraje consta de 200 ejemplares  
más sobrantes de reposición