

CAPITULO 2

1. MARCO TEORICO

1.1. Consideraciones básicas acerca de los residuos sólidos

Por residuos se debe considerar tanto los materiales, sólidos, líquidos y gaseosos como los exclusivamente energéticos: vibraciones, radiactivos, electromagnéticos, que son liberados al entorno, afectando directamente a todas las personas, actividades y plazas de trabajo.

Los residuos sólidos comprenden todos los remanentes que resultan de las actividades humanas y animales, que se presentan de forma sólida y son desechados al volverse inútiles.¹

Se convierten en un problema más grande por la creciente incapacidad por parte de los generadores, para encontrar lugares que permitan su disposición adecuada sin causar impactos al ambiente. Esta incapacidad se ve afectada por la excesiva cantidad de residuos que se generan diariamente, y en algunos casos determinada negativamente por la naturaleza peligrosa de algunos de estos.²

La generación de residuos, depende mucho de la fuente de la cual provengan y pueden clasificarse en domésticos, comerciales, institucionales, de construcción, de plantas de tratamiento, industriales, agrícolas y residuos sólidos urbanos.

Para el desarrollo del presente proyecto se considerarán, de manera especial, los residuos domésticos, comerciales, industriales y peligrosos por representar éstos el mayor volumen generado.

1.2. Características de los residuos

¹Tchobanoglous, G; Theisen, H.1997. Gestión integral de residuos sólidos. Ediciones Mc Graw Hill. Tomo 1. Madrid

² www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.htm. Residuos Sólidos.

1.2.1. Humedad.

Es una característica importante para los procesos a los cuales puede ser sometida la basura. Se determina generalmente de la siguiente forma:

Tomar una muestra representativa, de 1 a 2 Kg., se calienta a 80 °C durante 24 horas,³ se pesa y se expresa en base seca o húmeda, se puede calcular en base a la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso}_{\text{Inicial}} - \text{Peso}_{\text{Final}}}{\text{Peso}_{\text{Inicial}}} * 100$$

$\text{Peso}_{\text{Inicial}}$ = referido a la humedad en base húmeda

$\text{Peso}_{\text{Final}}$ = referido a humedad en base seca.⁴

1.2.2. Densidad

La densidad de los sólidos rellenos depende de su constitución y humedad, por que el valor resultante debe medirse para tener un dato real. Se deben distinguir valores en distintas etapas del manejo.

Densidad suelta: Generalmente se asocia con la densidad en el origen. Depende de la composición de los residuos.

Densidad transporte: Depende de si el camión es compactador o no y del tipo de residuos transportados.

Densidad residuo dispuesto en relleno: Se debe distinguir entre la densidad recién dispuesta la basura y la densidad después de asentado y estabilizado el sitio.⁵

³ Idem

⁴ www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.htm. Residuos Sólidos

⁵ Idem

1.2.3. Poder calorífico (PC)

Se define como la cantidad de calor que puede entregar un cuerpo. Se debe diferenciar entre poder calorífico inferior y superior. El Poder Calorífico Superior (PCS) no considera corrección por humedad, en tanto que, el inferior (PCI) sí. Se mide en unidades de energía por masa, [cal/g.], [Kcal./Kg.], [BTU/lb.] utilizando un calorímetro.

También se puede conocer a través de un cálculo teórico, el cual busca en la bibliografía valores típicos de PC por componentes y se combina con el conocimiento de la composición de los residuos:

$$PC = n_0PC_0 + n_1PC_1 + \dots n_nPC_n$$

En donde;

n_1 = Porcentaje en peso del componente

PC_1 = Poder calorífico del componente ⁶

1.3. Tipos de residuos

1.3.1. Residuos Doméstico y Comercial

Los residuos de tipo doméstico y comercial, constituyen en gran porcentaje materia orgánica, como residuos de: comida, papel (periódicos, libros, revistas, impresos comerciales, papel de oficina, embalajes de papel, toallas de papel), cartón, plásticos (PET, PVC, PP) y retazos de textiles, cuero y madera; así como la fracción inorgánica que consta de vidrio, latas, aluminio, etc.⁷

1.3.2. Industrial

Conforme la civilización se desarrolla, aumentan las necesidades de adquirir diversos productos y con ello también se incrementa el número de industrias que compiten para producir esas satisfacciones.

⁶ www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.htm. Residuos Sólidos

⁷ Tchobanoglous G; Theisen H, Vigil, S. 1997. Gestión integral de residuos sólidos. Volumen I. Ediciones Mc Graw Hill. . Madrid

Desafortunadamente, la mayoría de ellas no cuenta con programas que contemplen cómo manejar los desechos que eliminan en sus procesos de fabricación y al no contar con plantas de tratamiento depositan sus residuos, muchas veces tóxicos, en el drenaje o en cuerpos de agua que se afectan gravemente al incorporar estos desechos.

Algunas industrias son responsables por contaminar el agua con sustancias tóxicas, en ocasiones mortales, como el plomo, mercurio, cromo, cadmio, arsénico, petróleo, etc.

Las industrias que mayor impacto ambiental ocasionan son: Cemento, celulosa y papel, textil, cerámica y minerales no metálicos, metálica ferrosa, química, alimentos y bebidas, metálica no ferrosa, maquinaria y equipo de construcción, vidrio y caucho.

Procedente de esta clasificación se toma en cuenta el resultado de procesos de procesamiento, empaquetamiento, transporte, elaboración, tintado, planchado, corte, etc., es decir, los residuos del proceso de producción de las empresas.

La finalidad de la tipificación de residuos es identificar las fuentes, características y cantidades de residuos que se generan en cada etapa de la obtención de la materia prima, producción, despacho, transporte y uso final.

Una buena gestión de los residuos se logra al minimizar en la fuente o bien, al disminuir los niveles de desperdicios que son acumulados en los botaderos. Lograr que estos residuos tengan un fin aprovechable, sin causar mayores impactos al ambiente, es la cumbre de una gestión exitosa⁸.

La composición física típica de los residuos sólidos domésticos, comerciales e industriales esta explicita en el siguiente cuadro:

Tabla 2.1 Composición física de los residuos sólidos

	Componente	Porcentaje en peso
Orgánico	Residuos de comida	6 a 8
	Papel	25 a 40
	Cartón	3 a 10

⁸ Tchobanoglous G; Theisen H, Vigil, S. 1997. Gestión integral de residuos sólidos. Ediciones Mc Graw Hill. Volumen I.Madrid

	Plásticos	4 a 10
	Textiles	0 a 4
	Cuero	0 a 2
Inorgánico		
	Vidrio	4 a 12
	Latas	2 a 8
	Aluminio	0 a 1

Fuente: Tchobanoglous G; Thiesen H; Vigil, S. 1997.

Elaborado por: C. Fuertes

Fecha: 15 de Enero del 2005

Referente a los desechos sólidos, diversos estudios realizados por SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social) del Ecuador; demuestran que en 1950 se producía sólo 5%⁹ de basura no degradable y que para 1990 se incrementó a 40.5%.¹⁰

1.3.3. Peligrosos

Los residuos peligrosos, o sus conocidas siglas en español RSP, han sido definidos como residuos o combinaciones de éstos, que plantean un peligro sustancial a los seres vivos, dadas sus características de:

- a) No degradabilidad o persistencia en la naturaleza,
- b) Posibilidad de acumulación biológica,
- c) Letalidad, ó
- d) Tendencia a causar efectos perjudiciales acumulativos.

Además presentan propiedades como:

- Corrosividad
- Explosividad
- Inflamabilidad
- Reactividad

⁹ Ministerio de Medio Ambiente. Departamento de información y análisis.

¹⁰ Idem

- Volatilidad
 - Cancerigenocidad
 - Toxicidad
 - Radioactividad
 - Teratogenicidad
-
- ✓ **Corrosivos:** Sustancias que, en contacto con los tejidos, los desorganizan mediante una acción puramente química.
 - ✓ **Explosivos:** Son los que generan grandes presiones en su descomposición instantánea.
 - ✓ **Inflamables:** Son los que pueden arder espontáneamente en condiciones normales
 - ✓ **Radioactivos:** Son los que emiten radiaciones nucleares (electromagnéticas ó corpusculares) en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo.
 - ✓ **Volatilizables:** Son los que por su presión de vapor, a temperatura ambiente, se evaporan o volatilizan.
 - ✓ **Cancerígenos:** Producto o sustancia que produce cáncer o favorece su formación.
 - ✓ **Tóxicos:** Son aquellos que por sus características físicas ó químicas, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición, pueden causar daño y aún muerte a los seres vivos o provocar contaminación ambiental.
 - ✓ **Patógenos:** Son los que por sus características y composición pueden ser reservorio o vehículo de infección; generalmente son producidas en los hospitales, clínicas, laboratorios y universidades.
 - ✓ **Combustibles:** Son aquellos que arden en presencia de oxígeno por acción de una chispa o de cualquier otra fuente de ignición.¹¹

La tabla 2.2 presenta un listado de las características de los RSP basándose en los criterios de inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad, esta lista ha sido recopilada por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (Environmental Protection Agency; EPA por sus siglas en inglés).

¹¹ Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

Tabla 2.2 Listado de la EPA en base en sus características peligrosas.

Característica	40 CRF subparte *	Consideraciones	Código de peligro
Inflamabilidad	261.21	1. Líquidos con puntos de inflamación menores de 60 °C. 2. Residuos en otros estados propensos a causar incendios por la fricción, cambios químicos espontáneos, etc. 3. Gas comprimido inflamable 4. Es oxidante	1
Corrosividad	261.22	1. Residuos acuosos con pH < 3 o > 12,5 2. Residuos líquidos capaces de corroer acero a una velocidad mayor que 0,62 cm./a	C
Reactividad	261.23	1. Inestabilidad y facilidad para sufrir cambios violentos 2. Reacciones violentas cuando se mezcla con agua 3. Formación de mezclas potencialmente explosivas cuando se mezcla con agua. 4. Generación de vapores tóxicos cuando se expone a condiciones ácidas	R

Pág. 1 de 2

Listado de la EPA en base en sus características peligrosas (cont..)			
Reactividad (continuación)	261.23	5. Material que contiene cianuro o sulfuro que genera vapores tóxicos cuando se expone a condiciones ácidas 6. Facilidad de detonación o descomposición explosiva cuando se expone a presión o calor 7. Facilidad de detonación o descomposición explosiva o reacción a temperaturas y presiones estándar 8. Definido como explosivo prohibido o un explosivo de Clase A o B por el Departamento de Transporte de EE.UU.	R
Característica de toxicidad (CT), definida por el ensayo de Procedimiento de lixiviación y características de toxicidad (TCLP)	261.24	El ensayo TCLP requiere los siguientes pasos: 1. Si el residuo es líquido (es decir, contiene menos que el 0,5 % en sólidos) después de filtrarlo, se considera el mismo residuo como el extracto (lixiviado simulado) 2. Si el residuo contiene más que el 0,5 % de material sólido, se separa la fase sólida de la fase líquida. Si es preciso, se reduce el tamaño de las partículas en la fase sólida hasta que pasan por un tamiz de 9,5 mm	E

	<p>3. En el análisis para volátiles se procede a colocar la fase sólida en una solución acida y se centrifuga a 30 r.p.m. durante 18 horas. El pH de la solución es aproximadamente 5, a menos que el sólido sea más básico, en cuyo caso se utiliza una solución con un pH de aproximadamente 3.</p> <p>4. En el análisis de volátiles se utiliza una solución con pH 5, y se emplea un recipiente de extracción sin espacio en la parte superior para la separación, agitación y filtración líquido/sólido.</p> <p>5. El líquido extraído de la mezcla sólido/ácido se combina con cualquier líquido original separado del material sólido y se analiza por la presencia de determinados contaminantes.</p> <p>6. Si cualquiera de los contaminantes en el extracto llega o sobrepasa cualquiera de los niveles de concentración máxima permitidos para determinados contaminantes, el residuo se clasifica como residuo peligroso CT.</p>	
--	--	--

*Adaptado del Código de Regulaciones Federales (CFR) y Referencia 14

Pág. 2 de 2

Fuente: Tchobanoglous G; Thiesen H; Vigil, S. 1997.

Elaborado por: C. Fuertes

Fecha: 15 de Enero del 2005

1.4. Manejo de desechos

Para el manejo de desechos se pueden considerar, en principio, las siguientes opciones:

1.4.1. Reuso

El reuso significa usar un producto tantas veces sea posible para el mismo fin para el que fue creado, ésta es una alternativa altamente conveniente tanto a nivel de prevención de la contaminación como al generar un ingreso económico; para el generador. En este campo la utilización de envases y embalajes retornables, que resultan generalmente de los procesos de transporte y compra, en los productos de consumo, debe ser el primer objetivo.

Esta actividad está limitada para aquellos residuos que tienen un mercado para su venta.¹²

¹² www.sesma.cl/sitio/pag/residuos/Indexjs3residuossi001.asp. Gestión de Residuos

1.4.2. Recuperación

La recuperación permite volver a utilizar un elemento, sin cambiar su naturaleza original. Por ejemplo, para el manejo de residuos de solvente se recurre con frecuencia a regeneración y recuperación mediante procesos como la destilación.

La recuperación así como el reciclaje son elementos esenciales dentro de un plan de gestión de residuos sólidos, cuyo principal objetivo consiste en una preservación del ambiente y en una reducción en la generación de los mismos.

Una de las formas más comunes para recuperar los residuos, es utilizando su poder calorífico (cantidad de calor generada mediante una combustión completa de un determinado combustible). El poder calorífico de casi todos los combustibles procedentes de residuos sólidos es función de su contenido en carbono.

Para los residuos sólidos municipales, por ejemplo, el poder calorífico dependería de su composición, en general varía entre los 3.000 y 6.000 Btu/lb. (1.700 y 3.300 Kcal./Kg.)¹³; tomando en cuenta el valor generado por sus componentes:

Tabla 2.3 Poder calorífico de los RSU

Material	Poder calorífico en Btu/ lb.	Poder calorífico en Kcal./Kg.
Papel	7.750	4.300
Plástico	18.000	10.000
Madera	8.000	4.400
Otros orgánicos	2.000	1.100

Fuente: Corbit, R.1999.

Elaborado por: C. Fuertes

Fecha: 17 de Enero del 2005

¹³ Corbit, R . 1999. Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental. Editorial Mc Graw Hill. España.

Las técnicas comúnmente utilizadas para la recuperación de energía procedente de RSU son las siguientes:

- ***Incineración con generación de vapor:*** Combustión de residuos sólidos municipales, procesados o sin procesar, en un horno que lleva acoplado un sistema de tubos para generación de vapor.
- ***Incineración modulada:*** Combustión de residuos municipales en hornos de dos etapas, relativamente pequeños, con defecto de aire y con sistemas de recuperación de calor tales como intercambiadores o calderines.
- ***Combustibles derivados de residuos:*** Existe toda una variedad de tecnologías capaces de producir combustibles sólidos a partir del procesamiento de residuos municipales, obteniéndose fracciones combustibles y no combustibles. El combustible resultante puede mezclarse con otros combustibles fósiles o alimentarse, sin mezcla alguna a “calderas especiales”.
- ***Pirólisis:*** Existe una amplia gama de tecnologías que procesan residuos municipales en atmósfera deficiente de oxígeno, para dar lugar a combustibles gaseosos, líquidos o sólidos.
- ***Digestión anaerobia:*** Consiste en una técnica desarrollada a partir de la digestión anaerobia de los lodos procedentes de residuos hídricos.
- ***Recuperación de gas de vertedero:*** Consiste en la recolección de los gases producidos durante la descomposición de los residuos municipales depositados en un vertedero.¹⁴

1.4.3. Reciclaje

La práctica del reciclado de residuos sólidos es muy antigua. *Los utensilios metálicos se funden y remodelan desde tiempos prehistóricos.*¹⁵

En la actualidad los materiales reciclables se recuperan de muchas maneras, dependiendo del material, el origen e incluso el estado del residuo.

El desfibrado, por ejemplo, es la separación magnética de metales; para los materiales ligeros y pesados se utiliza la criba y lavado.

¹⁴ www.sesma.cl/sitio/pag/residuos/indexjs3residuossi001.asp. Gestión de residuos

¹⁵ Idem

Otro método de recuperación es la reducción a pulpa donde los residuos se mezclan con agua y toman una consistencia pastosa al pasarlos por un triturador. Los trozos de metal y otros sólidos se extraen con dispositivos magnéticos y la pulpa se introduce en una centrifugadora; aquí se separan los materiales más pesados, como trozos de cristal, y se envían a sistemas de reciclado. Otros materiales más ligeros se mandan a plantas de reciclado de papel y fibra, y el residuo restante se incinera o se deposita en un vertedero.

1.4.3.1. Reciclaje de papel y cartón

En base a su peso el papel constituye el mayor de los residuos. En general representa del 25 al 40 % del total.¹⁶ El tipo de papel que comúnmente se recicla es de tipo periódico, cartón ondulado, papel de alta calidad y papel mezclado.

El papel periódico se separa para diferentes fines, y, según este destino está dada la calidad con la que realizan el reciclado.

El cartón ondulado, usado generalmente para embalaje, se obtiene en grandes cantidades en supermercados y tiendas. El cartón de reciclaje se utiliza como materia prima para las nuevas cajas de cartón.

El papel de alta calidad, cuyo origen es básicamente papelería, es usado debido a su pureza, ya que es de buena calidad, sin tratamiento y no es satinado. El destino del reciclado es para la producción de papel higiénico o papeles de hilo.

Finalmente, el papel mezclado puede estar formado por periódico, revistas y papeles de fibras largas. Normalmente se usa para la producción de cartón para cajas y productos prensados.

¹⁶ www.sesma.cl/sitio/pag/residuos/Indexjs3residuossi001.asp. Gestión de residuos

Estas cuatro categorías pueden combinarse, para un producto final diferente como sustitutos de pulpa, lo cual puede añadirse directamente a la producción de papel sin un tratamiento previo.

Además de los usos ya mencionados, el papel recogido para reciclaje puede usarse en la elaboración de productos de construcción (cartón de yeso, material suelto de aislamiento y fieltro para tejados) o combustible derivado de residuos (para palets con papel mezclado)¹⁷.

1.4.3.2. Reciclaje de plásticos

Los envases plásticos han aumentado en forma extraordinaria especialmente en la última década, al ser un envase descartable, liviano, duradero y atractivo para el usuario; los productos de consumo masivo han optado por envasar sus productos en plástico, abriendo un campo para el reciclado, ya que las empresas que lo producen no se hacen responsables por su destino final.

En la actualidad existe una codificación para los plásticos, la que representa las resinas producidas y facilita, de esta forma, la separación y reciclaje. Una tabla comparativa se muestra a continuación:

Tabla 2.4 Clasificación, códigos y usos para plásticos

Material	Código SPI*	Usos Originales	Porcentaje del total utilizado para el embalaje
Polietileno tereftalato	1 - PET	Botellas de refrescos carbónicos, recipientes para comida	7
Polietileno de alta densidad	2 - PE - HD	Botella de leche, botellas de detergentes, productos laminados	31
Policloruro de vinilo	3 -PVC	Recipientes domésticos y de comida, tuberías	5
Polietileno de baja densidad	4 - PE - LD	Envase de película fina y envoltorios, otros materiales de lámina	33

¹⁷Tchobanoglous G; Theisen H; Vigil, S.1997.Gestión integral de residuos sólidos. Ediciones Mc. Graw Hill. Volumen II. Madrid

Polipropileno	5 -PP	Cajas para botellas, maletas, tapas y etiquetas	10
Poliestireno	6 - PS	Vasos y platos de espuma; artículos moldeados por inyección	10
Otras resina y multilaminados	7 -Otros	No seleccionados	4

* Society of the plastics Industry

Fuente: Tchobanoglous G; Thiesen H; Vigil, S. 1997.

Elaborado por: C. Fuertes

Fecha: 15 de Enero del 2005

Los principales tipos de plásticos aptos para el reciclaje son poliereftalato de etileno (PET) y polietileno de alta densidad (PE –HD).

El PET se recicla en fibras de poliéster usadas para fabricar sacos de dormir, almohadas, edredones y ropa de invierno, fibras de moqueta, tablas aislantes, películas, correas, envases y en productos para la industria del automóvil.

El PE- HD posee propiedades que varían según el producto fabricado, pero los usos más comunes son para botellas de detergente y recipientes de aceite para motor.

El PVC y el PP poseen resinas que requieren poco tratamiento; por ello son poco reciclados en la actualidad, debido a los costos de recogida y selección, además generan escaso volumen lo que los hace poco atractivos al mercado Reciclaje. A pesar de esto, los productos del reciclado incluyen: cortinas de baño, alfombras de plástico, tuberías de riego, juguetes, etiquetas de botellas y bidones.¹⁸

El proceso típico para reciclaje es el siguiente:

1. El primer paso es su selección desde los residuos procedentes de recogida selectiva o recogida común. En el primer caso, el producto recogido es de mucha mayor calidad, principalmente por una mayor limpieza.

¹⁸ Tchobanoglous G; Thiesen H; Vigil, S. 1997. Gestión integral de residuos sólidos. Ediciones Mc Graw Hill. Volumen II. Madrid

2. Las botellas se transforman en pequeños copos, éstos se lavan con agua caliente, detergentes y por agitación, para separar etiquetas, adhesivos y suciedad.
3. Luego del lavado se lleva a un depósito de asentamiento, donde los ligeros de tipo PE – HD flotan.
4. Luego de esta separación los flujos se dividen en flujos PET y PE – HD; se utiliza un secador centrífugo para separar el agua y se procede a secar los copos con aire caliente.
5. A menudo las botellas de PET contienen tapas de aluminio, luego del secado se utiliza la separación electrostática para separar estos dos componentes.
6. Los copos se colocan en una extrusora, que es similar a un tornillo sin fin dentro de un cilindro largo. Aquí se comprimen y junto al calor provoca la fundición de la resina, extrayéndose de la mezcla los contaminantes volátiles y al pasar por una criba fina se retienen las impurezas sólidas.
7. Finalmente el líquido extraído tiene la consistencia de un fideo largo. Mientras pasa por el orificio, una cuchilla corta éste en segmentos que caen en un baño de agua y se enfrían.
8. Una vez concluido el proceso se envasa y está listo para el transporte.¹⁹

1.4.3.3. Reciclaje de madera

Los residuos de madera son un componente importante de los residuos y conforman más del 25% del peso total de RSP.²⁰

Se categorizan según:

- Residuos de madera cosechada (generados por la limpieza del terreno y las actividades de gestión forestal)
- Rechazos de fábrica (residuos de productores primarios, como fábricas de pulpa y tabla; y productos secundarios, como fabricantes de muebles y ebanistas.)
- Palets y residuos de contenedores
- Residuos de construcción y demolición
- Otros

¹⁹ www.sesma.cl/sitio/pag/residuos/Indexjs3residuossi006.asp. Fundamentos de Ingeniería ambiental

²⁰ www.sesma.cl/sitio/pag/residuos/Indexjs3residuossi006.asp. Fundamentos de Ingeniería ambiental.

El reciclaje de estos residuos se ha incrementado notoriamente en la última década; los finales posibles son:

- Combustible para calderas.
- Cubrición de vertederos
- Alimentación de fábricas de pulpa y papel
- Compostaje de fangos en las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- La fracción fina es utilizada para compostaje y como lechos para animales²¹.

1.4.4. Compostaje

El compost (del latín compositus, ‘compuesto’), es un abono de gran calidad obtenido a partir de la descomposición de residuos orgánicos, que se utiliza para fertilizar y acondicionar los suelos, mejorando su calidad.²²

A través de la actividad microbiana, que tiene lugar durante la formación del compostaje, la materia orgánica se descompone generando una materia estable, que consta de minerales y humus. A la vez, el calor producido, mata a organismos patógenos.

Al mezclarse con la tierra la vivifica y favorece el desarrollo de las características óptimas para el cultivo. Para la fabricación de compost —el llamado “compostaje” —, los residuos se mezclan con cal y tierra y se colocan en capas. Las bacterias y otros organismos del suelo forman humus mediante la descomposición de los residuos. La formación del humus se ve fomentada por una buena ventilación, una remoción frecuente y un grado de humedad suficiente. Diversas técnicas, como por ejemplo la adición de estiércol líquido, pueden potenciar la actuación de los microorganismos y el enriquecimiento del compost con nutrientes.

Los nutrientes necesarios son: nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, magnesio, calcio y sodio.

²¹ Tchobanoglous G; Theisen H; Vigil, S . 1997. Gestión integral de residuos sólidos..Ediciones McGraw Hill. Volumen II. Madrid

²² www.xestiónambiental.com/resinert/tra76.html. Desechos y materiales Peligrosos

La utilización del compost perdió importancia a raíz de la industrialización de la agricultura pero, con la aparición de la agricultura biológica, se está volviendo a utilizar. Las plantas de compost modernas utilizan como materia prima fangos de depuradoras y basura doméstica (desechos alimenticios). Aplicando temperaturas que van de 60 a 70 °C²³, se inactivan las semillas y los posibles gérmenes patógenos.

La formación del compost depende principalmente de la interacción óptima de las siguientes variables:

- **Temperatura:** Durante el proceso de compostaje se produce un cambio en la población microbiana y el cambio de temperatura va desde un valor ambiente hasta un valor mesófilo (25 – 35 °C)²⁴; luego progresa hasta la fase termófila (50 – 60 °C)²⁵, la mayor parte de los procesos de descomposición tiene lugar en esta fase. Después de varias semanas de proceso, las temperaturas empiezan a disminuir y los organismos termófilos dan paso nuevamente a los mesófilos.
- **Oxígeno:** Los niveles óptimos son del 15 al 20 %²⁶ en volumen. El oxígeno es esencial para la descomposición aerobia, aunque también puede existir descomposición anaerobia, siendo un proceso más lento y generando olores. Por lo tanto para mantener el nivel óptimo de oxígeno se practica la mezcla y ventilación de la pila de compost.
- **Humedad:** El nivel óptimo de humedad está entre el 50 y el 60 %²⁷ en peso. Por debajo del 40 %²⁸ se reduce la capacidad de descomposición, y por encima del 60 %, ²⁹ el exceso de agua bloquea los poros e impide el paso de oxígeno, convirtiéndose en un proceso anaerobio.
- **Relación Carbono/Nitrógeno:** La relación C/N es uno de los parámetros más importantes que afectan a la descomposición de materia orgánica, dado que el Carbono es la fuente de energía para los microorganismos y el Nitrógeno es

²³ Corbit, R. 1999. Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental. Mc Graw Hill. España.

²⁴ Idem

²⁵ Idem

²⁶ Corbit, R. 1999. Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental. Mc. Graw Hill. España.

²⁷ Idem

²⁸ Idem

²⁹ Idem

necesario para la síntesis de proteínas. La relación ideal C/N viene dada por un intervalo de 25 a 30.³⁰

- **pH:** El intervalo óptimo va de 6 a 8.³¹ El pH varía de acuerdo al desarrollo microbiano y las reacciones químicas que ocurren en el proceso.

1.4.4.1.Elaboración de fertilizantes

La elaboración de fertilizantes o abonos a partir de residuos sólidos consiste en la degradación de la materia orgánica por microorganismos aeróbicos. Primero se clasifican los residuos para separar materiales con alguna otra utilidad y los que no pueden ser degradados, y se entierra el resto para favorecer el proceso de descomposición. El humus resultante contiene de un 1 a un 3%³² de nitrógeno, fósforo y potasio, según los materiales utilizados. Después de tres semanas el producto está preparado para mezclarlo con aditivos, empaquetarlo y venderlo.

1.4.5. Relleno sanitario

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el ambiente y el riesgo para la salud de la población.

Consiste en preparar un terreno, colocar los residuos extendidos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado.

Un relleno sanitario planificado y ambiental de las basuras domésticas ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva puesta en valor del sitio gracias a su eventual utilización en usos distintos al relleno sanitario, como actividades silvoagropecuarias a largo plazo.

³⁰ Idem

³¹ Idem

³² www.xestiónambiental.com/resinert/tra76.html. Desechos y materiales Peligrosos

El relleno sanitario es un sistema de tratamiento y, a la vez, disposición final de residuos sólidos en donde se establecen condiciones para que la actividad microbiana sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno). Este método es el más recomendado para realizar la disposición final en países en desarrollo, pues se adapta muy bien a la composición y cantidad de residuos sólidos urbanos producidos.

Una definición para relleno sanitario es dada por el Colegio de Ingenieros Civiles del Ecuador: *“Relleno sanitario es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad publica, método éste, que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada.”*³³

1.4.5.1.Requerimientos generales de los rellenos sanitarios

- El sitio debe tener espacio necesario para almacenar los residuos generados por el área en el plazo definido por el diseño.
- Debe ser diseñado, localizado y propuesto para ser operado de forma que la salud, las condiciones ambientales y el bienestar sean garantizados.
- Debe estar localizado de manera que minimice la incompatibilidad con las características de los alrededores y el efecto en los avalúos de estos terrenos.
- El plan de operación del sitio se diseña para disminuir el riesgo de fuego, derrames y otros accidentes operacionales en los alrededores.
- El diseño del plan de acceso al sitio se debe hacer de forma de mermar el impacto en los flujos.³⁴

1.4.5.2.Tipos de rellenos

El parámetro básico de diseño de un relleno es el volumen. Este depende del área cubierta, la profundidad a la cual los residuos son depositados, y el radio de material de cobertura y residuo. Debido a que la tasa de generación de residuos es usualmente

³³ Colegio de Ingenieros Civiles del Ecuador.

³⁴ www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html. Residuos Sólidos

definida en unidades másicas, un parámetro adicional que influencia la capacidad del relleno es la densidad in situ de la basura y el material de cobertura.

Generalmente todo diseño de relleno incluye algunas obras comunes. Zonas buffer y pantallas perimetrales son necesarias para aislar el relleno de los vecinos y el sitio. Son necesarios cercos perimetrales para evitar el acceso no autorizado al sitio, se requiere un cuidadoso mantenimiento del frente de trabajo. Durante tiempos inclementes podría ser necesario contar con tractores para asistir a los camiones. El barro y suciedad que se adhieren al camión por su operación deben ser retirados del mismo antes que abandone el recinto del relleno.

1.4.5.3. Clasificación de rellenos sanitarios

1.4.5.3.1. Según clase de residuo depositado

- Tradicional con residuos sólidos urbanos seleccionados: No acepta ningún tipo de residuo de origen industrial, ni tampoco lodos.
- Tradicional con residuos sólidos urbanos no seleccionados: Acepta además de los residuos típicos urbanos, industriales no peligrosos y lodos previamente acondicionados
- Rellenos para residuos triturados: Recibe exclusivamente residuos triturados, aumenta vida útil del relleno y disminuye el material de cobertura.
- Rellenos de seguridad: Recibe residuos que por sus características deben ser confinados con estrictas medidas de seguridad.
- Relleno para residuos específicos: Son rellenos que se construyen para recibir residuos específicos (cenizas, escoria, borras, etc.)
- Rellenos para residuos de construcción: Son rellenos que se hacen con materiales inertes y que son residuos de la construcción de viviendas u otra

1.4.5.3.2. Según las características del terreno utilizado

- En áreas planas o llanuras: Mas que rellenamiento es una depositación en una superficie. Las celdas no tienen una pared o una ladera donde apoyarse, es

conveniente construir pendientes adecuadas utilizando pretilos de apoyo para evitar deslizamientos. No es conveniente hacer este tipo de relleno en zonas con alto riesgo de inundación.

- En quebrada: Se debe acondicionar el terreno estableciendo niveles aterrizados, de manera de brindar una base adecuada que sustente las celdas. Se deben realizar las obras necesarias para captar las aguas que normalmente escurren por la quebrada y entregarlas a su cauce aguas abajo del relleno.
- En depresiones: Se debe cuidar el ingreso de aguas a la depresión, tanto provenientes de la superficie como de las paredes por agua infiltrada. La forma de construir el relleno dependerá del manejo que se de al biogás o a los líquidos percolados.
- En laderas de cerros: Normalmente se hacen partiendo de la base del cerro y se va ganando altura apoyándose en las laderas del cerro. Es similar al relleno de quebrada. Se deben aterrizar las laderas del mismo aprovechando la tierra sacada para la cobertura y tener cuidado de captar aguas lluvias para que no ingresen al relleno.³⁵

1.4.6. Incineración

Los sistemas de incineración están diseñados para destruir únicamente los componentes orgánicos de los residuos. A través de la destrucción de la fracción orgánica y su conversión a dióxido de carbono y vapor de agua, la incineración reduce el volumen de los residuos y la amenaza al medio ambiente, ya que los componentes orgánicos incluyen componentes peligrosos.

A pesar de que la tecnología ha avanzado en las últimas dos décadas, el control de la contaminación todavía sigue siendo una preocupación importante en la implantación³⁶.

“ Las operaciones básicas implicadas en la incineración de RSU no seleccionados se ven en el grafico expuesto a continuación.

³⁵ www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html. Residuos Sólidos

³⁶ LaGrega, M; Buckingham, P; Evans, J. 1998. Gestión de Residuos Tóxicos. Volumen II. Primera edición. Mc Graw Hill. España

La operación comienza con la descarga de residuos sólidos desde vehículos de recogida (1) en un foso de almacenamiento (2). La anchura de la plataforma de descarga y del foso de almacenamiento está en función del tamaño de la instalación y del número de camiones que deben descargarse simultáneamente. La profundidad y la anchura del foso de almacenamiento se determinan por la tasa de recepción de carga de residuos y la de incineración.

La capacidad del foso de almacenamiento es normalmente equivalente al volumen de residuos para dos días. La grúa puente (3) se utiliza para cargar los residuos por lotes en el conducto de alimentación (de carga) (4), que dirige los residuos al horno (5). El operador de la grúa puede seleccionar la mezcla de residuos para conseguir un contenido de humedad más o menos homogéneo en la alimentación. También se separan de los residuos los artículos grandes y no combustibles con la grúa puente. Los residuos sólidos en el conducto de alimentación (de carga) caen en las parrillas (6), donde son quemados en bruto. Normalmente se utilizan varios tipos distintos de alimentadores mecánicos.

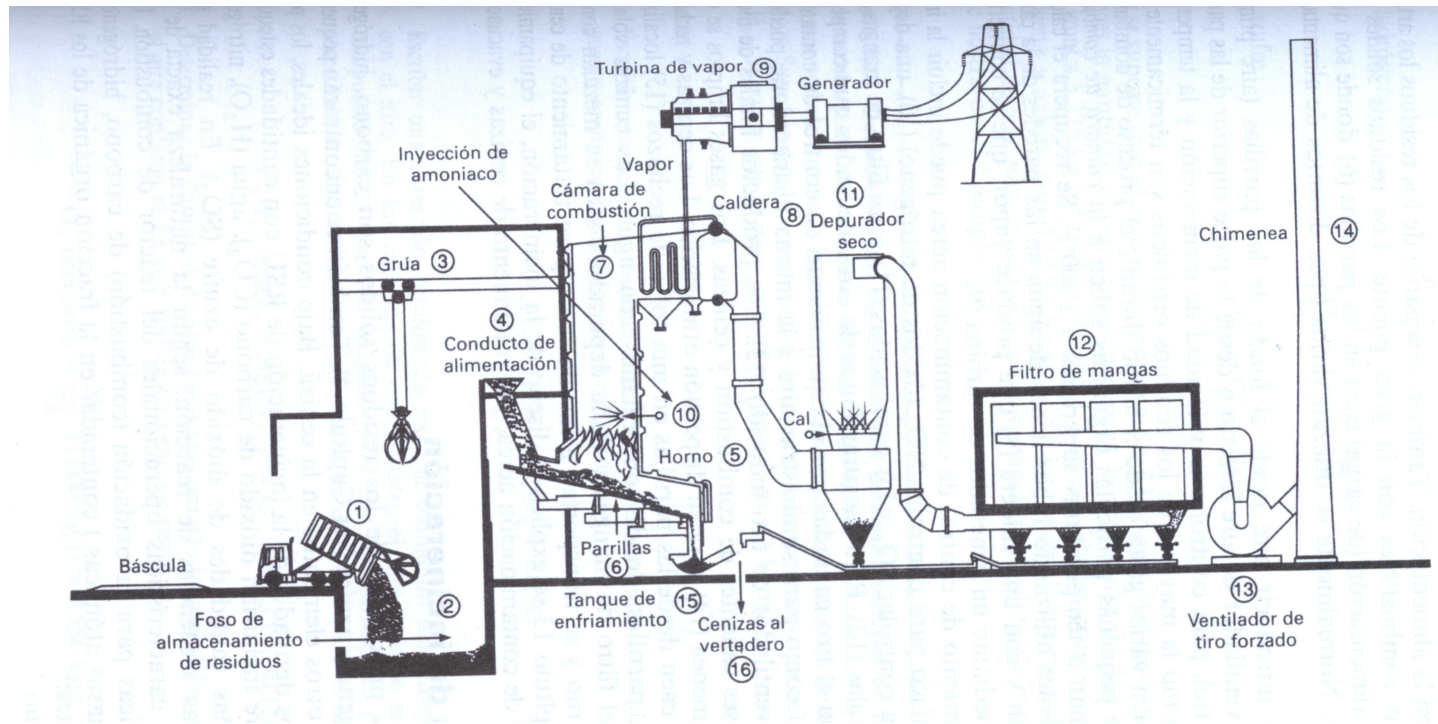
Se puede introducir aire desde el fondo de las parrillas (aire primario) mediante un ventilador de aire forzado o desde la parte superior de las parrillas (aire secundario), para controlar la velocidad de incineración y la temperatura del horno. Como la mayoría de los residuos orgánicos son térmicamente inestables, se emiten varios gases desde el horno durante el proceso de combustión.

Estos gases y pequeñas partículas orgánicas suben a la cámara de combustión (7), y se queman a temperaturas superiores a 1.600 °F. Se recupera el calor de los gases calientes utilizando tubos llenos de agua en las paredes de la cámara de combustión y con una caldera (8) que produce vapor, que se convierte en electricidad mediante un generador de turbina (9).”³⁷

En la siguiente página se puede observar un esquema de un incinerador municipal de alimentación continua.

³⁷ Tchobanoglous G; Theisen H; Vigil, S . 1997. Gestión integral de residuos sólidos. Ediciones Mc Graw Hill. Volumen I. Madrid

Grafico 2.1 Sección de una incineradora municipal de alimentación continua



(Tomado del libro Gestión Integral de Residuos Sólidos; Cortesía de County Sanitation Districts of Angeles County)

Fuente: Tchobanoglous G; Theisen H; Vigil, S. 1997.

Elaborado por: C. Fuertes.

Fecha: 20 de Febrero del 2005

Tabla 2.5 Resumen de las tecnologías de incineración habitualmente empleadas

TIPO	PRINCIPIOS DE PROCESO	APLICACION	TEMPERATURA DE COMBUSTION ° F ° C	TIEMPO DE RESIDENCIA
Horno rotatorio	Los residuos se queman en un horno rotatorio cilíndrico	Cualquier combustible sólido, líquido, gas	1,200 - 2,500 (650 - 1,370)	Segundos en el caso de gases; horas para líquidos y sólidos
Cámara simple / inyección de líquido	Los residuos se atomizan con aire a alta presión y se queman en suspensión	Líquidos y lodos que puedan bombearse	1,300 - 3,000 (700 - 1,650)	0,1 a 1 s.
Quemadores múltiples	Los residuos descenden a través de varias rejillas para quemarse en las diferentes zonas de combustión, con aumento gradual de calor	Lodos y residuos sólidos granulares	1,400 - 1,800 (760 - 980)	Superior a varias horas
Lecho fluidizado	Los residuos se introducen en un lecho agitado construido por partículas sólidas inertes calientes. El calor se transfiere eficazmente hasta las partículas de residuos durante el proceso de combustión	Líquidos orgánicos, gases y sólidos granulares o adecuadamente pre tratados	1,400 - 2,000 (760 - 1,100)	100 - 150

Fuente: Tchobanoglous G; Theisen H; Vigil, S. 1997.

Elaborado por: C. Fuertes

Fecha: 20 de Febrero del 2005

1.5. Sistema de manejo de residuos sólidos

Para un manejo adecuado de residuos sólidos se deben tomar en consideración estos cuatro subsistemas:

- a) **Generación:** La generación está a cargo de cualquier persona u organización cuya acción o procesos, ocasione la transformación de un material a residuo o desecho un material no aprovechable.
- b) **Transporte:** El transporte es el evento de mover los residuos de un lugar a otro. El transporte puede a la vez volverse generador cuando el vehículo derrama su carga, o acumula lodos u otros residuos del material transportado.
- b) **Tratamiento y disposición:** El tratamiento incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y tratamiento de los residuos o de sus constituyentes.
- d) **Control y supervisión:** Este sub sistema se relaciona fundamentalmente con el control efectivo de los otros tres expuestos anteriormente.³⁸

Las medidas que se puede adoptar para minimizar la generación de residuos son:

- **Política de compra de insumos.**

En los últimos años se ha implementado una política en todos los sectores apuntada a reducir los residuos por envases de insumos. Para ello se puede convenir con proveedores de los materiales utilizados, para realizar la compra a granel. El objetivo es expandir esta política a la mayor cantidad de insumos posible, reemplazando envases descartables por retornables o compra a granel. Para los envases de pesticidas se apuntará a que el proveedor recupere y se haga responsable de la disposición ambientalmente adecuada de los envases.

- **Política de utilización de envases**

³⁸ www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html#RESIDUOS. Residuos Sólidos

Se apunta a comercializar los productos en envases que generen menos residuos. Como ejemplo se puede citar la venta de jugos concentrados en contenedores de madera con bolsas plásticas interiores para 660 Kg.³⁹ equivalente a 5 tambores plásticos de 132 Kg.

Las medidas que se puede adoptar para maximizar el reuso y reciclaje de residuos son:⁴⁰

- **Papel y cartón:** Se acumulan en un cobertizo construido para tal fin y son retirados periódicamente por una empresa que los compra y usa como materia prima.
- **Latas de aluminio (bebidas gaseosas):** Se acumulan y entregan periódicamente a una escuela en la localidad, en carácter de donación, la cual obtiene réditos formando parte de un programa de reciclaje de este material y a la vez los niños pueden utilizarlas en labores manuales.
- **Botellas plásticas (PET):** Idem al punto anterior.
- **Residuos orgánicos (fruta, hojas, residuos de jardinería, polvillo de cáscara deshidratada, papel no aprovechable para reciclado, etc.):** Se compostan para uso como abono.
- **Residuos de vidrio (envases de insumos y reemplazo de cristales):** Se acumulan en palets y son retirados periódicamente por una empresa que los compra para su reciclaje.
- **Aceites usados (mantenimiento de vehículos y equipos):** Se acumulan en tambores etiquetados a la espera de una disposición ambientalmente adecuada.⁴¹

Para otro tipo de residuos de mayor volumen se debe destinar sectores de almacenamiento diferenciados:

- **Madera (proveniente de palets descartables o deteriorados):** Se acumula y puede ser entregado al personal de la empresa, para su utilización como combustible para hornos y estufas de sus hogares. Se cumple con el doble fin de colaborar en sus economías con un combustible barato y reducir la tala de la flora local, usada como leña.
- **Tambores metálicos propios descartados por fallas o rotura:** Se acumulan y venden para reciclado⁴².

³⁹www.vicentetrapani.com/gegest_amb/InformeResiduos.html. Manejo de Residuos Sólidos

⁴⁰Idem

⁴¹Idem

⁴² www.vicentetrapani.com/gegest_amb/InformeResiduos.html. Manejo de Residuos Sólidos