

**DIPLOMAS EN MEDIO AMBIENTE 2005  
MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS**



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
ESCUELA DE POSTGRADO**

**PROFESOR: SR. José B. Arellano Vaganay**

## 1. INTRODUCCION

El manejo inadecuado de los residuos sólidos representa un peligro para la salud de las personas y para el medio ambiente. Es así que disponer los residuos en basurales sin control y otras prácticas inapropiadas ocasionan la contaminación del aire, del agua y del suelo, y facilitan la proliferación de vectores de enfermedades que pueden directa o indirectamente causar impactos desfavorables sobre la salud de la población, los trabajadores del servicio de aseo y de las personas que se dedican a la recuperación de alguno de estos residuos.

Hasta hace poco tiempo, ante la descarga indiscriminada de residuos en el medio, éste respondía con una notable capacidad de regeneración. Pero esto hoy ha cambiado, sabemos que hay un límite, que el medio se satura y que hay daños que pueden ser de carácter irreversible. El volumen de residuos generados aumenta a un ritmo muy superior a la capacidad de tratamiento y eliminación adecuada de los mismos, esto representa un gran desafío para el medio profesional que tiene la responsabilidad de encontrar una solución a este problema.

El manejo de los residuos plantea problemas específicos en cada país, región y aún en cada localidad. La densidad demográfica, la modalidad cultural propia, el grado de desarrollo y la estructura de la economía, así como las condiciones ambientales como clima, topografía y disponibilidad de recursos naturales, entre otros, son factores que caracterizan el problema en cada caso y que si se aprovechan racionalmente pueden facilitar soluciones en materia de disposición de residuos sólidos.

El manejo y la administración de los residuos sólidos no es una labor puramente técnica, su interdependencia con la ecología, los recursos naturales, la energía, la economía política, la legislación y la administración, le dan un carácter multidisciplinario y complejo, que precisa la colaboración intersectorial de técnicos y especialista en esos campos.

También es necesario tener presente que las medidas adoptadas para la solución de los problemas de manejo de los residuos sólidos sólo podrán llegar a ser eficaces si toda la población es capaz de entenderlas y participar en esas soluciones, lo que demanda educación y motivación adecuada.

## **2. INFORMACION BASICA**

### **2.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS**

En términos generales consideramos que cualquier material se transforma en un residuo cuando su productor o dueño considera que no tienen valor suficiente para retenerlo. Los residuos sólidos se pueden clasificar de acuerdo a su origen en: Residuos Sólidos Urbanos, Residuos Sólidos Industriales y Residuos Sólidos (RS) Hospitalarios, RS de Actividad Minera, R.S. Forestales, R.S. Agrícolas, R.S. de Actividades Pesqueras, R.S. Radioactivos, etc.

En el siguiente curso se abordarán los temas de Residuos Sólidos Urbanos y de Residuos Sólidos Industriales.

#### **2.1.1 Residuos Sólidos Urbanos.**

Son los generados por cualquier actividad en los centros urbanos o en sus zonas de influencia. Esto implica que son algo más que los residuos generados a nivel domésticos, ya que han de contemplar el conjunto de otras actividades generadoras de residuos en la ciudad y alrededores. Incluye residuos tales como:

- a) Domiciliarios
- b) Comerciales y de Servicios
- c) Hospitalarios asimilables a urbanos
- d) De aseo de calles y sitios de recreación
- e) Abandono de animales muertos, muebles, enseres y vehículos
- f) Industriales, agrícolas, de construcción y obras menores de reparación domiciliarias.

#### **2.1.2 Residuos Industriales Sólidos**

Son los materiales resultantes de un proceso de fabricación, de transformación, utilización, consumo o limpieza cuyo productor o poseedor los destine al abandono. Quedarán excluidos de esta definición:

- Los efluentes gaseosos emitidos a la atmósfera
- Las aguas residuales, con excepción de los residuos en estado líquido, guardados en receptáculos.
- Los derivados de la actividad minera
- Los derivados de actividades agrícolas, ganaderas y forestales.

Atendiendo a su gestión se pueden subdividir en:

- a) Residuos Inertes
- b) Residuos asimilables a urbanos
- c) Residuos Peligrosos

### **a) Residuos Inertes:**

Escorias, escombros, fangos digeridos o desecados, arcillas, arenas, etc., y, en general, todos aquellos que no necesitan de un tratamiento previo a su disposición en un relleno habilitado para residuos inertes o un relleno sanitario. Por regla general, este tipo de residuos no implica riesgos para el medio ambiente, excepto los derivados de las cantidades en las que se generan. Pueden ser utilizados como material de relleno en movimiento de tierras.

### **b) Residuos asimilables a urbanos:**

Generados fuera del ámbito urbano en actividades auxiliares de la industria como oficinas, limpieza, sanitarios, comedores, embalajes, etc. Sus características, semejantes a las de los urbanos, les permiten ser tratados conjuntamente.

### **c) Residuos peligrosos:**

Los materiales sólidos, semisólidos, líquidos y gaseosos, contenidos en recipientes, que siendo el resultado de un proceso de producción, transformación, utilización o consumo, su productor los destine al abandono y contengan en su composición alguna de las sustancias y materias que figuren en el reglamento o las características de peligrosidad indicada en el mismo, y/o la ley vigente al respecto y que se encuentren en cantidades y concentraciones tales que representen un riesgo para la salud humana, recursos naturales y medio ambiente.

## **2.2 CARACTERISTICAS CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS.**

### **2.2.1 Generalidades.**

Los residuos sólidos urbanos (RSU), constituyen un material sumamente heterogéneo por la distinta naturaleza y la gran diversidad de tamaño de los elementos que lo componen. La cantidad y calidad de residuos producidos en una ciudad, depende de una serie de variables tales como: nivel socioeconómico y hábitos de consumo de la población, clima, estación del año, características de la comunidad (industrial, comercial, residencial, agrícola, etc.), es por esto, que existen variaciones importantes de un país a otro, e inclusive entre sectores de una misma ciudad.

Es así, que resulta necesario entonces, informarse sobre el conocimiento de la cantidad y las características físicas y químicas de los residuos sólidos producidos.

Esta información es deseable por muchas razones:

- Como fundamento para la planificación futura de métodos de recolección, transporte y disposición.
- Como consideración en la determinación de un método de disposición final o tratamiento (por ejemplo: relleno sanitario, incineración, compostificación, etc.)
- Como información básica para la obtención de recursos de los residuos sólidos (por ejemplo: recuperación de materiales, obtención de gas metano, etc.)
- Como base para la administración apropiada del sistema de recolección, transporte y disposición de los desechos sólidos (por ejemplo: datos sobre costo, selección de vehículos apropiados, etc.)

Debe reconocerse, sin embargo que las informaciones de las que se suele disponer, adolecen de serios inconvenientes:

- a) Los valores suministrados por distintas ciudades no responden a métodos uniformes de muestreo y mediciones.
- b) Las mediciones no se han continuado un tiempo suficiente para analizar la influencia de ciertas variables (estación del año, actividad económica, producción de bienes y servicios, ingreso "per cápita" de la población, etc.)
- c) Numerosas ciudades no han considerado la importancia de tales datos y no se han preocupado por su exactitud y confiabilidad.

### **2.2.2 Cantidad y Calidad de los Residuos Sólidos.**

Estos dos aspectos conjuntamente con sus proyecciones son de mucha importancia para la planificación de un servicio de limpieza de una ciudad.

Estas características como se dijo anteriormente dependen de una serie de variables (nivel de vida de la población, actividad de la población, ubicación geográfica, estación del año, etc.), por eso mismos resulta difícil extrapolar valores y ello puede conducir a grandes errores. El índice de kg de basura/habitante-día puede variar ampliamente entre ciudades de un mismo país o aún entre comunas o sectores de una misma ciudad.

El Cuadro N° 1 presenta población, producción de residuos sólidos y producción per-cápita del año 1990 de varias comunas que utilizaban el relleno sanitario "Lo Errazuriz"

**CUADRO N° 1**  
**PRODUCCION DE RESIDUOS SOLIDOS EN COMUNAS DEL AMS EN 1990**  
**VERTEDERO LO ERRAZURIZ**

<b>COMUNAS</b>	<b>POBLACION (Hab)</b>	<b>PRODUCCION (Ton)</b>	<b>PPC (kg/hab-día)</b>
Providencia	111.853	44.584	1.09
Ñuñoa	166.213	54.483	0.90
La Reina	86.596	39.121	1.24
Santiago	311.249	135.310	1.19
Macul	121.448	31.313	0.71
San Miguel	187.276	53.701	0.79
La Florida	305.869	62.436	0.56
La Cisterna	353.273	75.660	0.59
San Joaquín	114.663	35.382	0.85
Maipú	299.876	64.684	0.59
Est. Central	143.263	37.996	0.73
Peñalolén	170.442	33.883	0.54
La Granja	122.664	25.374	0.57
San Ramón	100.777	22.368	0.61
La Pintana	137.655	26.469	0.53

Para prever las cantidades de basura que una localidad puede producir en el futuro debe tenerse presente los dos principales motivos de incremento: aumento poblacional y desarrollo tecnológico.

La población puede estimarse por algunos de los métodos de proyección en uso: métodos gráficos, crecimiento geométrico, crecimiento aritmético, fórmula de interés compuesto, etc.

Para considerar el desarrollo tecnológico y variable asociados, pueden llegar a plantearse modelos matemáticos de generación de residuos que consideran el ingreso per-cápita, el tamaño y posibilidades de incremento del comercio y la industria, el desarrollo urbanístico (asociado a demoliciones, incrementos de parques y paseos). Llegar a plantear un modelo requiere un volumen considerable de información confiable.

En los Cuadros N° 2 y N° 3 se presentan valores de proyección de producción de Residuos Domiciliarios según factor económico.

**CUADRO N° 2**  
**PROYECCION DE PRODUCCION DE RESIDUOS DOMICILIARIOS**  
**SEGÚN FACTOR ECONOMICO**  
**PROVINCIA DE SANTIAGO (1993-2000)**

AÑO	POBLACION* v = 1.52% (Habit)	PPC = c + k* LN (IBP)	
		PPC (Kg/Hab/día)	PRODUCCION (Ton/año)
1993	4375851	0.82	1303664
1994	4441368	0.84	1366207
1995	4506885	0.87	1430456
1996	4572402	0.91	1517667
1997	4637919	0.94	1586690
1998	4703436	0.96	1642835
1999	4768954	0.98	1708306
2000	4834471	0.99	1754729

\*  $P = P_0 (1+v)^n$  donde  $P_0 = 4.310.334$  hab.

v = 1,52% (tasa media 1982-1992)

n = Número de años

**CUADRO N° 3  
PROYECCION DE RESIDUOS DOMICILIARIOS  
SEGUN ESTRATO SOCIOECONOMICO**

<b>ESTRATO</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>
ALTO								
PPC TONELADAS	1.13 265121	1.16 273322	1.18 279217	1.21 287528	1.24 295899	1.27 304331	1.30 312823	1.33 321375
MEDIO ALTO								
PPC TONELADAS	0.91 518812	0.94 544443	0.97 570619	1.00 597338	1.02 618538	1.05 646256	1.08 674518	1.11 703324
MEDIO BAJO								
PPC TONELADAS	0.72 333204	0.75 350671	0.79 373148	0.82 391237	0.85 409612	0.89 433140	0.92 452136	0.95 471419
BAJO								
PPC TONELADAS	0.62 202434	0.64 212745	0.67 226677	0.69 237520	0.71 248599	0.74 263476	0.76 275087	0.79 290614
PPC MEDIO	0.83	0.86	0.89	0.91	0.94	0.97	1.00	1.03
TOTAL	1319570	1381181	1449660	1513623	1572649	1647203	1714565	1786732



En los cuadros N° 4 y N° 5 se presentan valores de la composición de residuos sólidos de la Provincia de Santiago y valores promedio de la composición de residuos sólidos urbanos de varios países europeos.

**CUADRO N° 4**  
**ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DOMICILIARIOS DE LA**  
**PROVINCIA DE SANTIAGO.**  
**(porcentaje en peso)**

<b>COMPONENTES</b>	<b>1973</b>	<b>1977</b>	<b>1979</b>	<b>1983</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>
Materia orgánica	73.0	68.29	63.86	62.2	68.14	55.05	49.3
Papel y Cartón	16.0	19.26	16.42	18.9	14.85	16.77	18.8
Escombros, Cenizas y Lozas	0.6	1.58	7.26	6.5	-	3.75	5.9
Plástico	2.2	2.38	2.72	4.4	5.82	8.15	10.3
Textiles y Cueros	2.0	3.73	4.47	3.6	3.85*	7.50	4.3*
Metales	2.8	2.95	2.24	2.5	2.17	2.22	2.3
Vidrios	0.9	0.86	1.10	1.3	1.44	1.73	1.6
Huesos	2.0	0.29	0.80	0.3	-	1.43	0.5
Otros	0.5	0.66	1.11	0.3	3.73	3.42	7.0
Densidad	0.3	0.164		0.192		0.202	0.220
Humedad	66.4			64.7		53.9	50.3

\* Incluye sólo textiles

**FUENTE:**

- (1) José Bianchi Cerda. Universidad de Chile, 1973
- (2) Concha y Szczaranski, Universidad de Chile, 1977
- (3) Isamitt y Kauak. Universidad de Chile, 1979
- (4) Garcés. Universidad de Chile, 1983
- (5) Sandra Pinto. Universidad de Santiago, 1990
- (6) INTEC, 1991
- (7) María Luisa Rivas. Universidad de Chile, 1994.

**CUADRO N° 5**

<b>PAIS</b>	<b>Papel</b>	<b>Plásticos</b>	<b>Vidrios</b>	<b>Metales</b>	<b>Materia Orgánica</b>	<b>Textiles</b>	<b>Otros</b>
Austria	22	10	8	5	30	2	23
Bélgica	30	4	8	4	45		9
Bulgaria	9	7	4	5	37		38
Dinamarca	29	5	4	13	28		21
Finlandia	51	5	6	2	29	2	5
Francia	31	10	12	6	25	4	12
Alemania	18	5	9	3	44		20
Grecia	22	11	4	4	49		11
Islandia	37	9	5	6	15		28
Irlanda	34	15	5	4	24	3	15
Italia	23	7	6	3	47		14
Holanda	25	8	5	4	52	2	5
Noruega	31	6	6	5	30		23
Polonia	10	10	12	8	38		22
Portugal	23	4	3	4	60		6
España	20	7	8	4	49		10
Suecia	44	7	8	2	30		9
Suiza	31	15	8	6	30	3	7
Turquía	37	19	9	7	19		18
Reino Unido	35	11	9	7	20	2	16

(\*) Varias fuentes, Manejo integral de residuos sólidos. Peter White et al. 1995.

### 2.2.3 Características Físicas y Químicas de los Residuos Sólidos Urbanos

La información acerca de las características físicas y químicas de los residuos sólidos, resulta ser de gran importancia si es que se está estudiando darles algún tratamiento como alternativa a la disposición final en relleno sanitario.

Valores acerca del contenido de humedad, sólidos volátiles, cenizas y poder calorífico, son imprescindibles para diseñar los sistemas de incineración o de pirólisis, el contenido de humedad, carbono y nitrógeno lo son para compostificar (tratar bacteriológicamente) los residuos.

El contenido de humedad y la densidad suelta son parámetros básicos para la trituración, compactación y el diseño de los contenedores de los residuos sólidos.

En el Cuadro 7 se presentan valores de características físicas y químicas de residuos sólidos urbanos de nuestro país y de otros países del mundo.

**CUADRO N° 6**

<b>Características</b>	<b>Comuna de Santiago</b>	<b>Provincia de Quillota</b>	<b>Estados Unidos</b>	<b>Argentina</b>
Humedad %	66.00	60.7	30.1	51.4
Sólidos Volátiles	93.94	80.0	84.77	80.0
Cenizas	6.06	20.0	15.23	20.0
Poder Calorífico Superior cal/gr.	1829	3306	4020	3966
Carbono %	-	40.60	43.19	48.60
Nitrógeno %	-	1.16	1.14	1.50
Densidad Suelta ton/m <sup>3</sup>	0.216	0.260	-	0.250

### **3. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE INTERNO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

#### **3.1 ALMACENAMIENTO**

Es una etapa muy importante dentro del proceso de manejo de los residuos sólidos por los efectos que puede producir si las condiciones técnicas no han sido bien cuidadas.

Por razones sanitarias, estéticas y económicas para el usuario y para quien realiza la recolección, el tipo y tamaño de receptáculos, lugar de colocación y punto de recolección deben ser bien estudiados y normalizados.

Si bien la responsabilidad por el almacenamiento es del usuario, la autoridad local dentro de la función de limpieza pública o urbana, participa de esa responsabilidad estableciendo pautas al respecto y dictando e implementando la vigilancia de su cumplimiento de normas u ordenanzas que rigen tanto el lugar, horario y frecuencia de recolección como sobre las características de los receptáculos o bolsas descartables.

#### **Factores a Tenerse Presente al Definir Tipos de Receptáculos.**

1. Tamaño y forma que permitan su manejo dotándolo de asas o manijas que lo faciliten.
2. Material para los reutilizables que sea estructuralmente fuerte y de fácil limpieza. Para los desechables, materiales no absorbente, de buena resistencia mecánica y para evitar rotura por animales.
3. Confinamiento completo de su contenido a fin de aislarlo del exterior excluyendo los vectores y protegiéndolo contra las inclemencias del tiempo.

#### **Alternativas para el Almacenamiento.**

Los tipos en uso pueden ser clasificados en 5 grandes grupos:

- a) Estructuras fijas de almacenamiento estacionario que pueden aplicarse ya sea para contener a otros recipientes o para el almacenamiento directo de los residuos sólidos.
- b) Tambores de 200 litros de forma cilíndrica, usualmente sin asas o manijas, y que han sido descartados del transporte de aceites o productos químicos.

- c) Recipientes o contenedores especialmente diseñados para la recolección mecánica en gran variedad de tamaños y formas y asociados con vehículos adecuados. Permiten eliminar la carga manual de basura en los camiones recolectores.
- d) Recipientes livianos rígidos de metal o plásticos de hasta 100 – 110 litros de capacidad y normalmente equipados con tapas.
- e) Bolsas de papel o plástico, generalmente usadas dentro de los recipientes rígidos.

A estos 5 tipos habría que agregar la gran variedad de receptáculos que prácticamente “invaden” las calles cuando no existe una norma que los defina. Cajas, cajones, latas, baldes, etc., no cumplen las mínimas condiciones higiénicas y retrasan la recolección sin considerar la alta proporción de accidentes que pueden causar al personal obrero.

#### **Ventajas y Desventajas de los 5 Tipos Señalados:**

- a) Las estructuras rígidas, generalmente de cemento son ineficientes y antihigiénicas y pueden constituir riesgos de incendios. Requieren que el recolector retire con pala su contenido con pérdidas de tiempo, en una tarea riesgosa y sumamente costosa. Son, por otra parte, difíciles de limpiar y no pueden cubrirse adecuadamente.

Este tipo de almacenamiento suele usarse en barrios de bajos recursos económicos para reemplazar la recolección domiciliaria y como punto de acopio en mercados y supermercados.

Su dificultad de limpieza e inadecuado mantenimiento conduce muy frecuentemente a generar zonas sucias a su alrededor por derrames tanto durante la carga o la descarga.

Si el depósito sirve para contener recipientes de basura, el residuo es fácil de remover pero parte de él puede caer dentro del almacenamiento y éste debe ser limpiado con frecuencia.

- b) En muchos sectores son usados aún los tambores de 200 litros causando múltiples problemas de salud y seguridad a los recolectores así como al público en general y contribuyendo a bajar la eficiencia del servicio y a elevar los costos. Las dificultades provienen tanto del peso como de la falta de asas (pueden llegar a pesar más de 45 Kg con riesgos de daño muscular al operario al cargarlo). Por su forma también aumenta los peligros ya que puede deslizarse y caer. Por otra parte raramente se los tapa y así recogen lluvia agregando más peso y empastando la basura y haciendo difícil el desprendimiento de las paredes. Por supuesto, estos recipientes destapados

son origen de olores, proliferación de insectos en los meses de verano y si son alcanzados periódicamente por las aguas de lluvias, unido a la acidez de las basuras comienza el desgaste del metal (oxidación y picado) permitiendo que se dispersen los residuos o que los roedores puedan alcanzarlos. La corrosión metálica puede formar bordes afilados que puedan dañar al recolector o al usuario.

- c) El uso de contenedores de adecuadas dimensiones según la producción de residuos entre 2 recolecciones, pueden ser una buena solución, especialmente para agrupamiento de viviendas y establecimientos comerciales. Los tamaños pueden ser variables: 0.3 a 3m<sup>3</sup> y pueden ser metálicos o plásticos. Se pueden vaciar mecánicamente en el vehículo o bien trasladarse al sitio de descarga. En ambos casos el camión debe poseer dispositivos para su elevación o transporte y se debe contar con espacio suficiente para maniobra del vehículos y para estacionamiento del contenedor.
- d) Los recipientes livianos de metal o plásticos de hasta 110 lts. de capacidad son aceptables cuando son poco corrosivos y oxidables, se pueden mantener razonablemente limpios, tienen tapas y su peso no excede los 40-42 Kg cargados con basura. El uso de tachos más pequeños en cada parada aumenta el tiempo de carga en el camión, mientras el uso de mayores recipientes (más grandes y más pesados) incrementa el peso que los hombres deben levantar.
- e) El uso de bolsas plásticas y de papel se ve como una alternativa a los otros tipos de recipientes, sobre todo las primeras por su menor costo. El sistema de bolsas ha sido bien aceptado por la recolección: son fáciles de manejar y cargar, no se deben separar las tapas, no se requiere tiempo y esfuerzo para su vaciado, no necesita devolverse (se ahorra tiempo y trabajo de los operarios). El resultado es un servicio más rápido, eficiente y de menor costo. La eficiencia se mejora igualmente cuando las viviendas poseen compactadores ya que el volumen se ha reducido visiblemente.

No obstante la reducción de costos que puede significar la recolección de este tipo de bolsas, sólo se traduce realmente en ventajas para el servicio si se asocia a otras medidas reductoras de gastos como disminución del tamaño de la cuadrilla o racionalización de los vehículos en uso.

#### **Ventajas Adicionales a las Indicadas:**

- a) Fácil agregar mayor número de bolsas para absorber los incrementos en la generación de residuos.
- b) Las bolsas son desechables, de modo que terminada la recolección, las calles aparecen limpias, sin fila de recipientes en las veredas.

- c) La recolección es más silenciosa (no se produce ruido en su manejo) y el vehículo permanece tiempos más breves en las paradas.
- d) Como las bolsas se cierran completamente, se disminuye el peligro de esparcimiento de basuras.
- e) El recolector está menos expuesto al contacto con las basuras peligrosas aunque debe ser bien manipuladas para evitar objetos cortantes y/o afilados que pueden a su vez rasgar las bolsas.
- f) Las bolsas vacías son livianas y plegables y su almacenamiento requiere poco espacio comparados con otros receptáculos de basuras.

**Las Desventajas Son:**

- a) Las bolsas pueden caer y romperse aunque esto puede evitarse por el uso de materiales más gruesos y resistentes.
- b) Son débiles ante el ataque de animales y no son adecuadas para almacenar objetos grandes, pesados y aguzados.
- c) No pueden contener policloruro de vinilo (PVC) cuando los residuos serán incinerados pues se formará ácido clorhídrico que causará corrosiones y desgaste al sistema y contaminación atmosférica.
- d) Su costo es sensiblemente mayor que el de los receptáculos de metal o plásticos.

**Sitio de Almacenamiento.**

Para la unidad de vivienda generadora de residuos, debe preverse un lugar de ubicación del receptáculo fácil de limpiar, de material impermeable, de difícil acceso de roedores y vectores, con buena ventilación. Siendo esta etapa función del usuario, debe educarse sobre las buenas prácticas higiénicas.

Para viviendas colectivas, el sitio de concentración de las basuras provenientes de cada unidad se puede considerar como lugar común y por tanto sujeto a norma y control o inspección de la autoridad municipal. Además de contar con un área que permita el fácil manejo y almacenamiento de los residuos entre recolecciones, la construcción deberá cumplir con requisitos mínimos.

- a) Pared impermeables, de fácil lavado y resistente a los golpes.
- b) Provisión de Agua y Sistema de Desagües.
- c) Buena iluminación y ventilación.
- d) Tener acceso desde la calle.

### **3.2 TRANSPORTE INTERNO.**

La actividad de transporte interno se realiza en edificación en altura de muchos niveles, en conjuntos residenciales que no son atendidos individualmente por los servicios de recolección, en establecimientos comerciales o industriales que ocupan grandes áreas, etc.

En el transporte interno podemos distinguir el transporte vertical, transporte horizontal y el transporte neumático.

#### **- Transporte Vertical.**

El transporte vertical se realiza, normalmente, por ductos verticales, en los cuales es introducido el residuo por medio de buzones existentes en los diferentes niveles del edificio. El residuo es recibido en la planta baja o el subterráneo en receptáculos de gran tamaño, contenedores, dispositivos para compactar, etc. Las características, tanto de los ductos verticales, como de los lugares, receptáculos y cámara de recolección, están definidas para nuestro país en la Resolución N° 7328 del Ministerio de Salud.

#### **- Transporte Horizontal**

El transporte horizontal se realiza utilizando pequeños carros, en algunos casos acoplado varios de ellos como un tren y arrastrándolo por medio de un tractor. Estos aparatos permiten llevar los residuos desde los centros de producción alejado hasta el sitio de almacenamiento y de ahí a los vehículos recolectores cuando estos últimos no pueden llegar al lugar de almacenamiento.

#### **- Transporte Neumático.**

Este transporte se hace utilizando tuberías de 0,6 – 0,8 m de diámetro, en general de acero inoxidable de 5mm de espesor, también se utiliza, aunque en una menor escala el fierro fundido. Las curvas deben presentar un radio mínimo de tres veces el diámetro de la tubería y las elevaciones deben formar un ángulo con la horizontal igual o menor a 20°.

La tubería recorrida por una corriente de aire de aproximadamente 25 m/seg. (90 Km/h), producidas por un equipo de turbinas, accionadas por motores de 100 HP. Esta corriente que es capaz de arrastrar hasta baterías de automóviles, lleva los residuos desde los centros de producción hasta el lugar donde son acondicionados en contenedores para su remoción periódica. La distancia de transporte pueden recuperar los 1500 m y por lo general tienen cámaras de inspección cada 100 m.



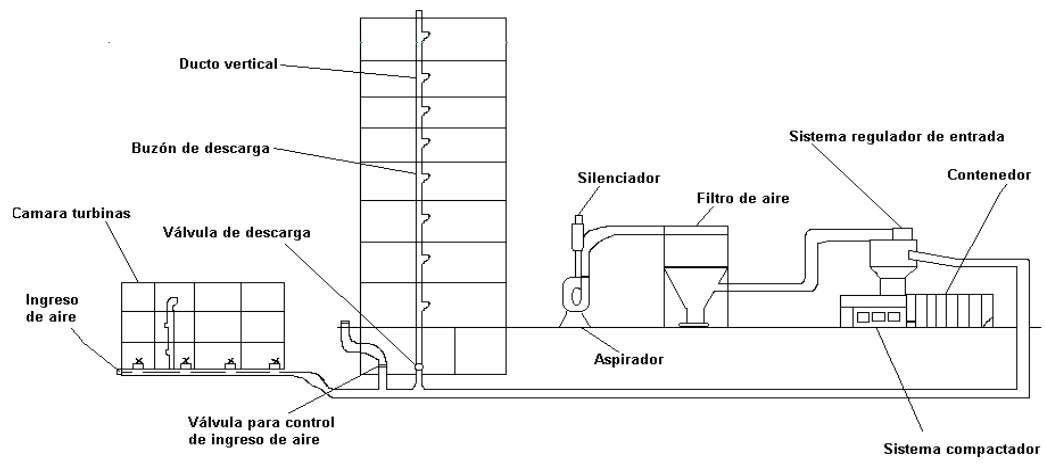


FIGURA : TRANSPORTADOR NEUMATICO

## **4. RECOLECCION Y TRANSPORTE**

### **4.1 GENERALIDADES.**

La recolección y el transporte son dos actividades de gran importancia en el manejo de los residuos sólidos, por los elevados costos que tiene, tanto de inversión como de operación.

La recolección es realizada generalmente por una cuadrilla de hombres que acompañan a un vehículo que está dotado de una caja que permite acumular los residuos sólidos, y una vez llena, transportarlos al lugar de disposición final.

Existe una gran variedad de vehículos cajas que son fabricados especialmente para la recolección y el transporte de estos residuos, la mayoría de ellas son cajas compactadoras, existen también algunas que trituran y otras que pueden levantar contenedores de gran volumen.

Las cajas o tolvas más usadas se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- a) La basura se deposita en un capacho trasero, de donde la empuja al interior de la tolva una placa movable, mientras otra impide que se devuelva la que ya está en el interior. Estas placas no sólo empujan los desperdicios dentro de la caja, sino que además la van compactando. Una placa eyectora que se desliza desde el fondo de la caja permite el fácil vaciado de los residuos.
- b) La basura se vacía en la abertura trasera de un tambor giratorio, de forma tronco-cónica y con hélice en el interior. La rotación del tambor, y la forma que tiene, va empujando los residuos hacia el interior, y al mismo tiempo los compacta. Contribuye a reducir el volumen el golpeteo de los materiales más duros, tales como tarro, contra los más blandos, que se van desmenuzando. Para descargar la tolva simplemente se la hace girar en sentido inverso.
- c) La basura se carga por los lados, y en el extremo junto a la cabina, de una tolva cilíndrica o rectangular. En seguida, una placa la empuja hacia la parte trasera del camión, retrocediendo luego la placa a su posición primitiva. Estos equipos son en general de un precio más bajo, pero presentan varios problemas. El carguío lateral es peligroso en calles de mucho tránsito, como casi siempre la altura de carga es muy grande, a menudo tiene que ir un operario en el interior de la tolva para recibir los receptáculos con basura que le pasan los cargadores; al haber una sola placa, sin un dispositivo que retenga los desperdicios, éstos se devuelven al retroceder la placa, alcanzándose sólo limitadas reducciones de volumen; y por último, siempre hay un frente de basuras expuesto, con los inconvenientes sanitarios que ello significa.

- d) Los residuos se cargan en la parte trasera del camión, y una placa la empuja hacia delante, compactándola. El principio es el mismo de las tolvas del grupo c), pero funcionando en el sentido contrario, con lo que se consigue poder cargar por atrás en vez de por los lados. Sin embargo, subsisten casi todos los demás inconvenientes. En efecto, también parte de la basura se devuelve al retroceder la placa compactadora por no haber un dispositivo que la retenga, se alcanzan limitadas reducciones de volumen y hay desperdicios expuestos al aire, que incluso suelen volcarse al avanzar el camión. Por necesitarse espacio en la cola del vehículo para el acondicionamiento de la placa, la altura de carga es más grande que lo recomendable. Estos equipos a veces tienen una placa eyectora para descargarlos, pero cuando carecen de ella, se agrega el problema de tener que levantar toda la caja para vaciarlos, con riesgo de volcamiento para el vehículo.

El bajo precio es tal vez el único punto favorable.

- e) En la parte delantera del camión hay un capacho donde se echa la basura. Dos brazos hidráulicos lo levantan por sobre la cabina y lo vacían por arriba en la tolva, donde una placa va compactando los desechos. Para descargar, se abren las puertas traseras de la tolva y la misma placa empuja la basura hacia fuera. Estos equipos tienen una altura de carga muy baja, es ventajoso que el conductor vea a los cargadores, y los desperdicios van en una caja cerrada, pero en general son más caros que los demás.

Salvo algunos casos excepcionales, en general las tolvas compactadoras de basura se colocan en chasis convencionales, pudiendo elegirse diferentes marcas, pero es muy importante calcular que parte del peso de la basura y de la tolva misma van al eje delantero y que parte de eje trasero, para que no se sobrepase la capacidad de los mismos. No es raro que los equipos se monten en chasis inapropiados, lo que se traduce en la frecuente rotura de los paquetes de resortes e incluso en fallas en los ejes o diferencial.

## **FRECUENCIA DE LA RECOLECCIÓN**

Al estudiar los métodos de recolección veremos que el tiempo necesario para llenar un camión depende fundamentalmente de la cantidad de basura que hay por kilómetros de calle. Si se duplica la cantidad de desperdicios, el camión se llena en la mitad del tiempo. Ahora bien, al hacerse la recolección cada dos días en vez de diariamente, se consigue duplicar la cantidad de basura por kilómetro, y el tiempo necesario para llenar el vehículo recolector se disminuirá a la mitad, lo que significa que el rendimiento será el doble. En igual forma, al recoger cada tres días, el rendimiento se triplica.

Parece recomendable espaciar la recolección lo más posible, pero la limitante es la forma como se almacenan los desperdicios en las viviendas. Si están en bolsas de plásticos o recipientes con tapas herméticas, no hay problema en establecer una frecuencia de una

vez por semana, salvo en climas cálidos en que la basura fermenta muy rápidamente. Si se usan recipientes abiertos, en cambio, no debería llegarse a frecuencias menores de dos días.

Sin embargo, donde existe gran cantidad de basura, por ejemplo donde hay edificios con gran densidad de ocupantes, deja de ser válida la regla enunciada anteriormente, ya que el camión debe permanecer detenido largo rato en el mismo punto para vaciar todos los receptáculos. En los sectores de una comuna en que esto ocurra, no se obtiene ninguna ventaja en disminuir la frecuencia de la recolección, y para dar un buen servicio la recogida debe ser diaria.

En algunas ciudades se ha establecido la “recolección separada”, es decir, algunos días se recogen los restos de cocina, y otros materiales tales como tarros o papeles. Las ventajas de este sistema son que estos materiales se pueden vender para reaprovecharlos, y que la frecuencia con que se recogen puede ser menor. Sin embargo, para estos efectos, se necesita un usuario preparado mediante una intensa campaña de información para que los residuos se entreguen por separado y que los efectos de esta acción se traduzcan no sólo en menor costo del servicio sino también en un mejor servicio, de esta forma el sistema se mantendrá en el tiempo.

## 4.2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCION

El diseño racional de un sistema de recolección de basuras es un problema de ingeniería. La eficiencia depende de la acertada elección de:

- Tipo y tamaño de los vehículos
- Número de operarios por vehículo
- Número de viajes por día para una distancia dada al lugar de descarga

y de la buena diagramación de las rutas de recolección

El número de viajes por turnos podemos calcularlo utilizando la siguiente expresión

$$N = \frac{\text{tiempo disponible}}{t \text{ para recolección} + t \text{ de transporte} + t \text{ en disposición final}}$$

tiempo disponible = Jornada de trabajo (min)

$$\text{tiempo para recolección} = \frac{b \cdot c}{a}$$

$$\text{tiempo de transporte} = \frac{d}{v}$$

tiempo en disposición = tiempo promedio en mto. de permanencia en el lugar donde se descargan los residuos (min)

N = N° de viajes realizados en un día

b = rendimiento de los operarios en  $\frac{(\text{Hm-min})}{\text{ton}}$

c = capacidad del camión (ton)

a = N° de operarios por camión (Hom)

d = distancia ida y vuelta al lugar de disposición final (Km)

v = velocidad promedio del vehículo recolector  $\frac{(\text{Km})}{\text{min}}$

Una vez determinado el N° de viajes por día y las toneladas promedio por viaje de los vehículos, podemos determinar la cantidad de vehículos necesarios para una ciudad o comuna conociendo la población, producción per cápita de residuos y la frecuencia de recolección.

### **Diagramación de Ruta de Recolección**

La diagramación consiste en desarrollar una ruta de recorrido para cada subsector, de manera que permita a cada equipo llevar a cabo el trabajo de recolección de basura con una menor cantidad de tiempo y recorrido.

### **Datos Necesarios**

Para llevar a cabo el trabajo de diagramación se necesitan los siguientes datos:

- a) Lugar del garaje
- b) Lugar de disposición final
- c) Sentidos de circulación
- d) Hoya de mayor cantidad de tránsito y situación de la congestión
- e) Topografía
- f) Vías servibles y vías no servibles
- g) Tipos de trazos de rutas

En cuanto a trazo de rutas de recolección, existen por lo menos dos tipos, los que brevemente se describen a continuación.

- Peine: Recolección de ambos lados de las vías a la misma hora; se recorre solamente una vez por cada vía.
- Doble Peine: Recolección de un lado de las vías; se recorre por lo menos dos veces por cada vía.

El primer trazo se recomienda en zonas de escasa densidad de población, y por lo mismo extensas. El segundo trazo es recomendable para zonas de alta densidad de población y principalmente en zonas comerciales.

### **Reglas Comunes de Diagramación.**

Las rutas deberán tener las siguientes características:

- a) Deben evitar duplicaciones, repeticiones y movimientos innecesarios.
- b) Deben contemplar las disposiciones de tránsito
- c) Deben minimizar el número de vueltas izquierdas y redondas, con el propósito de evitar pérdidas de tiempo al cargar, reducir peligros a la tripulación y minimizar la obstaculación del tráfico.
- d) Las rutas con mucho tráfico no deben recorrerse en la hora de mayor tránsito.
- e) Dentro de lo posible, las rutas deberían iniciarse en los puntos más cercanos al garaje, y conforme avanza el día, ir acercándose al lugar de disposición final con el propósito de disminuir el tiempo de acarreo
- f) Las partes más elevadas deben recorrerse en los inicios de ruta
- g) Dentro de lo posible, las vías empinadas deben recorrerse cuesta abajo, realizando la recolección de ambos lados de las vías, con el fin de aumentar la seguridad del trabajo, acelerar la recolección, minimizar el desgaste de equipos y reducir el consumo de combustible y aceite.
- h) Cuando se usa el trazo “peine” (recolección de ambos lados de las vías, recorriéndose una vez por cada vía), generalmente es preferible desarrollar las rutas con recorridos largos y rectos antes que dar vueltas a la derecha.
- i) Cuando se usa el trazo “Doble Peine” (recolección de un lado de las vías, necesitándose recorrer por lo menos dos veces por cada vía), generalmente es preferible desarrollar las rutas con muchas vueltas en el sentido de las

agujas del reloj, alrededor de manzanas, tal como se muestra en la siguiente figura:

### **MODELOS DE RUTAS PARA DOBLE PEINE**

## **Procedimiento de Diagramación**

A continuación se presenta el procedimiento de diagramación de rutas:

- a) Preparar un mapa de la ciudad a escala 1:5.000
- b) Realizar el trabajo sectorizado
- c) Preparar el mapa de trabajo para cada subsector, utilizando transparencias y la técnica de simplificación de la red de vías que se presenta en la siguiente figura:

### **TECNICA DE SIMPLIFICACION DE LA RED DE VIAS**



### **4.3 ESTACIONES DE TRANSFERENCIA**

La expansión que experimentan los centros poblados en desarrollo, hacen que los lugares de disposición se vayan trasladando cada vez a mayores distancias de los centros de gravedad de los sectores atendidos, esto trae como consecuencia un aumento sensible de las distancias de transporte que se ven reflejados en un aumento de tiempo en el transporte.

Por lo tanto se torna muy importante la necesidad de hacer estudios rigurosos que permitan la optimización de los sistemas de transporte, en vista a disminuir los costos y a mejorar la calidad de los servicios prestados.

El transporte de los desechos hasta el destino final, en los vehículos utilizados en el servicio normalmente, puede tornarse anti-económico en la medida que el binomio, distancia-tiempo para tal operación, se torna excesivo en relación a la disponibilidad de equipo.

#### **DEFINICION**

El término Estación de Transferencia se aplica a las instalaciones necesarias para el traspaso de basura desde un vehículo a otro en el proceso de evacuación de la basura de un centro poblado, ya sea porque la distancia al botadero hace antieconómico el traslado directo o porque se cambia el medio de transporte por las condiciones físicas del lugar. Estas instalaciones adicionales permiten las operaciones de traspaso en forma rápida, segura y económica.

#### **TIPO DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA**

Diversos son los tipos de Estaciones de Transferencia, de acuerdo al tipo de construcción, equipamiento utilizados, vehículos, métodos de transferencia deseados, etc.

Los modelos más simples consisten en una rampa que conduce a una plataforma posicionada en una altura tal, que permite que los vehículos de recolección, en esta plataforma vacíen su contenido en un vehículo de mayor capacidad abierto en la parte superior, este sistema exige que después del vaciamiento, los desechos sean arreglados dentro de los transfer, por medio manual.

Una variante de este tipo de estación es aquella en que los vehículos vacían en la plataforma, la basura va siendo empujada dentro de los transfer por medio de un bulldozer.

Un tercer tipo prevee la eliminación de los niveles, siendo entonces transportado hasta el transfer por una cinta transportadora con el objetivo de reducir aún más los costos de transporte, algunas instalaciones van dotados con equipamientos especiales de reducción de volumen.

## **Estaciones de Transferencia con Reducción de Volumen**

### **A. Con compactadores estacionarios**

Los desechos son vaciados sobre un transfer localizado a la altura de un compactador, el que irá prensando los desechos dentro del transfer.

Cuando las instalaciones son en regiones o sectores de grandes concentraciones de desechos, donde se registran Pick de llegadas de vehículos de recolección, estas estaciones son construidas en ambiente cerrado y poseen tolvas o sitios de almacenamiento, que funcionen como reguladores de llegada, eliminando de esta forma las filas de espera.

### **B. Con auto-compactador**

En caso los desechos son compactados con un sistema de compactación que posee el mismo transfer.

### **C. Con trituración**

Los desechos antes de ser colocados en los vehículos de transporte, pasan a través de grandes molinos, siendo triturados, reduciendo su volumen por la eliminación de vacíos, este sistema exige una mantención muy cara.

### **D. Con recuperación**

El último proceso de reducción de volumen es el retiro de todo aquello que es susceptible de venta por ej. tarros, papeles, vidrios, plásticos, etc.

Este retiro puede ser mecánico, manual, electromagnético, etc.

## **Ventajas y Desventajas de las Estaciones de Transferencia**

- 1.Reduce los “tiempos muertos” de la recolección permitiendo un mejor aprovechamiento de la mano de obra y del equipo.
- 2.Disminuye los costos de mantención y operación de los sistemas de recolección, por la reducción de las distancias y aumento de la productividad de los vehículos.
- 3.Permite la utilización de vehículo de recolección de menor capacidad y consecuentemente de mayor movilidad, aumentando la velocidad de los servicios.
- 4.Permite un mejor aprovechamiento de la capacidad de los chasis.

## **Desventajas**

1. La principal desventaja es la inversión inicial, algunas veces bastante elevada por el grado de sofisticación de la instalación.
2. En algunos casos se producen problemas con la vecindad, por el ruido y el olor.

## **Planeamiento de una Estación de Transferencia**

Factores que deben ser considerados para escoger un sistema de “Estación de Transferencia”.

- Tipo de residuos a ser transportados
- Cantidad de residuos
- Tiempo y distancia de transporte
- Equipamiento de recolección usado
- Métodos de disposición final usado
- Disponibilidad de locales para la instalación
- Restricciones urbanas
- Condiciones de tráfico
- Economía del sistema

Las respuestas a estas preguntas orientarán las decisiones referente a la localización y dimensionamiento de la Estación de Transferencia.



## **PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES**

Las principales emisiones contaminantes en las estaciones de transferencia provienen del material particulado que se levanta al producirse la descarga de los residuos, los líquidos que se derraman también en este vertimiento o que se producen en la compactación o en el lavado de pisos, paredes, fosas de acumulación, camiones o diversos equipamientos que tienen contacto con los residuos, también hay emisiones gaseosas producto de la normal descomposición de la materia orgánica contenida y de los vehículos que transitan al interior del recinto. El ruido que se genera proviene principalmente del funcionamiento de los equipos y camiones.

Tal vez el mayor impacto se produce en las vías de acceso a la estación de transferencia y se debe en el caso de que la estación sea de tamaño medio o grande, a la gran cantidad de vehículos que confluye a la instalación especialmente en la hora peak de llegada.

<b>CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UN ESTACION DE TRANSFERENCIA</b>	
<b>IMPACTO</b>	<b>CARACTERISTICA</b>
Impacto sobre las vías	Toda estación de transferencia trae consigo un aumento importante del flujo vehicular sobre las vías, luego es muy importante considerar este factor en la elección del sitio. La estación de transferencia debe ubicarse cerca de las vías principales, de manera de permitir tanto una entrada como una salida rápida de la Estación de Transferencia. Toda evaluación de impacto ambiental debe estudiar los efectos que presenta este aumento de flujo vehicular en el sector, verificando la capacidad de cada una de las vías a utilizar.
Contaminación del Aire	Esta se produce principalmente por la emisión de material particulado que se levanta durante los procesos de descarga de los residuos y de la operación de los distintos vehículos, también es importante en emisión de gases de estos vehículos. Si la Estación de Transferencia es abierta es necesario evaluar si existe arrastre de esta material hacia zonas pobladas por efecto de los vientos.
Olores	Malos olores se originan por la descomposición de los residuos que llegan a Estaciones de Transferencia, en especial en época de verano y por el derrame de líquidos residuales. Es indispensable que la estación cuente con un sistema de recogido de los líquidos residuales y que éstos sean conducidos rápidamente a un sistema de tratamiento para su posterior evacuación de la estación.

IMPACTO	CARACTERISTICA
Contaminación Acústica	<p>Se debe principalmente a los ruidos que generan los vehículos de recolección, transferencia y algunos otros equipos que se utilizan en la Estación de Transferencia.</p> <p>Este factor debe ser considerado durante la elección del lugar ya que es muy difícil poder mitigar sus efectos.</p>
Contaminación por Líquidos Residuales	<p>En la Estación de Transferencia se generan distintos líquidos provenientes del proceso de descarga y compactación de residuos, limpieza y lavado de las instalaciones (paredes, pisos, focos, etc.) la presencia de ellos puede dar origen a contaminación de suelos o cursos de agua, por lo que es indispensable que dentro de las medidas de mitigación, el proyecto contemple sistema de manejo y tratamiento. A la vez debe considerarse un correcto manejo de las aguas lluvias, de modo de que éstas no ingresen a las zonas de carga y descarga, y tengan contacto tanto con los residuos como con los líquidos y no incrementar el volumen de líquidos contaminados.</p>

## UBICACION GEOGRAFICA

Se puede decir que un proyecto de estación de transferencia se puede llevar a cabo en cualquier localidad, dado que no existen restricciones físicas en cuanto a su ubicación, salvo aquellas que guardan relación con la construcción de obras civiles. Sin embargo, algunas características de la zona pueden obligar a construir un tipo específico de estación, como ser aquellos de lugares con una alta pluviometría, donde las estaciones deberán ser cerradas para evitar problemas con las aguas lluvias, lo mismo ocurre en zonas donde se originan fuertes vientos y que obligan a contar con sistemas de protección para evitar la salida de elementos livianos contenidos en los residuos.

La estación de transferencia está considerada una actividad industrial no molesta, por lo tanto las restricciones en cuanto a ubicación, deben cumplir con la normativa para este tipo de actividad, en ningún caso se pueden considerar exigencias impuestas a los sistemas de tratamiento o disposición de residuos, ya que como su nombre lo dice son instalaciones que permiten transferir los residuos a otras instalaciones sin que éstos permanezcan en el lugar más allá del tiempo de la jornada diaria.

La ubicación de la estación de transferencia generalmente no está sujeta a restricciones de tipo geográfico sino está condicionada principalmente a factores relacionados con el manejo integral de los residuos como 1) cercanía a los centros de gravedad de las zonas individuales de producción de residuos que se van a servir; 2) facilidad de acceso a carreteras principales, también cercanía a medios de transporte secundarios o suplementarios; 3) donde exista mínima objeción ambiental a las operaciones de transferencia; 4) donde la construcción y el almacenamiento sea lo más económico posible; 5) además si se va a utilizar la estación de transferencia para operaciones de procesamiento involucrando recuperación de materiales y/o producción de energía se deben valorar los requisitos de esas operaciones, en algunos casos estos últimos requisitos pueden ser cruciales.

## **TAMAÑO DE LAS ESTACIONES DE TRANSFERENCIA**

El tamaño de una Estación de Transferencia está directamente ligada a las de las plantas de tratamiento de residuos o del lugar de disposición final, éstas generalmente se calculan para un período de vida útil igual a la de los procesos posteriores, sin embargo no siempre se diseñan para la máxima carga futura, sino en muchos casos se contemplan ampliaciones de su capacidad a lo largo del tiempo, esto responde principalmente a razones económicas. Así por ejemplo una estación que tiene proyectadas una vida útil superior a los 20 años, se puede dimensionar para una primera etapa considerando la generación de residuos durante los primeros 10 años y a medida que se requiera de una mayor capacidad se van agregando nuevos equipos, vehículos y fosos de acumulación, de esta forma se distribuyen mejor los costos de inversión, reflejándose esto directamente en las tarifas.

Tomando como referencia los tamaños comúnmente disponibles para este tipo de instalaciones, las estaciones de transferencia pueden clasificarse según su capacidad de rendimiento (cantidad de material que puede transferir y transportar) de la siguiente forma:

- \* Bajo, menos de 100 t/día
- \* Medio, entre 100 y 500 t/día
- \* Alto, más de 500 t/día

## **MEDIDAS DE MITIGACION**

Un apropiado diseño y una adecuada operación pueden minimizar los impactos ambientales de las estaciones de transferencia. La mayoría de estas instalaciones de tamaño media o grande están cerradas y construidas con materiales de fácil mantenimiento y limpieza y cuentan con dispositivos que mitigan la emisión de particulado y malos olores (por ej. Aspersión de agua y sustancias desodorantes). En el caso de que la estación de transferencia sea abierta y de que la carga sea directa se debe prestar una atención especial al problema de vuelo de papeles, plásticos y polvo, para tal efecto se utilizan pantallas contra el viento u otro tipo de



barrera. Es siempre conveniente que en el perímetro del recinto se genere una pantalla de tipo vegetal compuesta de árboles y arbustos. En general el diseño de la obra debe evitar todo punto que genere acumulación de basura y que sea de difícil acceso para la limpieza. Las condiciones sanitarias deben ser mantenida en base a un sistema de limpieza que evite que los residuos sólidos caídos o los líquidos producidos o derramados permanezcan esparcidos por más de una o dos horas. En algunas instalaciones de tamaño medio o grande puede ser conveniente instalaciones para el pretratamiento de aguas residuales previo a su evacuación al sistema de alcantarillado, en lugares donde no exista sistema de alcantarillado es posible que se requiere instalaciones más complejas para el tratamiento de aguas residuales.

Para mitigar el impacto de la gran cantidad de vehículos que llegan en la hora peak se puede de alguna manera coordinar con los usuarios de la estación de transferencia, especialmente quienes realizan servicios para las municipalidades, un programa de uso de la instalación de manera de lograr que los vehículos lleguen en forma secuencial en el tiempo evitando que se produzcan acumulaciones de ellos en determinadas horas.

## **5. REDUCCION DE VOLUMENES**

### **5.1 TRITURACION.**

La trituración es un tratamiento que se aplica a los residuos con el fin de reducir su volumen ya sea para eliminarlos por la alcantarilla, para facilitar su transporte o también como preparativo para la incineración o el relleno sanitario.

La trituración se realiza por medio de trituradores domésticos, trituradores comerciales o trituradores municipales.

#### **a) Trituradores Domésticos.**

Estos tienen la ventaja de eliminar en el mismo sitio de producción gran parte de la materia orgánica contenido en los residuos domésticos, favoreciendo de esta forma el almacenamiento de las basuras y eliminando gran parte de los problemas ocasionados por la descomposición.

Sin embargo, hay que evaluar con cuidado las ventajas generales que ofrecen los trituradores domésticos de basura a la comunidad. Estos son útiles, pero no eliminan la necesidad de recoger la mayor parte de los residuos. Por lo general, desechos provenientes de jardinería o desechos como conchas de moluscos u otro tipo de caparazón de mariscos, son controlados en estos dispositivos y producen olores tan molestos como el resto de las basuras y tienen que ser almacenados, hasta que se les recolecta.

Los trituradores domésticos como su nombre lo indica, se usan en forma particular en cada hogar y se instalan en el lugar más conveniente para la eliminación de los residuos de comida, esto es, debajo del lavaplatos de la cocina. Estos equipos poseen un depósito que admite aproximadamente un decímetro cúbico de basura y un motor eléctrico que hace girar a gran velocidad los cuchillos trituradores. Para arrastrar la basura triturada es necesario un suministro de agua fría de la llave (el agua tiene que ser fría para que solidifique la grasa antes de que entre en el sistema de alcantarillado).

La trituración debe ser fina y uniforme debido a que las partículas grandes se atascan a veces en las cañerías de desagüe o se depositan en las alcantarillas.

Existe una considerable divergencia en los dispositivos de seguridad de los trituradores. Algunos de ellos llevan un interruptor eléctrico que permite el funcionamiento cuando se cierra la tapa, impidiendo de este modo que el triturador pueda funcionar con la tapa abierta. Sin embargo, si en este modelo se trituran grandes cantidades de basuras, es necesario detener la máquina para recargarla.

En algunas unidades las tapas no están intercaladas en el circuito eléctrico, mientras que en otras la parte superior está cubierta y protegida por unos "dedos" de caucho. En estos dos modelos se pueden introducir basuras mientras están

funcionando, pero también es posible que alguna persona toque con la mano los cuchillos mientras giran.

Todos los tipos de trituradores domésticos se pueden equipar con un interruptor de control de la corriente de agua, que funcione al girar la llave del agua fría. El triturador no comienza a funcionar mientras la corriente de agua no alcance un determinado volumen. Este método asegura un suministro adecuado de agua antes de que el triturador pueda empezar a trabajar, reduciendo al mínimo el riesgo de que las cañerías de desagüe se obstruyan con residuos triturados. Sin embargo, el interruptor aumenta el precio del triturador, por lo que se omite generalmente.

Los costos de compra, instalación, operación y mantenimiento de los trituradores domésticos son variados y dependen del grado de sofisticación del dispositivo.

Los trituradores se pueden instalar fácil y económicamente mientras la casa está en construcción, por que entonces la instalación eléctrica, el lavaplatos y su sistema de desagüe y el sistema de alcantarillado domiciliario están diseñados para este fin. En casas antiguas un triturador resulta casi prohibitivo. Algunas de las casas no tienen cañerías apropiadas de desagüe al alcantarillado municipal, y en otras las pilas y la fontanería son tan viejas y se encuentran en tan mal estado que es necesario renovarlos por completo.

Los trituradores domésticos tienen una vida útil de diez a veinte años, dependiendo de los cuidados y mantención que se le otorguen. Es necesario darles algún servicio con los años, porque los cierres herméticos se desgastan, los interruptores eléctricos dejan de funcionar, las juntas de caucho se deterioran y los motores se averían.

## **Beneficios del Uso del Triturador Domiciliario.**

### ***Del Usuario.***

Las basuras se eliminan en el mismo sitio donde se producen con un tiempo mínimo de almacenamiento, evitándose de este modo los problemas originados por la descomposición. Por otro lado, se reduce la proliferación de insectos y roedores con lo cual se disminuyen los problemas ocasionados por estos vectores.

El receptáculo tradicional disminuye de tamaño, por lo mismo, los lugares destinados para guardar estos receptáculos son de dimensiones menores, ya que parte importante de las basuras son traspasadas en forma triturada al sistema de alcantarillado.

En los edificios en altura estos aparatos son de gran utilidad, debido a los grandes problemas que acarrea el almacenamiento mismo de los residuos o de las cenizas, si es que estos son incinerados.

### ***De las Municipales.***

Si los trituradores domiciliarios son usados en forma masiva en una ciudad, su incidencia sobre la prestación de servicio de aseo puede ser significativa.

En países desarrollados que utilizan triturados domiciliarios se ha verificado que el sistema disminuye en un 15% a 20% la producción domiciliarios de basura que se recolecta en camiones. Es decir, puede significar cambios en las operaciones de recolección y transporte de basuras, cambios que indudablemente significarán economía par el sistema.

### **Problemas que Ocasiona el Uso del Triturador.**

La incorporación de basuras trituradas, no debería obstruir el sistema de alcantarillado. Sin embargo, si el sistema tiene problemas de depositación antes de la instalación masiva de trituradores éstos se verán incrementados una vez que las basuras trituradas comiencen a llegar a él y, además como las basuras son más ricas en materias sólidas y volátiles que las aguas servidas, el contenido de estos parámetros aumenta, elevándose de este modo la descomposición y la probabilidad de producción de malos olores, luego la frecuencia con que habría que limpiar las alcantarillas sería mayor.

Los problemas de este tipo, puede aconsejar la prohibición de los trituradores domésticos, y en este caso no se debería culpar a los trituradores o a las basuras sino al diseño que no previó la posible utilización de estos dispositivos.

Si no existe una planta de tratamiento de aguas servidas podrían producirse graves deterioros en los cursos de aguas superficiales que son receptoras de esta agua servidas.

### **b) Trituradores Comerciales.**

Los trituradores ofrecen una excelente solución a los problemas de eliminación de residuos en los lugares donde se producen grandes cantidades de basuras como lo son: hoteles, restaurantes, supermercados de alimentación, hospitales y otras instituciones y negocios. Generalmente se utilizan trituradores relativamente pequeños, con motores de 1,5; 3 ó 5 Hp.

En estos establecimientos el almacenamiento de residuos de alimentos ha constituido siempre un problema desde el punto de vista sanitario. Las basuras se producen en grandes cantidades en relativamente poco tiempo, y las instalaciones para su almacenamiento son a menudo inadecuadas y, con frecuencia, se encuentran situadas en el mismo local en que se preparan los alimentos. Pronto aparecen problemas con insectos y roedores, a no ser que constantemente se apliquen medidas sanitarias. Para eliminar malos olores las basuras se tienen que recoger generalmente todos los días. Pero la instalación de una trituradora de

basura ha eliminado en gran parte estos problemas en muchos negocios e instituciones.

Las ventajas que ofrecen y los problemas que ocasionan estos trituradores comerciales son similares a los de los trituradores domésticos.

### **c) Trituradores Municipales.**

La trituración de residuos a nivel municipal se emplea para reducir su volumen y facilitar su transporte en las estaciones de transferencia, como tratamiento previo para la incineración y como tratamiento previo para relleno sin material de recubrimiento.

Los molinos trituradores de basura son de eje horizontal o de eje vertical y pueden tener martillos raspadores. Los de eje vertical obligan a pasar toda la basura por gravedad, mientras que en los de eje horizontal se requiere que los martillos o elementos trituradores vayan empujando la basura para ser molida.

La planta trituradora consta generalmente de un depósito receptor, una correa transportadora, un molino triturador y descarga de basura trituradora por correa. En la correa transportadora se pueden retirar aquellos materiales que tienen algún mercado y los que no son aptos para la trituración.

### **Resumiendo.**

La naturaleza heterogénea de los residuos es el principal factor que complica y afecta la eficiencia de su manipulación y tratamiento. Como intento de mejorar esta situación, la idea de triturar todos los residuos como proceso auxiliar ha venido interesando y está empezando a recibir una creciente atención de muchas naciones.

En relación con la incineración resultan evidentes las ventajas de que la combustión sea más uniforme. En los rellenos sanitarios, la distribución, compactación y recubrimiento salen igualmente beneficiados y los problemas de asentamiento (especialmente de asentamientos diferenciales) se reducen al mínimo.

## **5.2 COMPACTACION**

Consiste en aumentar el peso específico de los residuos sólidos reduciendo los vacíos contenidos en ellos mediante un prensado.

La reducción de volumen por medio de la compactación al igual que la trituración presenta grandes ventajas, por la disminución del costo del transporte hasta el relleno sanitario y del espacio que ocuparán en éste.

La compactación es una operación que por lo general se realiza en las estaciones de transferencia y el aumento del peso específico de los residuos tiene relación con la presión aplicada, como se muestra en la siguiente tabla.

<b>Presión Aplicada</b>	<b>Peso Específico</b>
0	0,23 gr/cm <sup>3</sup>
0,2 kg/cm <sup>2</sup>	0,48 gr/cm <sup>3</sup>
4,0 kg/cm <sup>2</sup>	0,99 gr/cm <sup>3</sup>
14,0 kg/cm <sup>2</sup>	1,39 gr/cm <sup>3</sup>

En un compactador, la reducción de volumen de los residuos se obtiene por la acción de una placa que empuja y comprime contra las paredes internas del receptáculo contenedor, o contra una mesa o placa de retención. La placa que empuja los residuos es, usualmente, accionada por un cilindro hidráulico.

Los componentes estacionarios utilizados en las estaciones de transferencia, aplican una presión sobre los residuos introducidos en los containers que varía entre 2 y 3,5 kg/cm<sup>2</sup> por lo que se obtiene una reducción de volumen de hasta 3 veces.

Con presiones elevadas (10-14 kg/cm<sup>2</sup>) se consigue aglutinar los residuos comprimiéndolos en bloques autosustentables. Estos bloques, también llamados fardos o balas tienen un interés particular, ya que con un previo amarrado con alambre o cinta metálica pueden ser transportados a un relleno sanitario y ser depositados en ese lugar en forma ordenada, logrando de esa manera construir en forma higiénica un relleno que presentará, a corto plazo, buenas características mecánicas. En estos casos se logra una reducción de volumen de 5 a 6 veces.

El relleno con bloque en lugar de desechos sueltos presenta una ventaja evidente: esos rellenos suelen ser más limpios, de mejor aspecto. Los bloques se superponen en dos o tres capas antes de cubrirlos con tierra, y el trabajo de descarga desde el vehículo, sea este camión o un vagón, se hace con elevadores de horquilla debidamente adaptados.

Prácticamente no hay información de la verdadera densidad que se consigue en el relleno. Los 980 kg/m<sup>3</sup> que anuncia el fabricante como densidad de bloques es de un 25 a un 40% más elevada que la densidad que se consigue en un relleno sanitario tradicional. Corresponde al posible usuario determinar si esta densidad se consigue efectivamente en la práctica y si el sistema compensa el gasto suplementario de ampliar la capacidad de relleno.

Estudios que se han hecho sobre este sistema de relleno han llegado a la conclusión de que si no se completa totalmente el relleno bajo este método, las ventajas son insignificante y el costo excesivo. La experiencia indica que cuando se acarrea material embalado para su disposición a un relleno sanitario tradicional, éste termina siendo destrozado para poderlo apisonar debidamente con otros desechos que se vuelcan en el relleno al mismo tiempo.

En esos casos es preciso manipular y evacuar por separado colchones de resortes, muebles con acolchados, hojas secas, barreduras de calles, lodos de aguas servidas, animales muertos, cascotes, de demolición, etc.

Aunque los rellenos con bloques tienen un aspecto más limpio, todavía no se ha demostrado que resulte más fácil adquirir los terrenos cuando se utiliza ese método que, cuando se utiliza el relleno por el método tradicional.

Una idea original de enfardamiento fue desarrollada por la empresa japonesa Tesuka. Esta consistía en utilizar los fardos de residuos sólidos, embalados con una malla de alambre y sumergidos en un baño de asfalto o encementado, como bloques de construcción.

Se pensaba que un prensado intenso, reduciendo unas 6 veces el volumen, esto es, pasar de un peso específico de  $200 \text{ kg/m}^3$  a  $1,2 \text{ ton/m}^3$ , evitaría cualquier proceso de fermentación, pero ese razonamiento era evidentemente falso, pues si hubiese presencia de aire en la masa, se establecería una fermentación aeróbica con desprendimiento de gas carbónico y vapor de agua, al consumirse el oxígeno la descomposición pasaría a ser anaeróbica, con formación de metano. De cualquier forma los gases y los esfuerzos resultantes de la acumulación de la estructura provocarían el rompimiento de la frágil capa, con entrada de aire o agua, acelerando el proceso de desintegración del conjunto.

### **5.3 RECUPERACION DE RESIDUOS SOLIDOS.**

Consiste en retirar de las basuras aquellos materiales que pueden ser utilizados nuevamente, ya sea como materia prima para la elaboración del mismo material o de otro producto, o también para ser utilizados en el mismo estado en que se encuentran.

Dada la heterogeneidad de los desechos sólidos, la recuperación constituye una operación bastante compleja. Salvo los materiales electromagnéticos, los demás elementos son de difícil rescate, siendo los métodos manuales los más utilizables. Existen, no obstante, otros sistemas que permiten separar de los desechos sólidos los elementos que interesan, tales como separación por gravedad, por tamices vibratorios, separación óptica, etc. La recuperación de residuos sólidos se considera como un método de eliminación parcial que permite reducir el volumen a transportar y que debe hacerse en las áreas de disposición (estaciones de transferencia, plantas de compost, incineradores, rellenos sanitarios, etc.), pero de

manera tal que no entorpezca el normal desarrollo de éstos. Es por esto que esta operación debe hacerse en forma semimecanizada, utilizando una tolva de recepción, correas transportadoras con espacio suficiente para que se puedan ubicar operarios al costado de ella y almacenar lo recuperado, y separador magnético para la recuperación de materiales ferrosos. Además deben tenerse muy en cuenta los problemas higiénicos y de seguridad laboral por lo que es necesario tomar las medidas adecuadas para evitar este tipo de problemas.

### **Materiales que Pueden Recuperarse y sus Posibilidades de Mercado.**

Los materiales que con más frecuencia se recuperan de las basuras son: vidrios, papeles y cartones, metales ferrosos, metales no ferrosos, plásticos y trapos. La demanda y su precio condicionan el mercado de estos productos.

#### **Vidrios**

Algunos objetos de vidrio intactos como botellas, pueden volver fácilmente a la circulación sometiéndose a un proceso de limpieza y esterilización; el vidrio en pedazos se mezcla con la materia prima para la fabricación del mismo material, esto exige una separación por colores. Otro uso que se le está dando es el emplearlo en la pavimentación de escalas, ya que el reflejo que proporciona las pequeñas partículas facilitan la visibilidad.

#### ***Papeles y Cartones.***

El papel que en la basura doméstica generalmente es papel sucio que ha servido para envolver restos de comida y basura, y no es recuperado por la falta de mercado.

El papel que tiene demanda es el papel limpio (diarios, revistas), el papel de oficina y las tarjetas IBM, los que son retenidos en los lugares de origen para su venta directa o son recogidos por revendedores. Las cajas de cartón limpias también son compradas, pero las que van en la basura sucia y mojada no tienen interés. Las fuentes de consumo las constituyen las fábricas de papel, cartón y cubiertas económicas.



<b>COMPONENTES</b>	<b>% EN PESO</b>
Materia orgánica y madera	49.3
Papeles y cartones	18.8
Escombros, cenizas y lozas	5.9
Plásticos	10.3
Textiles y cueros	4.3
Metales	2.3
Vidrios	1.6
Huesos	0.5
Otros componentes	7.0

Peso aproximado de los materiales contenidos en los desechos sólidos del Area Metropolitana de Santiago. Considerando una producción diaria de 5000 toneladas.

<b>COMPONENTES</b>	<b>% EN PESO</b>
Materia orgánica y madera	2465
Papeles y cartones	940
Escombros, cenizas y lozas	295
Plásticos	515
Textiles y cueros	215
Metales	115
Vidrios	80
Huesos	25
Otros componentes	350

### **Precio del Mercado para Productos Recuperados.**

Los precios que se presentan a continuación son solamente una aproximación, ya que estos valores están constantemente variando de acuerdo a las fluctuaciones del mercado.

	<b>US4/kg</b>
Tarros (Chatarra)	0.10
Plásticos	0.12
Trapos	0.08
Vidrios	0.05
Cobre	0.80
Papel y cartón	0.05

### **Consideraciones Generales Referente a la Recuperación de Residuos Sólidos**

Aunque el reciclaje y la recuperación son actividades deseables desde el punto de vista ambiental, el rescate de materiales es muchas veces origen de varios problemas. Con frecuencia retrasa la recolección, entorpece las operaciones de relleno sanitario o de tratamientos, hace impresentable las instalaciones y puede ser fuente de peligros para los obreros y, a veces, propaga enfermedades.

La recuperación como método de eliminación parcial de residuos se debe considerar cuidadosamente por parte de las municipalidades antes de ser adoptados, y la decisión se debe tomar basándose en estudios técnicos y económicos; no debe perderse de vista que el mercado de los materiales recuperados es fluctuante y, que a veces, desaparece totalmente.

En la actualidad se está realizando recuperación en forma exitosa en algunas ciudades de USA, Europa y Japón. La separación se hace en origen y se llevan los materiales recuperados a contenedores estratégicamente ubicados en la vía pública.

## 6. TRATAMIENTOS.

### 6.1 TRATAMIENTO BACTERIOLOGICO O COMPOSTIFICACION

#### a) Definiciones.

El tratamiento bacteriológico es la degradación bioquímica de las materias orgánicas para convertirlas en un compuesto similar al humus(\*), higiénicamente inofensivo y que no produce molestias.

Se ha dicho que el tratamiento bacteriológico moderno es la descomposición rápida, pero parcial, de las materias orgánicas sólidas húmedas mediante la acción de microorganismos aerobios en condiciones controladas<sup>1</sup>

Es la descomposición biológica de la materia orgánica tendiente a obtener un humus estabilizado, que pueda ser utilizado para mejorar los terrenos destinados a la agricultura<sup>2</sup>

#### b) Teoría del Proceso.

En esta degradación aeróbica se pueden distinguir tres fases:

1ª Fase: Corresponde a la digestión de carbohidratos y sacáridos de bajo peso molecular por medio de la población microbiana presente. La temperatura para esta fase es de 35°C aproximadamente y el pH es bajo tiene un valor comprendido entre 4,5 y 5,5. La actividad de los microorganismos hace sin embargo que se genere una gran cantidad de calor, subiendo la temperatura de los residuos hasta 60° y 65°C. dando origen a una 2ª fase.

2ª Fase: En esta fase tiene lugar la descomposición de proteínas y carbohidratos superiores mediante la acción de microorganismos termofílicos que proliferan en esta etapa. A consecuencia de la descomposición de proteínas y otros compuestos nitrogenados aumenta el pH por acumulación de amoníaco, llegando a valores entre 8 y 9. Por efecto de la alta temperatura se desarrolla un proceso de pasteurización del producto lo que garantiza la esterilidad del mismo y la ausencia del contenido de sustancia patógenas.

---

(\*) Por "humus" se entiende el conjunto de residuos orgánicos total o parcialmente alterados: No significa un componente determinado, sino una sustancia de constitución compleja y de carácter dinámico pues se está modificando todo el tiempo.

---

<sup>1</sup> "Tratamiento de los Residuos Urbanos". American Public Works Association (APWA).

<sup>2</sup> "Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública" Francisco Unda Opazo

3ª Fase: Esta fase se caracteriza por una disminución de la actividad microbiológica, lo que hace disminuir nuevamente la temperatura. La digestión de la celulosa se realiza en parte durante la etapa termofílica y en parte en esta tercera fase de disminución de temperatura. El agotamiento de la mayor parte de la materia orgánica del desecho y la consecuente disminución de la actividad microbiológica consigue la estabilización del compost. En esta fase puede tener lugar la nitrificación que es el proceso mediante el cual bacterias de los géneros Nitrosomonas y Nitrobacter convierten el amoníaco acumulado en las etapas anteriores de la degradación en nitrato orgánico en un proceso de óxido reducción del cual estas bacterias obtienen su energía. Esta fase final convierte entonces el desecho en un compuesto estable con contenido de nitrato, además de fosfato, potasio y otros componentes que los convierten en un excelente acondicionador de suelo.

### **c) Métodos de Tratamiento Bacteriológico.**

Aunque son varias las formas de tratar bacteriológicamente los residuos, son dos las que parecen resultar más eficaces y económicas. Estos dos métodos son el de digestión mecánica y el de tratamiento en montones o pilas descubiertas.

En los últimos años se han patentado varios tipos de tanques digestores mecánicos. Tres de ellos están clasificados como de tipo de tratamiento continuo, dos de los cuales, los tanques Dano y T.A. Cranes con horizontales, mientras que el Earp-Thomas es vertical.

El uso de plantas de compost con tanques digestor Dano, está bastante extendido en Europa, y hasta principios de esta década existían más de 130 instalaciones de este tipo en el mundo.

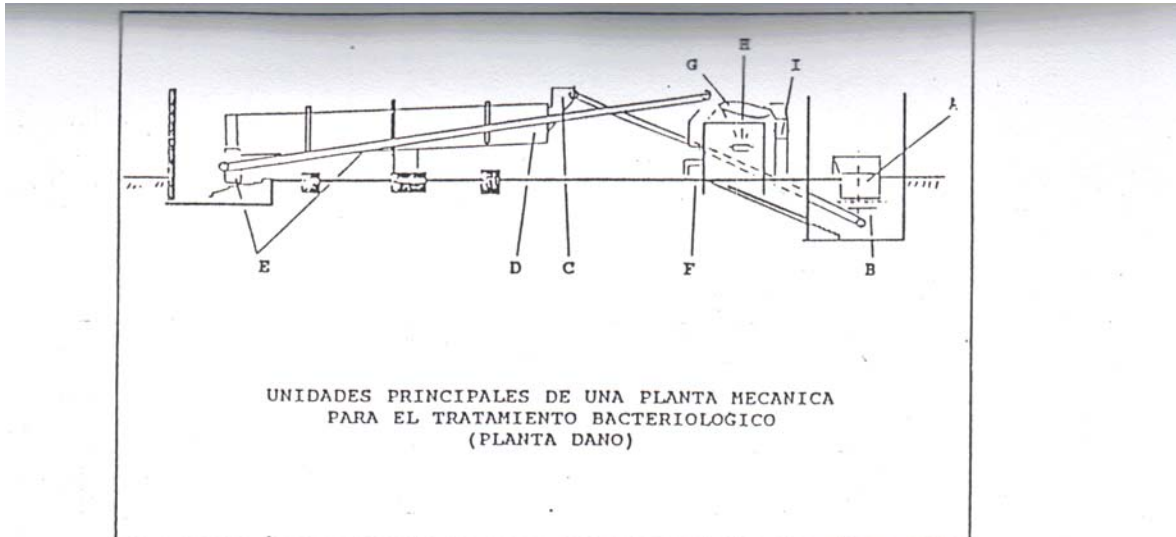
### **UNA DESCRIPCION RESUMIDA DEL PROCESO QUE SE REALIZA SERIA LA SIGUIENTE:**

El método Dano contiene como parte principal un cilindro denominado "Bio Estabilizador Dano", casi horizontal de 23 m de largo y 3,5 m de diámetro, dotado de movimiento de rotación de 1 a 12 revoluciones por minuto, la basura es descargada en esta unidad por medio de una correa transportadora y permanece en él de 4 a 6 días, en esta etapa se desmenuza y homogeniza y comienza a descomponerse la humedad y la cantidad de aire son controlables y son suministradas por tubos externos. El producto no sale completamente descompuesto pero parcialmente estabilizado y ya pasteurizado por haberse obtenido temperatura de 65°C.

A diferencia de otros procesos, la clasificación del material puede ser realizada después de pasar por el Bio Estabilizador. Esta alteración es una ventaja pues el producto al hacerse la clasificación, ya estaría pasteurizado.

Cuenta con correa de clasificación manual y extractos magnéticos, siguiendo al tambor una malla vibratoria para repasar el desecho.

Se debe enfatizar que la basura sale sólo parcialmente estabilizada y el proceso de estabilización continua en el depósito en pilas de la planta, o en el propio terreno de labranza.



- A : DEPOSITO RECEPTOR
- B : CORREA TRANSPORTADORA DE RESIDUOS SIN TRATAR
- C : DISPOSITIVO DE ENTRADA DE MATERIALES EN EL BIOSTABILIZADOR
- D : BIOSTABILIZADOR
- E : CORREAS TRANSPORTADORAS DEL BIOSTABILIZADOR AL TAMIZ
- F : DEPOSITOS Y EQUIPOS PARA BOTES Y CHATARRA
- G : TAMIZ
- H : CORREA TRANSPORTADORA DEL PRODUCTO FINAL
- I : AI SALIDA DE DESECHOS QUE NO HAN PASADO EL TAMIZ

FIGURA Nº 4

El tanque digestor T.A. Crane es una unidad horizontal de tres pisos, con mecanismos de agitación y aireación independiente para cada nivel. Se ha previsto la introducción de una cantidad de producto terminado en cada piso para que sirva de semilla y el aumento de la aireación mediante aire a presión y ventiladores.

El tanque Earp Thomas es un cilindro vertical de ocho pisos. El material se agita y airea mediante unas paletas montadas en unos brazos giratorios, montados a su vez en un eje vertical central. La basura que previamente ha sido reacondicionada por molienda, cribado y extracción de material ferroso, es depositada en el piso superior del digestor, donde permanece veinticuatro horas antes de pasar al piso siguiente y así sucesivamente, hasta completar un ciclo de ocho días, en el cual han sido controladas las diversas variables del proceso. Los Bioconvertidores, Brainbanti Bini (italiano) también usan este proceso que no requiere la maduración

en canchas, por lo que el compost que sale del digestor es inmediatamente secado, clasificado y ensacado para la venta.

### **COMPOSTING EN PILAS AL AIRE LIBRE.**

Es el procedimiento más difundido pues es de probada eficacia y no requiere instalaciones onerosas.

El material, debidamente acondicionado, se amontona en pilas de una altura entre 1,50 y 1,80 mts. con una base de 2,40 a 3,60 mts. y con un largo variable según la cantidad de material a procesar. La sección de la pila es generalmente trapezoidal con un talud que se acomoda al talud natural del material, cercano a los 30°.

El humedecimiento de las pilas se efectúa mediante riego con sistemas de aspersión o simplemente con mangueras. El contenido de humedad se debe mantener entre 40 y 60%, que es el rango considerado óptimo.

Diversos métodos han sido estudiados para lograr una adecuada aereación de las pilas.

Entre ellos cabe destacar lo siguiente:

- Introducción en la masa, a espacios convenientes, de chimeneas metálicas perforadas.
- Introducción en la masa de cañerías perforadas por donde se inyecta aire a presión.
- Confección de la pila sobre un caballete triangular, como un V invertida, de listones de madera o de plancha metálica perforada, que permite el paso del aire por debajo de la pila.
- Volteo periódico de la pila, sobre si misma a un sitio adyacente, mediante máquinas o a brazo y pala.

La experiencia ha demostrado que el último de los sistemas nombrados es el más efectivo para la incorporación de aire a la masa con el efecto secundario de que es factible que el total del material pase al interior de la pila, donde las altas temperaturas desarrolladas eliminan los gérmenes patógenos. Especial importancia tiene entonces la precaución que se debe tomar al remover la pila en el sentido que el material que antes estaba en la superficie, pase a ocupar el centro de la nueva pila.

#### **d) Factores que Intervienen en el Proceso.**

##### **Trituración de la Basura.**

Los residuos que se recogen en las ciudades son demasiado grueso e irregulares para responder bien al tratamiento bacteriológico por lo que se tiene que triturar por lo menos una vez, tal vez dos. Con la trituración se consiguen varias cosas:

1. Aumentar muchísimo la superficie disponible para el ataque de los microorganismos.
2. Mezclar los residuos para que formen una masa más homogénea.
3. Destruir la estructura celular, dejar libres los fluidos y, en general, predisponer más los materiales a la descomposición.

Sin embargo, la trituración disminuye la permeabilidad de la masa, que resulta más difícil de airear mientras más fina es la trituración. La figura de trituración de los materiales depende del tipo de proceso de descomposición microbiológica que se utilice. Para tratamientos mecanizados con agitación constante o intermitente se recomienda una trituración media (2-3 cm). Para el tratamiento en pilas se recomienda también una trituración media si es que se utiliza aire a presión, en caso de ser necesario voltear los residuos para airearlos se recomienda una trituración gruesa (3-5 cm).

##### **Contenido de Humedad**

La humedad es muy importante para la acción biológica de los microorganismos. El contenido de humedad en la descomposición aeróbica puede variar entre el 30 y el 100%. La experiencia práctica recomienda un contenido de humedad entre el 40 y 60%.

Mayor contenido de humedad sería perjudicial ya que dificultaría el acceso de aire a la superficie de las partículas y en consecuencia favorecería la formación de ambiente anaeróbico. Inversamente un bajo contenido de humedad inhibiría la acción biológica de los organismos presentes.

Cuando el contenido de humedad es mayor que el que nos interesa es posible reducirlo ya sea secando el material húmedo o agregando material seco. Cuando el contenido de humedad es bajo y necesitamos elevarlo, obviamente la solución es agregar agua.

## **Aireación**

La aireación de la masa que está en etapa de transformación es uno de los factores más importantes para obtener un buen producto final y una garantía de seguridad sanitaria.

El oxígeno que se incorpora al proceso es necesario para los organismos aeróbicos que están presentes.

Este oxígeno puede agregarse al proceso de diferentes maneras, dependiendo del procedimiento de transformación elegido.

Si se trata de simples pilas descubiertas, para aireación, basta con darlas vueltas periódicamente. En los procedimientos mecánicos la aireación se realiza mediante incorporación forzada de aire a la masa en transformación.

La cantidad de oxígeno que es necesario introducir a la masa depende básicamente del tipo de proceso, de la cantidad de asimilación de los organismos, de la descomposición de la basura, del agua disponible del grado y tipo de agitación y mezclado y de la superficie de contacto disponible.

## **Temperatura**

La temperatura es otro factor importante en el proceso de estabilización. La temperatura de la masa deberá mantenerse entre 60 y 65° C para obtener altas eficiencias en el proceso aeróbico que se desarrolla. Esta temperatura debe mantenerse en los niveles señalados además del requerimiento anterior, para destruir organismos patógenos, destruir huevos y larvas de insectos.

## **pH**

El valor del pH la masa depende de la composición de la basura pero, durante el proceso de estabilización, se controla automáticamente por la aireación y la temperatura.

Sin embargo, la basura fresca tiene un pH que es ligeramente ácido (6 a 7), siendo sensiblemente más ácido al cabo de uno o dos días (pH 5 a 6).

Durante el proceso aeróbico, el pH puede usarse como índice ya que cuando comienza la reacción, el pH baja a valores entre 4,5 y 5,5 luego (después de 24 a 72 horas de la fase inicial) el pH sube y a medida que la temperatura crece y se acerca al intervalo termófilico, la reacción se torna alcalina con pH entre 8 y 9 y por último al final del proceso el pH se acerca al valor neutro (7), de los que se desprende que el producto final tendrá un pH cercano a neutro.



## **Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)**

Esta relación, expresa la cantidad relativa de Carbono por cada unidad de Nitrógeno presente. Las cantidades C y N dependen básicamente del carácter y origen de los desechos mismos.

Para la supervivencia de todos los organismos vivos es necesario el Carbono como fuente de energía y el Nitrógeno para la formación de protoplasma.

En la mayor parte de los procesos modernos de tratamiento biológico de desechos se ha comprobado que la descomposición es máxima para valores de C/N entre 25 y 35 y en casi todos los casos es óptima par  $C/n=30$ .

## **Composición de los Desechos**

La basura, en general, consiste en una mezcla heterogénea de materiales orgánicos e inorgánicos.

El éxito de cualquier operación basada en un tratamiento bacteriológico de la basura dependerá de la cantidad de materia orgánica presente. Esta fracción orgánica es, en general, variable y puede encontrarse en proporciones tan diversas como 15 a 80% del total.

## **e) Ventajas y Desventajas del Método**

### **Ventajas**

1. El tratamiento bacteriológico es un técnica operativa que permite reutilizar los residuos orgánicos.
2. Las estaciones de tratamiento bacteriológico presentan normalmente condiciones favorables para la recuperación de trapos, vidrio, cartón, papel, metales, etc.
3. Una estación de tratamiento bacteriológico bien localizado puede reducir los gastos de transporte de los residuos hasta el punto de tratamiento.

### **Desventajas**

1. Inversión elevada y gastos de explotación relativamente alto.
2. Mercado fluctuante del producto exige procedimiento especiales para su almacenamiento.

3. No es fácil encontrar personal especializado para trabajar en plantas de tratamiento bacteriológico.
4. El material recuperado no siempre tiene mercado.
5. El conseguir emplazamiento para la planta de tratamiento bacteriológico resulta difícil, porque en la mayoría de la vecindades las instalaciones para el tratamiento de residuos de cualquier tipo se consideran molestas.

**f) Impactos Ambientales**

Las plantas de compost se diseñan para dar tratamiento a toda o parte de los residuos municipales que genera una localidad, estando destinadas para dar solución al problema sanitario ambiental que plantea el manejo de residuos sólidos y también para obtener la reutilización de parte de los materiales contenidos en las basuras.

Los impactos de estos proyectos se dan fundamentalmente en la etapa de desarrollo del proceso y corresponden en algunos casos a impactos que pueden ser controlados o evitados con un buen diseño y una adecuada operación de la instalación. Sin embargo, existen otros impactos que son inherentes a la operación de la planta, que si bien pueden ser mitigados en sus efectos con una buena programación de actividades y adecuada operación de la planta, no pueden ser evitados, por lo que deben ser objeto de cuidadosos estudios.

<b>CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UNA PLANTA DE COMPOST EN ETAPA DE OPERACION</b>	
<b>IMPACTO</b>	<b>CARACTERISTICA</b>
Ruidos	Emisiones de ruidos, normalmente bajas. En cercanía de áreas sensibles pueden requerirse medidas especiales de mitigación. En centros urbanos deben instalarse en la zona industrial.
Polvo y Material Particulado	Las faenas de descarga de los residuos desde los camiones recolectores y las faenas de remoción y aeración de la pilas de maduración pueden generar la emisión de polvo y material particulado, el efecto del impacto se puede ver incrementado por la acción del viento.
Olores	En teoría es posible mantener bajo control la emisión de olores en una planta de compost mediante práctica adecuadas de aseo y limpieza de la planta y asegurando la mantención de condiciones de aerobiosis en el proceso de compostificación. La emisión de olores puede producirse prácticamente en cualquier etapa del proceso, desde la selección de materiales a compostificar hasta el proceso final de maduración.
Líquidos Percolados	Agua de precipitación pueden hacer sobrepasar la capacidad de campo del material en proceso y generar líquidos percolados, capaces de escurrir fuera de la zona de compostificación. La precipitación propia del lugar será determinante para estimar la generación de percolados y decidir sobre las posibles medidas de mitigación.
Tránsito Vehicular	En el entorno de la Planta se intensifica el tránsito vehicular en particular el tránsito de camiones recolectores que concurren a descargar residuos a la planta, de camiones de transporte del compost terminado, de camiones de transporte del material recuperado y de camiones de transporte de los rechazos. Una planta ubicada en una zona de intenso tránsito vehicular puede generar serios problemas de circulación, en especial en las horas de alto flujo vehicular.
Diseminación de Papeles, Plásticos y Otros Materiales	El arrastre de materiales livianos tales como papeles y plásticos por acción del viento y su diseminación en las áreas circundantes, es un problema asociado a la mayoría de las instalaciones de manejo de residuos sólidos urbanos. Las faenas de descarga y los recintos de acopio se cuentan entre los principales contribuyentes de materiales susceptibles de ser arrastrados por el viento, siendo las distancias de arrastre variables, según la intensidad y dirección de los vientos imperantes, la topografía del lugar y la existencia de edificaciones y vegetación.

## **IMPACTOS AMBIENTALES EN LA ETAPA DE ABANDONO**

Los impactos ambientales asociados a la etapa de cierre o abandono de una planta de compost no difieren grandemente de los impactos ambientales asociados al abandono de cualquier instalación industrial, salvo que por el tipo de construcción resultará difícil asignarle al edificio otro uso, ya sea industrial, comercial o de servicios.

Por consiguiente, el edificio deberá ser desmantelado, retirada las partes metálicas constitutivas del sistema de selección y trituración de residuos así como las estructurales, las que podrán ser comercializadas como chatarra. Luego de efectuado el desmantelamiento corresponderá efectuar la demolición y la consiguiente disposición final de los escombros.

Finalmente corresponderá efectuar la limpieza y acondicionamiento del suelo de acuerdo a los usos posteriores previstos.

Los principales impactos durante el desmantelamiento, demolición y acondicionamiento dicen relación con la generación de ruido, emisión de polvos fugitivos y tránsito de vehículos pesados. Estos impactos pueden ser mitigados mediante la adecuada planificación de las obras y la aplicación de la normativa laboral, sanitaria y municipal vigente.

El suelo, una vez acondicionado, no presenta limitaciones en cuanto a sus usos posteriores.

## **METODOLOGIA**

Las metodologías de evaluación de impacto ambiental aplicables al estudio del impacto ambiental de una planta de compost son variadas, sin embargo debe tenerse en cuenta que la metodología elegida permita introducir en el proceso de evaluación las necesarias consideraciones relativas a tamaño y ubicación geográfica de la planta, dadas las fuertes variaciones climáticas, topográficas, hidrográficas, etc. Que de esta última derivan. También resulta importante considerar aspectos como el área de influencia y el monitoreo.

## **UBICACIÓN GEOGRAFICA**

Las condiciones climáticas en nuestro país muestran una fuerte dependencia de la latitud geográfica, presentándose una disminución de las temperaturas medias y un aumento de las precipitaciones en dirección norte-sur.

Desde el punto de vista de la precipitación media anual, áreas en las cuales la precipitación media anual sea menor de 100 mm no requerirían de mayores obras de protección en relación con las pilas de maduración del compost, ya que en tales casos no se esperan cantidades importantes de líquidos percolados. En

aquellas zonas en que la precipitación media anual se encuentre entre 100 mm y 200 mm se requerirá prever obras menores de canalización y manejo, fundamentalmente por recirculación, de los líquidos generados y en áreas con más de 200 mm de precipitación anual se requerirá disponer de zonas cubiertas para la maduración del compost, al menos durante la época invernal, o en su defecto de obras de canalización y tratamiento de los líquidos percolados.

## **TAMAÑOS DE LAS PLANTAS DE COMPOSTIFICACION**

Tomando como referencia los tamaños comúnmente disponibles para este tipo de instalaciones, podemos clasificar las plantas de compost en:

- Plantas de tamaño pequeño                      menor de 50 ton/día
- Plantas de tamaño mediano                      50 – 500 ton/día
- Plantas de gran tamaño                            más de 500 ton/día

## **AREA DE INFLUENCIA**

En términos generales el área de influencia de una planta de compost puede asimilarse al de cualquier faena industrial en la que se procesen o utilicen materias primas capaces de emitir sustancias odoríferas, ruido y material particulado.

Lo anterior implica que el área de influencia estará directamente relacionado con el régimen de vientos existentes en la zona.

Adicionalmente a lo anterior debe considerarse dentro del área de influencia aquellos que dice relación con la modificación del flujo del tránsito vehicular en las rutas de acercamiento y acceso a la planta.

En términos generales, las plantas de compost abiertas no deberían ubicarse en zonas especialmente sensibles, en particular en las cercanías de hospitales, casas de reposo o colegios, debido a la posibilidad de arrastre por el viento de esporas de gérmenes patógenos y/o alérgenos. Por su parte, las plantas de compost diseñadas con espacios cerrados provistos de adecuados sistemas de ventilación permiten controlar la dispersión de esporas, posibilitando la localización de este tipo de instalaciones dentro de áreas urbanas, en zonas destinadas a la actividad industrial.

## **MONITOREO**

El monitoreo permite verificar la eficacia de las medidas de mitigación propuestas y el comportamiento ambiental de una planta de compost. En general, resultará importante monitorear el cumplimiento de las normas de emisión y de calidad ambiental aplicables y los requerimientos específicos hechos por las autoridades correspondientes al momento de aprobar el proyecto respectivo y el estudio o declaración de impacto ambiental. En todo caso, desde el punto de vista de los

principales impactos específicos identificados para una planta de compost, a modo de indicación se consigna lo siguiente:

- Olores mensualmente
- Patógenos/Esporas alergenas periódicamente
- Ruido anualmente: mediciones ambientales y en límites del predio en que se ubica la planta.
- Efluentes líquidos continuo: caudal, pH y temperatura. Al menos mensualmente: DBO, DQO, SS, metales pesados, coliformes.
- Suelos periódicamente: contenido de metales pesados, patógenos.

## 6.2 INCINERACION

### a) Antecedentes Generales.

La incineración es un proceso que utiliza la descomposición térmica vía oxidación para convertir un residuo sólido, líquido o gaseoso, en un material menos voluminoso, menos tóxico y menos nocivo.

La incineración constituye un capítulo importante en un sistema integrado de gestión de residuos; al menos en área con elevada densidad de población. Las razones para la incineración de residuos son obvias:

- Reducción de volumen
- Recuperación de energía

La reducción de volumen de residuos fue la razón originaria para la incineración y aún continua siendo importante. De hecho, no existen alternativas posibles. Si se considera la posibilidad de reciclaje de cenizas de fondo, la necesidad de depósito en vertederos puede quedar reducida a tan sólo un 2 – 3%. La incineración podría entonces considerarse casi un método de supresión de residuos.

Tras la crisis del petróleo 1973-1974, el interés por la incineración de residuos, se vinculó a la producción de energía. Algunos residuos constituyen una fuente de energía doméstica que puede reemplazar a la importación de combustibles fósiles.

La incineración para el caso de residuos sólidos domiciliarios se realiza en unidades centralizadas, donde se queman las basuras y se aprovecha la energía liberada para producir vapor, agua caliente o electricidad.

Para que se realice la combustión se requiere a lo menos la participación de dos sustancias, la que se quiere incinerar y el oxígeno necesario para la combustión. Mientras menor sea el tiempo en que estas dos sustancias se encuentren, más rápido se realizará la incineración y por lo tanto los requerimientos de equipamiento serán menores.

Los efluentes que produce la incineración, están constituidos por gases, residuos sólidos (escorias y cenizas), partículas en suspensión gaseosa (fly ash) chorros de agua residual y lodos.

Durante la combustión los residuos sólidos liberan la mayoría de las impurezas y por lo tanto estos elementos tóxicos aparecen en el efluente, principalmente en los gases de combustión. Las impurezas que normalmente se observa en los gases de combustión de residuos son las siguientes:

- Particulado
- Metales pesados  
Mercurio (Hg)  
Cadmio (Cd)  
Plomo (Pb)
- Gases Acidos  
Acido clorhídrico  
Dióxido de azufre  
Oxidos de nitrógeno
- Hidrocarburos clorados  
Dióxido/furano

La emisión de estos gases ha ocasionado que durante los últimos 5 años hayan aumentado rápidamente las exigencias para emisiones de incinerados de residuos. La situación a principio de la década del 90 podría describirse como una carrera entre los diferentes países desarrollados, por hacer más severas las normativas sobre emisiones de incineradores de residuos y en el futuro puede preverse un avance hacia la uniformidad de las normas de emisiones de diferentes países.

## **b) Características del Proceso de Incineración:**

La incineración de residuos se realiza a temperaturas elevadas (del orden de 950 a 1600°C), permitiendo la destrucción de compuestos orgánicos tóxicos existentes en un determinado residuo. Los procesos tienen una eficiencia de destrucción y remoción de los principales compuestos orgánicos peligrosos del orden del 99,9%.

Los procesos de incineración incluyen: sistemas de oxidación térmica de aire enrarecido o de incineración pirolítica, procesos industriales a altas temperaturas en los que se utilizan los residuos como combustibles, y tecnologías de vanguardia que utilizan altas temperaturas, tales como sales licuadas, plasmas u hornos eléctricos.

En función de las características del residuo, se puede obtener una reducción de volumen del orden del 85 al 95% facilitando de esta forma el manejo, transporte y disposición final del residuo remanente.

El aprovechamiento de energía en procesos continuos, a través del empleo del gas de combustión, como vehículo para la generación de calor, es posible en algunas instalaciones de incineración.

## **c) Características de Una Planta de Incineración:**

Las plantas típicas de incineración (ver figura siguiente) utilizadas para la destrucción de residuos sólidos incluyen, entre otros, los siguientes componentes:

- Foso de recepción
- Parrillas de presecado
- Tambor rotatorio
- Conducto de derivación de gases
- Recuperador de calor
- Evacuación de las escorias
- Recirculación de gases calientes
- Parrillas principales
- Chimenea
- Colector de polvo

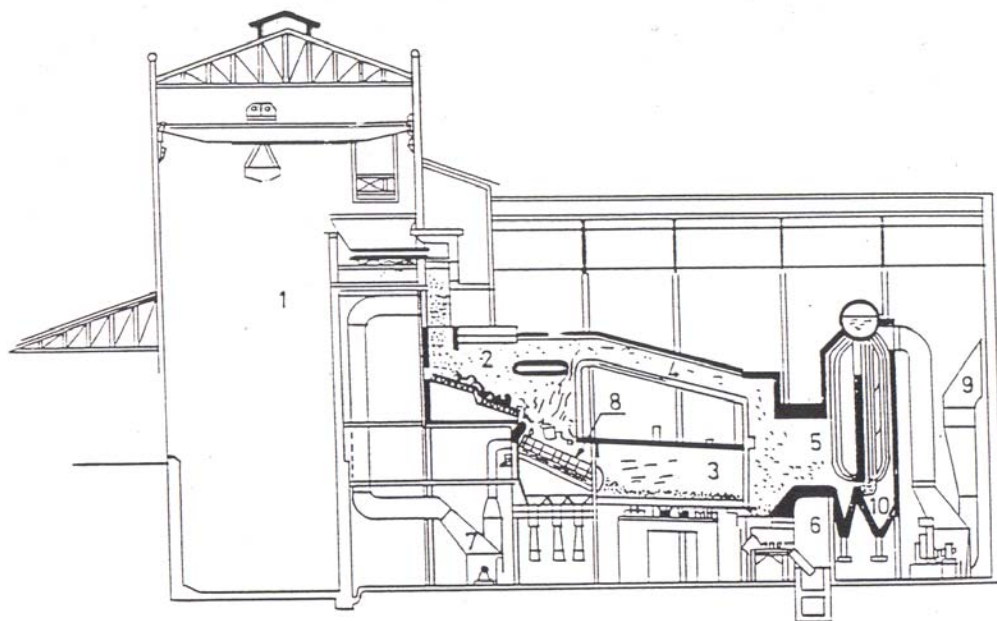
En la actualidad existen diversos tipos de incineradores que pueden ser utilizados para la destrucción de residuos. Los factores más importantes para la buena elección o diseño y funcionamiento de éstos son la temperatura de combustión, el tiempo de permanencia del gas de combustión y la eficacia de la mezcla del residuo con aire de combustión y combustible de apoyo (si lo hubiese). Estos parámetros varían según la estructura química y forma física del residuo y el tipo de técnica de incineración utilizada. Las propiedades químicas y termodinámicas del residuo, que son importantes para determinar sus requisitos de tiempo y temperatura de destrucción, son su composición elemental, su poder calorífico inferior y cualquier otra cualidad especial (corrosividad) que pueda requerir



consideraciones especiales de diseño. Es preciso conocer el porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, halógenos y fósforo en el residuo, así como su contenido de humedad, para determinar los requisitos estequiométricos de aire de combustión, que son claves, para el diseño del sistema de control de emisión de gases.

Como se indicó anteriormente, la incineración tiende a llevar a los elementos a un nivel máximo de oxidación, transformando los compuestos orgánicos básicamente a dióxido de carbono y agua. Como consecuencia de la incineración y debido a la composición de los residuos a incinerar, el gas de combustión puede presentar los siguientes componentes:

- SO<sub>x</sub> (como SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>)
- NO<sub>x</sub> (como NO y NO<sub>2</sub>)
- Cl<sub>2</sub>/HCl y demás derivados halogénicos
- CO
- Metales pesados



- |                                    |                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Foso de recepción               | 6. Evacuación de las escorias       |
| 2. Parrillas de presecado          | 7. Recirculación de gases calientes |
| 3. Tambor rotatorio                | 8. Parrillas principales            |
| 4. Conducto de derivación de gases | 9. Chimenea                         |
| 5. Recuperador de calor            | 10. Colector de polvo               |

Debido a la formación de los subproductos de la combustión, los sistemas de incineración de residuos se diseñan incluyendo dispositivos de control de las

emisiones a la atmósfera. En la mayoría de los casos, éstos se concentran en la utilización de cámara de postcombustión y en el tratamiento de gases.

Las cámaras de postcombustión se utilizan para controlar la emisión de subproductos orgánicos no quemados, proporcionando un volumen adicional de combustión y, en consecuencia, un mayor tiempo de combustión a temperatura elevada.

Hay que hacer mención que antes de cualquier sistema de purificación de gases, éstos deben ser enfriados.

Dentro de los sistemas de tratamiento de gases tenemos:

- **Recolección de particulado:** Utilizando para el control de SO<sub>2</sub>, HCl, NO<sub>x</sub>, se ocupan principalmente:
  - Colectores mecánicos
  - Filtros de mangas
  - Precipitador electrostático por vía húmeda
  - Venturi
  
- **Absorción de NO<sub>x</sub>:** Es la incineración, la formación de óxidos primarios es función de la cantidad de nitrógeno en el residuo a ser quemado. La formación de óxidos secundarios, es función básicamente de la temperatura y del exceso de oxígeno durante la incineración. Cuando las características operacionales exigen remoción de NO<sub>x</sub> la opción es la utilización de un reactor calórico.
  
- **Absorción de Gases Ácidos:**
  - Absorción vía húmeda: circulación del gas de combustión en una columna de absorción de modo de promover su contacto con una solución de pH básico. Eficiencia de absorción del orden del 95%.
  - Absorción en vía seca: circulación del gas de combustión en un mezclador estático de modo de promover su contacto con sustancia de características básicas. Eficiencia de absorción del orden del 95%, en este caso el gas de combustión debe estar seco y a temperatura máxima de 120°C.

#### d) **Exigencias Sobre el Sistema de Disposición Final.**

Debido a la gran reducción de volumen que se produce en la incineración, el total de residuos a disponer sólo es de un 5 a 15% del volumen inicial a tratar, por lo que se minimiza considerablemente el espacio requerido para disposición final. Sin embargo, es necesario que el lugar seleccionado para relleno sanitario de las

escorias y cenizas provenientes del incinerador, cuenta con elevadas exigencias en cuanto a su impermeabilización y aislación, debido a las características de estos residuos, que pueden contener elementos altamente tóxicos y concentrados.

## **e) Impactos Ambientales**

### **Antecedentes**

En términos generales la incineración de residuos sólidos urbanos tiene por objeto producir un cambio en la constitución de los desechos haciéndolos menos agresivos para el medio ambiente y la población y más fáciles de manejar y disponer al disminuir los requerimientos de espacio físico para su disposición.

Los impactos ambientales específicos de las plantas de incineración se producen en la etapa de operación, ya que los impactos propios de la etapa de construcción son similares a los impactos causados por cualquier construcción de mediano o gran tamaño. En cuanto a los impactos de la etapa de operación, ellos se relacionan fundamentalmente con las alteraciones de los flujos vehiculares, del uso del suelo y la emisión de contaminantes a la atmósfera. Si bien estos últimos impactos negativos pueden ser mitigados o eliminados mediante la introducción de sistemas de tratamiento y remoción de contaminantes, los anteriores dependen fuertemente de una buena selección del lugar en que emplace una instalación de este tipo. En el cuadro se señalan los principales impactos asociados a una planta de incineración.

<b>CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UNA PLANTA DE INCINERACION – ETAPA OPERACION</b>	
<b>IMPACTO</b>	<b>CARACTERISTICA</b>
Ruidos	Las emisiones son usualmente bajas y dentro de zonas de actividad industrial normalmente cumplen con los requerimientos normativos. Es normal que algunas plantas incineradores funcionen las 24 horas del día, en este sentido el ruido provocado por el tránsito nocturno y en especial la descarga de desechos puede generar niveles de ruido inaceptables y requerir por lo tanto de medidas especiales de control y/o mitigaciones.
Polvo	Emisiones por el tránsito vehicular y por la faena de descarga puede tener relevancia tanto para la población aledaña como para los trabajadores de la instalación.
Olores	Las emisiones de olores en este tipo de instalaciones proviene fundamentalmente de las áreas de acumulación y de mal funcionamiento del proceso de incineración. Reduciendo al mínimo el tiempo de acopio de desechos y conduciendo el proceso de incineración a las temperaturas y tiempo de residencia de gases y partículas adecuadas, la emisión de olores por estos conceptos puede mantenerse perfectamente bajo control
Contaminantes Atmosféricos Emitidos por la Chimenea	Emisiones contaminantes, a través de la chimenea del incinerador pueden generar problemas a la salud de las poblaciones, a parte de las emisiones normales como el material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre son motivo de gran preocupación las emisiones de dióxinas, furanos, cloruro y fluoruro de hidrógeno, metales pesados, compuestos orgánicos volátiles y gérmenes patógenos.  Sistemas automáticos para la alimentación de desechos, equipamiento que permitan ajustar las temperaturas de incineración y tiempo de residencia son fundamentales para obtener una combustión adecuada y asegurar una completa destrucción de sustancias orgánicas peligrosas. Alcanzar y mantener temperatura sobre 1200°C y tiempo de residencia de al menos 2 segundos son requerimientos obligados cuando se incineran residuos municipales en conjunto con residuos peligrosos.  Temperaturas de 800° en las cámaras de combustión primaria y de post-combustión, permiten eliminar eficazmente la emisión de gérmenes patógenos.

IMPACTO	CARACTERISTICA
Líquidos Generados en el Tratamiento de Gases	Los sistemas de tratamiento en base a scrubber son capaces de retener en su fase húmeda al igual que los sistemas de enfriamiento de gases, partículas, metales pesados, dióxinas y gases ácidos, generándose líquidos que de no ser convenientemente tratados pueden dar origen a contaminación de las aguas de los cuerpos receptores.
Líquidos Provenientes de la Limpieza de las Instalaciones.	Los drenajes de las áreas de proceso, las aguas de apagado y enfriamiento de cenizas y las aguas del lavado de las zonas de almacenamiento, transferencia y manejo de los residuos tienen una alta carga contaminada cuyo manejo debe ser previsto con el fin de evitar daños al medio ambiente y riesgos por la salud de la población.
Diseminación de Papeles, Plásticos y Materiales Li-vianos por el Viento	El transporte, la descarga y un mal almacenamiento de los residuos pueden dar origen al arrastre de la fracción liviana por el viento y producir su diseminación en las zonas vecinas.
Diseminación de material Particulado	Es posible en determinadas circunstancias la acumulación de material particulado contaminante en los suelos próximos a las instalaciones del incinerador. El uso de sistemas de retención de material particulado es el único medio para evitar este problema.

## IMPACTOS AMBIENTALES EN LA ETAPA DE ABANDONO

Los impactos ambientales asociados a la etapa de cierre o abandono de una planta incineradora de residuos sólidos urbanos, no difieren grandemente de los impactos ambientales asociados al abandono de cualquier instalación industrial, salvo que por el tipo de construcción resultará difícil asignarle al edificio otro uso, ya sea industrial, comercial o de servicios.

Por consiguiente, el edificio deberá ser desmantelado, retirada las partes metálicas constitutivas del horno así como las estructurales, las que podrán ser comercializadas como chatarra. Luego de efectuado el desmantelamiento corresponderá efectuar la demolición y la consiguiente disposición final de los escombros.

Finalmente corresponderá efectuar la limpieza y acondicionamiento del suelo de acuerdo a los usos posteriores previstos.

Los principales impactos durante el desmantelamiento, demolición y acondicionamiento dicen relación con la generación de ruido, emisión de polvos fugitivos y tránsito de vehículos pesados. Estos impactos pueden ser mitigados mediante la adecuada planificación de las obras y la aplicación de la normativa laboral, sanitaria y municipal vigente.

El suelo, una vez acondicionado, no presenta limitaciones en cuanto a sus usos posteriores.

## **METODOLOGIA DE E.I.A.**

Las metodologías de evaluación de impacto ambiental (EIA), aplicables a estudio del impacto ambiental de una planta de incineración son variadas, sin embargo debe tenerse en cuenta que la metodología elegida permita introducir en el proceso de evaluación las necesarias consideraciones relativas a tamaño y ubicación geográfica de la planta, dadas las fuertes variaciones climáticas, topográficas, hidrográficas, etc. que de esta última derivan.

## **UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LAS INSTALACIONES DE INCINERACION.**

La localización de una planta incineradora de residuos sólidos puede implicar connotaciones ambientales y requerimientos de diseño diferentes. Es así como la Región Metropolitana del país, declarada zona saturada por partículas, monóxido de carbono y ozono y latente por óxidos de nitrógeno no aceptará la localización de una planta incineradora si no es compensando sus emisiones de material particulado y compatibilizando las emisiones de los demás contaminantes con el respectivo plan de descontaminación y plan de prevención.

Similar situación se producirá en el resto de zonas declaradas como contaminadas o latentes en el resto del país.

En cuanto a condiciones especiales de diseño conforme a la localización geográfica, no existen diferencias según la planta se ubique en la zona norte, central o sur del país, ya que la precipitación no será un factor determinante en su diseño.

## **TAMAÑOS DE LAS PLANTAS DE INCINERACION**

Las plantas de incineración de residuos sólidos urbanos pueden ser diseñadas dentro de un amplio rango de tamaño, desde aquellas que incineran unas pocas toneladas por día hasta grandes incineradores capaces de tratar varios cientos de toneladas diarias.

Tomando como referencia la clasificación de tamaños utilizadas comúnmente para instalaciones de tratamiento y disposición final de residuos sólidos podemos clasificar los incineradores en:

- Incineradores de tamaño pequeño                      menor de 100 ton/día
- Incineradores de tamaño mediano                      100 – 500 ton/día
- Incineradores de gran tamaño                      más de 500 ton/día

## **AREA DE INFLUENCIA**

La selección del sitio en el cual localizar una planta de incineración es uno de los aspectos cruciales del proyecto, similarmente a lo que sucede con cualquier instalación destinadas a recibir y manejar residuos municipales. Los principales impactos ambientales de un incinerador se pueden asociar a la emisión de humos y gases por la chimenea y a la generación de malos olores, propio de faenas industriales que manejan materias primas capaces de emitir sustancias odoríficas.

Lo anterior significa que el área de influencia de un incinerador estará fuertemente determinada por el régimen de vientos existentes en el sector y dependiendo de la envergadura de la instalación y de las condiciones climatológicas imperantes, el área de influencia puede extenderse hasta abarcar zonas considerables y especialmente sensibles de la ciudad, así como zonas periféricas de actividad agrícola.

Si bien los diseños modernos de incineradores pueden operar dentro de un amplio rango de opciones tecnológicas, procesos y sistemas de control de contaminación, siempre deberá tenerse en cuenta, al momento de evaluar la seguridad de la población y del medio ambiente, la posibilidad de accidentes, mal funcionamiento y/o deterioro del proceso y fallas en los sistemas de control de la contaminación.

## **MONITOREO**

El monitoreo permite verificar la eficacia de las medidas de mitigación propuestas y el comportamiento ambiental de una planta de compost. En general, resultará importante monitorear el cumplimiento de las normas de emisión y de calidad ambiental aplicables y los requerimientos específicos hechos por las autoridades correspondientes al momento de aprobar el proyecto respectivo y el estudio o declaración de impacto ambiental. En todo caso, desde el punto de vista de los principales impactos específicos identificados para un incinerador, a modo de indicación se consigna lo siguiente:

- **Olores** mensualmente
- **Emisiones de la Chimenea**
  - \*Continuo Flujo de emisiones, temperatura, material particulado, presión y contenido de vapor.
  - \*Mensualmente Dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno.
  - \*Al menos cada tres meses Metales pesados, cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno y COV.
  - \*Al menos anualmente dióxinas y patógenos
- **Ruido** anualmente: mediciones ambientales y en límites del predio en que se ubica el incinerador.
- **Efluentes líquidos**
  - Continuo caudal y Ph
  - Periódicamente DBO,DQO, metales pesados
- **Cenizas**
  - Periódicamente contenido de metales pesados.

### 6.3 PIROLISIS

El proceso llamado pirólisis, bajo ciertas condiciones de temperatura y presión y con ausencia de oxígeno, permite obtener, al tratar residuos sólidos domésticos, productos aprovechables. Económicamente, este método presenta algunas ventajas, reducción del volumen de residuos por efecto del aprovechamiento de materiales, obtención de algunos subproductos (gases, aceites, carbón, agregado vítreo, etc.)

La pirólisis es la destilación destructiva de la fracción orgánica de los desechos sólidos. Ocurre cuando se expone el material orgánico al calor en ausencia o casi ausencia del oxígeno. La pirólisis difiere de la combustión, en que es endotérmica (absorbe calor) el lugar de exotérmica. Los procesos que se están desarrollando utilizan el calor de parte del desecho para producir el que se absorbe durante la pirólisis y recuperan el calor remanente en forma de vapor o de combustible gaseoso o líquido.

Los pocos países que han adoptado el método de la pirólisis lo han hecho con un objetivo experimental. Japón y Estados Unidos precursores en esta materia, poseen instalaciones con capacidad de hasta 1000 toneladas por día.



## **7. DISPOSICION FINAL**

### **7.1 Disposición Final en Agua.**

Tirar las basuras a los ríos o torrentes está determinadamente prohibido. Esto es porque las basuras crean un obstáculo importante a la corriente de agua, hasta el extremo de que podrían causar desbordamiento, especialmente debido a las partes más pesadas que no pueden ser arrastradas por el agua.

Asimismo, las fermentaciones que se producen en el interior de las masas, restan el oxígeno del agua, en perjuicio de los peces que morirían rápidamente. Asimismo, hay riesgo de intoxicaciones para las ciudades que se sirven del agua de dichos ríos.

La descarga en el mar tampoco es aconsejable, no sólo por la gran cantidad de desperdicios que suelen ir flotando de aquí para allá, sino también por el mal efecto que causan y por los peligros que acarrear. Además, el equipo para transportar la basura al interior del mar es muy costoso y no solamente es muy costoso, sino que la mayoría de las veces el transporte sería de difícil realización debido a las inclemencias del tiempo.

### **7.2 Disposición Final en la Tierra.**

Son tres las maneras más usuales de disponer los Residuos Sólidos en Tierra: Botadero a cielo abierto, Botadero controlado y Relleno Sanitario.

#### **a) Botadero a Cielo Abierto.**

Es la forma más antigua y más rudimentaria, desgraciadamente también es el sistema que representa el mayor peligro para la salud, los residuos son dispuestos en el lugar elegido sin ninguna metodología y ningún control, las materias orgánicas contenidas en la basura es campo de fermentación y putrefacción, la evolución de esta descomposición no es atenuada o mitigada por ninguna acción y por tal razón persiste el riesgo de contaminación durante mucho tiempo.

Los restos de alimentos atraen las moscas y los roedores, los cuales viven y se multiplican en las masas de basuras. Estos son vehículos propagadores de gérmenes patógenos y de enfermedades contagiosas.

En fin, para concluir, la capa superficial se seca al sol, calentada además por la fermentación de las capas inferiores, por lo que suele incendiarse con el consiguiente peligro y producción de nubes mal oliente.

## **b) Botadero Controlado:**

En este caso hay un cierto orden en cuanto a facilitar la descarga de los vehículos recolectores, se tiene un frente de trabajo definido, hay maquinarias que esparcen la basura y le dan una cierta compactación y si se cuenta con algún material de recubrimiento adecuado se procede a tapar los residuos.

Generalmente, en este tipo de botadero se permite la recuperación, la que es siempre manual, esto da origen a un entorpecimiento de las labores antes mencionadas, además estas personas se transforman en portadores de microorganismos patógenos con todos los riesgos para la salud que ello involucra.

Muchas veces al quedar los residuos en descubierto por mucho tiempo, también se crean problemas de proliferación de moscas, roedores, combustiones, malos olores, etc.

## **c) Relleno Sanitario**

El relleno sanitario se define como un método para realizar la disposición final de los residuos sólidos en el suelo, sin configurar un deterioro al medio ambiente, sin ocasionar molestias ni peligroso para la salud y la seguridad de la población. Todo ello llevado a cabo mediante la utilización de técnicas constructivas para confinar los residuos en un área la menor posible, compactándolos para reducir su volumen y luego cubrirlos diariamente con una capa de tierra de espesor adecuado.

Los rellenos sanitarios además de recibir directamente desde los centros de producción los residuos generados diariamente, reciben los rechazos y/o residuos de las plantas procesadoras tales, como las plantas de compost o plantas incineradoras, algunos lodos deshidratados provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas, el material particulado y cenizas volantes retenidos en filtros o sistemas de purificación de gases, materiales confiscados o decomisados en aduana, materiales confiscados o decomisados por el Ministerio de Salud, etc. Cuando los residuos sólidos tienen características que los identifican como peligrosos, deben ir a un relleno sanitario de seguridad que son obras que están diseñadas para recibir este tipo de residuos.

Los residuos sólidos en un relleno sanitario sufren transformación biológicas, químicas y físicas, muchas de ellas interrelacionadas entre si. Las transformaciones biológicas más importantes se producen en la fracción orgánica contenida en los residuos y se debe, en una fase inicial, a la acción de microorganismos aeróbicos, mientras dure el aire atrapado en la celda, y a la acción de microorganismos anaeróbicos una vez que se ha consumido el oxígeno inicialmente presente. El proceso evoluciona produciendo, cuando el proceso es aeróbico, una serie de ácidos orgánicos en solución en el agua presente, vapor de agua y dióxido de carbono y produciendo metano y dióxido de carbono cuando es anaeróbico.

Los cambios químicos más importantes que se producen en los rellenos se generan por:

- Disolución y arrastre en suspensión por los líquidos que se infiltren en el relleno de materia contenida en los residuos y productos de transformación biológica.
- Evaporación de compuestos químicos y de agua en el biogas del relleno,
- Absorción de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en los residuos,
- Descomposición de compuestos orgánicos;
- Reacciones de oxidación – reducción que afectan a metales y sales metálicas.

Los cambios físicos más importantes se producen en el relleno se deben a la difusión lateral y de fondo del biogas, su emisión a la atmósfera, los movimientos de los líquidos percolados en el interior del relleno y su infiltración en el subsuelo y el asentamiento causado por la consolidación y descomposición de los orgánicos.

### **Fortalezas de los Rellenos Sanitarios**

- Se eliminan todos los inconvenientes que existen en los botaderos a cielo abierto y botadero controlado (humo, insectos, roedores, incendios y otros)
- El método es muy flexible absorbe sin problemas las grandes producciones anuales, como también los desechos voluminosos.
- Se logra la recuperación de terrenos inservibles y su transformación en parques, jardines, campos deportivos, terreno agrícolas u otros.
- En algunos rellenos sanitarios es factible utilizar el biogas generado como un recurso energético.
- Su puesta en marcha puede realizarse en forma rápida en uno o dos meses se puede habilitar el sitio elegido.
- Los costos de operación y mantenimiento son bajos.
- La inversión es baja (costo de los equipos y obras de infraestructura) es reducida comparada con otros métodos.

## **Debilidades de los Rellenos Sanitarios.**

- Los rellenos sanitarios presentan características de fragilidad ante condiciones adversas tales como, grandes lluvias, fuertes vientos, nevazones, heladas, etc. Aunque los rellenos estén bien diseñados y dotados de buena infraestructura, normalmente hay problema con los caminos internos y con el frente de operación, y en ocasiones los residuos deben ser dejados en zonas de emergencia cercanas a los lugares de ingreso. También las superficies expuestas sufren deterioro por estas condiciones climáticas.
- Crisis económicas que derivan en falta de recursos para este tipo de obra pueden hacer que el relleno termine transformado en un basural, generando problemas no previstos en el vecindario.
- Las autoridades que tienen la responsabilidad de manejar el problema de los residuos reciben a menudo fuertes presiones para hacer recuperación de materiales reciclables en los rellenos sanitarios. En este sentido la experiencia ha mostrado que resulta incompatible desde el punto de vista sanitario ambiental la recuperación de materiales desde la basura con la operación del relleno sanitario, siempre el relleno termina decayendo y transformándose en un basural. La recuperación de materiales es algo necesario, pero resulta desde todo punto de vista conveniente realizarla en el origen.
- Los rellenos sanitarios de gran tamaño pueden impactar fuertemente el flujo vehicular en los caminos cercanos y en aquellos que acceden al relleno a causa de la gran cantidad de medios de transporte que llegan al lugar, también muchas veces es difícil evitar que algunos vehículos que son descubiertos y no cubren bien los residuos produzcan derrame de ellos en estos caminos.
- La descarga de la basura y el manejo y tratamiento de lixiviados y biogas produce emanaciones gaseosas de mal olor que, en determinadas circunstancias y dependiendo de la dirección de los vientos, pueden trascender los límites del relleno

## CLASIFICACION DE RELLENOS SANITARIOS

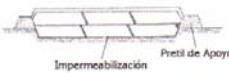
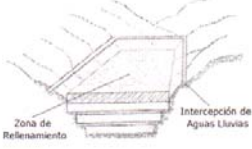
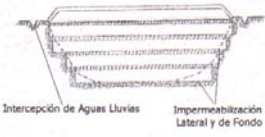
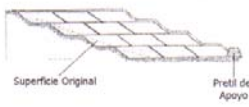
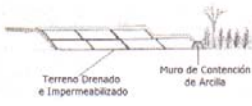
Los rellenos sanitarios se pueden clasificar de varias maneras pero las más importantes tienen relación con:

- La clase de residuos depositados
- Las características del terreno utilizado
- La forma de obtener el material de recubrimiento
- La forma de realizar el esparcimiento, la compactación y el recubrimiento.



En los siguientes cuadros se presentan las características de estos tipos de rellenos sanitarios.

### CLASIFICACION DE RELLENOS SANITARIOS

TIPO DE RELLENO	CARACTERISTICAS
Relleno sanitario tradicional con residuos sólidos urbanos seleccionados.	No acepta ningún tipo de residuos de origen industrial, ni tampoco lodos.
Relleno sanitario tradicional con residuos sólidos urbanos no seleccionados	Acepta además de los residuos típicos urbanos residuos industriales no peligrosos y lodos de plantas de agua potable y aguas residuales, previamente acondicionados.
Relleno para residuos triturados	Recibe exclusivamente residuos triturados. Aumenta vida útil de los rellenos, disminuye el material de recubrimiento. Los residuos pueden ser triturados en el mismo relleno.
Relleno para residuos peligrosos o relleno de seguridad	Recibe residuos que por sus características deben ser confinados con estrictas medidas de seguridad. Cuentan normalmente con centros de almacenamiento para residuos encapsulados o solidificados.
Monorellenos	Son rellenos que se construyen para recibir residuos específicos, por ejemplo, cenizas, escoria, borras, etc.
Relleno para residuos de construcción	Son rellenos que se hacen con materiales inertes y que son residuos de la construcción o demolición de viviendas u otras.

Tipo de relleno	Características	Representación
<b>Clasificación: Según las características del terreno utilizado</b>		
En áreas planas o llanuras.	<p>Más que un relleno es una depositación en una superficie. Las celdas no tienen una pared o una ladera donde apoyarse, es conveniente construir pendientes adecuadas y utilizando pretiles de apoyo para evitar deslizamientos. No es conveniente hacer este tipo de relleno en zonas con alto riesgo de inundación. Normalmente se hacen excavaciones previo a la depositación utilizándose el material excavado para la cobertura.</p>	 <p>Impermeabilización Pretil de Apoyo</p>
En quebrada.	<p>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.</p>	 <p>Zona de Rellenamiento Intercepción de Aguas Lluvias</p>
En depresiones.	<p>Se debe cuidar el ingreso de aguas a la depresión, tanto provenientes de la superficie o de las paredes por agua infiltrada. La acumulación de agua obstruye la operación normal del relleno. La forma de construir el relleno dependerá del manejo que se de al biogás o a los líquidos percolados.</p>	 <p>Intercepción de Aguas Lluvias Impermeabilización Lateral y de Fondo</p>
En laderas de cerros.	<p>Normalmente se hacen partiendo de la base del cerro y se va ganando en altura apoyándose en las laderas. Es similar al relleno de quebrada. Se deben aterrizar las laderas del cerro aprovechando la tierra sacada para la cobertura y tener cuidado de captar las aguas lluvias para que no ingresen al relleno.</p>	 <p>Superficie Original Pretil de Apoyo</p>
En ciénagas, pantanos o marismas.	<p>Método muy poco utilizado por lo difícil de llevar a cabo la operación, sin generar condiciones insalubres. Es necesario aislar un sector, drenar el agua y una vez seco proceder al relleno. Se requiere equipamiento especializado y mano de obra. En ocasiones se puede encontrar la oposición de grupos de conservación ecológica de la biodiversidad.</p>	 <p>Terreno Drenado e Impermeabilizado Muro de Contención de Arcilla</p>

Tipo de relleno	Características	Representación
<b>Clasificación: Según la forma de obtener el material de recubrimiento</b>		
En zanja o trinchera.	<p>El material excavado se acopia al lado de la zanja. El tamaño de la zanja dependerá de la cantidad de residuos a disponer diariamente y del equipamiento que se posee. Es normal que el material excavado exceda varias veces en volumen la cantidad requerida para cubrir los desechos. Para facilitar la operación muchas veces deben moverse grandes cantidades de tierra al interior de la faena, encareciendo el trabajo. Es recomendable para rellenos pequeños de no más de 80 ton/día.</p>	
De excavación progresiva.	<p>La característica de este método es la simplicidad y continuidad en la operación, ya que el material necesario para cubrir los residuos es excavado precediendo el área de trabajo y se va colocando directa e inmediatamente sobre los desperdicios previamente compactados. En altura sólo se puede construir una celda. Este tipo de relleno es para pequeñas cantidades de residuos.</p>	
Con material de recubrimiento de préstamo.	<p>En este caso el material de recubrimiento o tierra para cubrir los residuos es traído de otro lugar. El material importado para cubrir los residuos, en general es depositado y acumulado o llevado al lugar de acuerdo con las necesidades de cada operación. La distancia que el material tiene que ser transportado debe ser estudiada cuidadosamente, ya que será un factor importante en el costo de operación del relleno sanitario. Otro factor importante es la incidencia de los vehículos acarreado material, en el tráfico vehicular en torno al relleno sanitario.</p>	

Tipo de relleno	Características	Representación
<b>Clasificación: Según la forma de realizar el esparcimiento, la compactación y el recubrimiento.</b>		
Con herramientas de uso manual (relleno sanitario manual)	Los residuos son esparcidos, compactados y recubiertos por trabajadores utilizando herramientas de uso manual, tales como rastrillos, palas, carretillas, pizones, etc. Ocasionalmente una o dos veces al año se emplea maquinaria de movimiento de tierra para acondicionar el suelo para recibir los residuos. Este tipo de relleno se recomienda para pequeñas comunidades con poca producción de basura y escasos recursos económicos.	
Con equipamiento mecánico (relleno sanitario mecanizado)	El movimiento de los residuos, su compactación y la cobertura son realizados con equipos mecanizados tales como, bulldozers, cargadores frontales (pail loaders), motoniveladores, etc. Este tipo de relleno se utiliza para la disposición de grandes cantidades de basura. El sistema mecanizado da seguridad en el sentido de resolver en forma rápida cualquier tipo de problema en el frente de trabajo que pueden dar origen a inconvenientes de tipo sanitario y ambiental al vecindario.	
<b>Clasificación: Según su régimen de gestión.</b>		
Municipal	Equipamiento, personal, administración, operación, etc. a cargo del municipio. Se privilegia la calidad por sobre la economía.	
Mixto	Infraestructura, equipamiento, mantención y seguridad del relleno son tareas del municipio, y la administración del relleno la realiza el privado. La municipalidad fiscaliza la obra.	
Privado	El servicio completo es privado. Se cumplen especificaciones técnicas, pero se pone especial énfasis en lo económico. Se requiere de fiscalización para lograr un óptimo desempeño.	



## **VIDA UTIL.**

Aunque es casi un hecho que en el futuro será factible el uso de nuevas tecnologías para el tratamiento y disposición de los residuos sólidos, no es menos cierto que los rellenos sanitarios difícilmente dejarán de usarse, pues siempre se requerirá de ellos para disponer el material rechazado o los residuos que resulten del tratamiento. Luego, proyectarlos con una larga vida útil no es un error, en el sentido de que se pudiera pensar que los rellenos sanitarios en el corto plazo pueden quedar obsoletos. También todo relleno sanitario requiere de una gran inversión para su habilitación y compra de equipos, la que es necesaria amortizar en el mayor número de años posibles con el fin de disminuir los costos de la obra.

En la actualidad es normal que los rellenos sanitarios que se proyectan para las grandes ciudades superen los 20 años de vida útil. No obstante existen circunstancias que a veces justifican el tener rellenos de corta duración, por ejemplo, el rellenamiento de hondonadas al interior de las ciudades o en la periferia, con el fin de nivelar terreno o de terminar un vertido ilegal de residuos, especialmente, si estos son de carácter peligroso.

Los principales factores que determinan la vida útil de un relleno sanitario son; el área disponible, el diseño geométrico de la obra, la técnica empleada para realizar la celda tipo (unidad básica estructural del relleno sanitario) y la cantidad de residuos sólidos a disponer y sus proyecciones.

Para un mismo tipo de obra, mientras mayor sea el área disponible, mayor será la vida útil del relleno. El diseño geométrico permitirá determinar cuál será el volumen ocupado por la obra, él que contendrá además de los residuos; el material de recubrimiento, la cobertura final, los pretiles de contención y los sistemas de impermeabilización y drenaje. El diseño geométrico normalmente está condicionado por factores de seguridad que garantizan que la obra no colapsará por diferentes tipos de solicitaciones. La técnica empleada para realizar la celda tipo permite precisar la densidad que alcanzarán los residuos y los asentamientos aproximados que se producirán en el tiempo. Finalmente en base a la cantidad de residuos y sus proyecciones, la densidad y porcentaje de asentamiento considerados y el espacio disponible para depositar residuos, se puede obtener la vida útil del proyecto.

## **SELECCIÓN DE SITIOS**

### **Consideraciones Generales.**

En la actualidad, con la experiencia adquirida y la tecnología disponible, es posible construir un relleno sanitario al interior de una ciudad y no crear problemas de tipo sanitario o ambiental a la población, ciertamente un relleno de esta naturaleza tiene costos elevados y es probable que no esté al alcance del presupuesto que manejan la mayoría de las Municipalidades. Sin embargo, debido a la dificultad de encontrar sitios que cumplan con los requisitos legales exigidos para este tipo de obra en la cercanía de las ciudades y ante el rechazo que el vecindario hace de la mayoría de los sitios considerados, la autoridad está tomando decisiones que hacen que estos lugares se ubiquen a muchos kilómetros de los perímetros urbanos, lo que implica elevar el costo de transporte y a la vez el costo total del manejo integral de los residuos sólidos. Esto nos lleva a considerar muy cuidadosamente las pocas posibilidades que se tienen para realizar esta actividad que es fundamental para el bienestar de la comunidad o comunidades a las cuales sirven.

### **Factores Determinantes**

La selección apropiada de un lugar para ser utilizado como un relleno sanitario eliminará en el futuro muchos problemas de tipo operacional. En la selección del sitio, además de tomar en consideración factores relevantes en función del objetivo de la obra que es la disposición final de residuos sólidos, es también de suma importancia considerar el futuro desarrollo comunal y el uso productivo que puede hacerse del relleno sanitario. Muchos sitios y terrenos de variado tamaño y que reúnen características muy diversas pueden ser utilizadas como rellenos sanitarios, sin embargo la preparación del sitio seleccionado puede ser muy costosa y esto en sí puede excluir el uso de algunos sitios como relleno sanitario.

En cualquier caso, siempre es recomendable que se lleve a cabo una inspección y se prepare una lista de lugares disponibles. Una vez que la lista ha sido hecha, ésta deberá ser verificada por las autoridades locales. También debe solicitarse información acerca de estos sitios para asegurar que puedan satisfacer el plan de desarrollo de la comunidad y sugerir los usos alternativos a los cuales podrá ser destinado el relleno terminado de acuerdo con las necesidades de la comunidad servida. Probablemente, las relaciones públicas es uno de los aspectos que más se descuidan durante la selección del sitio. Desde las primeras etapas del proceso de selección del sitio, el público debe tener la oportunidad de participar, comentar y objetar a las proposiciones hechas. En todos los casos es de suma importancia asegurar el soporte público durante todas las fases de selección, diseño y operación del relleno sanitario.

Una serie de factores determinan la aptitud de un sitio para la realización de un relleno sanitario, los más relevantes serán analizados a continuación:

- **Accesibilidad**

El sitio considerado debe contar con dos o más viajes de acceso de manera de tener alternativas ante problemas de congestión vehicular, anegamiento de una vía, derrumbes, reparación de una vía, etc., de esta forma se tiene una alta probabilidad de que los residuos siempre lleguen a la disposición final.

- **Capacidad**

Los terrenos estudiados deben tener capacidad para recibir residuos de todos los municipios usuarios del relleno, por más de quince años. Esta vida útil permite justificar la inversión en infraestructura y pago de indemnizaciones y compensaciones.

- **Servicios Básicos**

Es conveniente que en el sitio o en su cercanía existan facilidades para obtener servicios básicos como agua potable, electricidad, teléfono y si es posible conexión al sistema de alcantarillado. En algunos casos es posible descargar lixiviados tratados o no al sistema de alcantarillado, siempre y cuando las diluciones den como resultado una mezcla que permita su posterior tratamiento en una planta purificador, o que su descarga a un curso superficial de agua no produzca alteraciones a este curso que imposibiliten su uso posterior. En todo caso las reglamentaciones o normativas locales determinarán la factibilidad de esta acción.

- **Cercanía Viviendas**

Debe considerarse favorable el que no exista viviendas aisladas a menos de 500 m y conjuntos habitacionales a menos de 1 km del sitio considerado. En países donde existan reglamentos al respecto deberán respetarse las distancias establecidas en ellos.

- **Disponibilidad y Calidad del Material de Recubrimiento.**

Facilita enormemente la operación de un relleno si el material de cobertura existe en gran cantidad y de buena calidad al interior del relleno sanitario, si por el contrario éste se encuentra alejando o hay que pagar un costo elevado por su adquisición es probable que el sitio deba ser excluido para ser usado en una actividad de este tipo.

- **Profundidad de la Napa.**

Aún cuando en la actualidad, para los rellenos sanitarios de gran tamaño, resulta imprescindible impermeabilizar su base, es conveniente que la napa se encuentre lo más profundo, preferentemente a más de 10 m del fondo del relleno, y que el

suelo que los separa sea poco permeable con valores del coeficiente de permeabilidad K menor a  $10^{-4}$  cm/s.

La presencia de pozos o campos de pozo de los servicios de agua potable o de particulares pueden resultar determinante en la decisión de utilizar el sitio para relleno sanitario.

- **Presencia de Agua o Posibilidad de Anegamiento.**

La presencia de charcos pequeños, de aguas estancadas o de corrientes superficiales perennes o intermitentes debe verificarse. Los charcos pequeños causados por el mal drenaje de la superficie, pueden eliminarse por medio de obras de bombeo, drenaje y nivelación. Si el sitio designado se encuentra dentro de un área de anegamiento, el costo de los trabajos para su protección pueden excluir el uso de éste como relleno sanitario. Si el sitio destinado se halla en una hondonada, la presencia de agua puede indicar la existencia de agua freática al nivel de la superficie o de manantiales de tiempo lluvioso. En cualquier caso, se recomienda que por lo menos se recurra a una información general con respecto a las condiciones hidrogeológicas del sitio conforme a lo mencionado anteriormente. En muchos casos, estos datos se encuentran disponibles en los servicios o agencias gubernamentales o de ingeniería que trabajan en el área.

- **Cursos Superficiales de Aguas.**

La existencia de ríos, esteros, arroyos u otros cursos superficiales de aguas en las proximidades del sitio en estudio debe ser considerada como negativo. Esto tiene su razón de ser en la probabilidad de alterar en forma negativa la calidad química o bacteriológica de estos cursos de aguas.

- **Operabilidad.**

Un sitio en estudio debe ser analizado desde el punto de vista de las facilidades o dificultades que presente para desarrollar una actividad en el relleno sanitario. Por ejemplo presencia de pétreos de gran tamaño en la superficie a rellenar o paredes o terrenos que pueden sufrir deslizamientos son aspectos negativos para realizar una obra de este tipo.

- **Alteración del Patrimonio Cultural.**

La presencia en el sitio o en los alrededores de monumentos o áreas con valor histórico son desfavorables para desarrollar un proyecto de relleno sanitario.

- **Percepción Sensorial.**

Es negativo que la operación de un relleno sea percibida por personas ajenas a la actividad, aunque sea de tránsito por un camino, por lo tanto la cercanía a una carretera importante o un centro urbano es desfavorable.

- **Zonas o Areas de Exclusión.**

Existen zonas o áreas que debido a la planificación del uso territorial quedan excluidas para ser utilizadas para rellenos sanitarios, por ejemplo, que los terrenos están destinados a expansión urbana, uso agrícola o forestal, parques nacionales o áreas de protección de la naturaleza, entre otros. Las instituciones que tienen tuición sobre los territorios normalmente tienen toda la información correspondiente a este punto.

- **Criterios para la Selección de Sitios.**

A continuación y a manera de ejemplo se presentan algunas tablas conteniendo criterios y pautas que permiten la selección de sitios para la disposición, el tratamiento y el almacenamiento de residuos. Cabe hacer notar que las tablas están hechas para sitios que recibirán residuos peligrosos y desde luego tienen un grado de exigencia mayor que aquellos que se emplearán para disponer residuos sólidos urbanos de carácter no peligroso.

**CRITERIOS DETERMINANTES DE EXCLUSIÓN Y DE PREFERENCIA EN LA SELECCIÓN DE SITIOS PARA LA DISPOSICIÓN, TRATAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS**

<b>Criterios Determinantes de Exclusión</b>	<b>Criterios Determinantes de Preferencia</b>
<b>Topografía</b>	
No en pendientes mayores de 10%	Pendientes menores que 5%
<b>Suelos Superficiales</b>	
No dentro de áreas donde desmoronamiento del terreno es evidente o áreas con geología/suelos inestables donde los temblores son eventos recurrentes	Estructura estable de tierra/roca.
<b>Condiciones Atmosféricas</b>	
Sin criterio común de exclusión	Áreas donde los sistemas locales de viento son capaces de dispersar fácilmente emisiones/olores. Áreas vientos debajo de áreas habitadas o áreas ecológicamente sensible
<b>Valor Recreativo</b>	
No dentro de parques locales o regionales, o áreas declaradas como reservas recreativas, reservas para campamentos o reservas para deportes.	Áreas exteriores con un potencial para servir de futuros parques o reservas.
<b>Densidad Poblacional</b>	
No dentro de áreas total y semi-pobladas, áreas destinadas para el desarrollo habitacional, el desarrollo de la comuna, o el desarrollo residencial rural. No dentro de áreas totalmente industrializadas	Densidad poblacional residencial baja  Áreas con un bajo número de propiedades
<b>Abastecimiento de Agua</b>	
No dentro de reservas de agua o en áreas de importancia como futuras reservas o recursos de agua.	Napa de agua baja a media.
No dentro de zonas identificadas como recarga de acuíferos que son usados para irrigación o abastecimiento de agua potable.	Agua subterránea de pobre calidad.

Fuente: Melbourne and Metropolitan Board of Work (1985)

## **FACTORES DE EXCLUSIÓN PARA LA SELECCIÓN DE SITIOS PARA INSTALACIONES DE RESIDUOS PELIGROSOS**

1. Suelos inestables o débiles, por ejemplo, suelos orgánicos, mezclas de arcilla-arena o arcillas blandas, suelos que pierden resistencia al compactarse o mojarse, arenas sometidas a influencia hidráulica y asentamientos.
2. Asentamientos, por ejemplo, debido a minas subterráneas; retiro de agua, petróleo o gas; o superficies inferiores propensas a disolverse.
3. Suelos saturados, por ejemplo en áreas costeras.
4. Areas de recarga acuífera.
5. Areas con historia de inundación cada 100 años o menos.
6. Aguas superficiales, por ejemplo, áreas sobre una reserva o punto de toma de agua para abastecimiento potable o para uso agrícola, y donde el recorrido es demasiado rápido como para mitigar los impactos de un derrame.
7. Condiciones atmosféricas que evitarán la dispersión segura de una liberación accidental.
8. Peligros naturales de importancia mayor, por ejemplo, actividad volcánica, perturbación sísmica (de por lo menos VII en la escala de Mercalli) y derrumbes.
9. Recursos naturales, por ejemplo, zonas donde crecen especies en peligro de extinción, parques, bosques o áreas silvestres.
10. Suelos de uso agrícola o con bosques de importancia cultural o económica.
11. Lugares históricos o estructuras y lugares de importancia arqueológica o suelos venerados en ciertas tradiciones.
12. Lugares sensibles, por ejemplo, almacenamiento de materiales explosivos o inflamables; aeropuertos.
13. Poblaciones estacionarias, por ejemplo, hospitales e instituciones reformativas.
14. Desigualdad, resultante de un desbalance de instalaciones no deseadas de funciones no relacionadas o de dañar una cultura irremplazable y única.

Fuente: Organización Mundial de la Salud.

**PAUTAS USADAS EN ESTADOS UNIDOS PARA LA SELECCIÓN DE SITIOS PARA RESIDUOS PELIGROSOS**

<b>FACTOR</b>	<b>CONDICION DESEABLE</b>	<b>CONDICION NO ACEPTABLE</b>
<b>Consideraciones Geológicas</b>		
Profundidad del lecho de roca	Sobre 15(m) (50 pies)	Bajo 9(m) (30 pies)
Tipo	Esquistos; piedra arenisca muy fina sin remover; cuencas de sedimentación	Rocas carbonatadas fracturadas, quebradas.
Sismología	Zona de riesgo de sismo 0-1	Zona de riesgo de sismo 3
Tectónica	A 1,6 (km) (1 milla) o más desde una falla activa	A menos de 1,6 (km) (1 milla) desde una falla activa.
Características únicas		De importancia arqueológica o paleontológica.
<b>Consideraciones Fisiográficas</b>		
Ubicación	Tierras elevadas; depresión de arcilla	Tierras bajas húmedas; cantera o depresión profunda; depresión de arena y piedras.
Relieve	Plano a pendiente suave; pendiente menor que 10%	Adyacente a elevadas pendientes; hondonadas profundas; pendiente igual o superior a 25%
<b>Suelos</b>		
Profundidad	Mayor que 1 (m) (40 pulg)	Menor que 25 (cm) (10 pulg)
Textura	Sedimento a barro	Arcilla muy fina
Drenaje	Moderadamente bueno a bueno	Muy pobre
Tasa de infiltración	1,5 –5 (cm/h) (0,6-2,0 pulg/h)	Bajo 1,5 (cm/h) 0,6 pulg/h) o sobre 5 (cm/h) (2,0 pulg/h)
Materia orgánica Pendiente	1% 2-12%	Sobre 8% Sobre 25%
<b>Consideraciones Hidrológicas</b>		
Drenaje	Materiales de drenaje rápido; superficie seca.	Material pesado de arcilla u orgánico; área expuestas a inundaciones; formación de pozas
Agua Superficial	Valle plano o terrazas lejos de corrientes	Valle plano cerca de una corriente; probabilidad alta de inundación (cada 100 años)
Distancia	Sobre 910 (m) (3.000 pies) desde un lago, pantanoso; sobre 610 (m) (2.000 pies) desde una corriente	610 (m) (2.000 pies) desde cualquier agua superficial, 8 (km) (5 millas) al límite de un manantial.



Continuación

<b>FACTOR</b>	<b>CONDICION DESEABLE</b>	<b>CONDICION NO ACEPTABLE</b>
Agua subterránea	Sin indicación de napa alta	Filtraciones, manantiales, vertientes, vegetación freatofítica.
Acuíferos	Lecho de rocas profundo con cubierta gruesa impermeable	Uso de acuíferos poco profundos; cubierta permeable delgada sobre acuíferos profundos.
Dirección del flujo con respecto al sitio de uso de fuente de abastecimiento de agua	Hacia el sitio la fuente debe encontrarse a más de 910 (m) (3.000 pies)	Desde el sitio la fuente debe encontrarse a más de 610 (m) (2.000 pies)
<b>Consideraciones Climatológicas</b>		
Lluvias	Evaporación superior en 10 (cm) (4 pulg) sobre precipitación.	Precipitación excede la evaporación.
Probabilidad de tormentas	Baja frecuencia de tormentas severas y temporales	Dentro del recorrido de tornados y huracanes de escala importante.
Viento	Mezclado atmosférico bueno	Núcleo habitacional cercado por una zona estática de aire.
	Ningún núcleo habitacional en dirección vientos abajo.	Núcleo habitacional a menos de 0,8 (km) (0,5 millas) vientos abajo.
<b>Consideraciones de Transporte</b>		
Instalaciones públicas	Sobre 305 (m) (1.000 pies)	Bajo 305 (m) (1.000 pies)
Distancia desde una vía principal	Sobre 610 (m) (2.000 pies)	Bajo 610 (m) (2.000 pies)
Calidad del servicio	Bajo riesgo de vertidos en rutas de transporte	
<b>Consideraciones de Recursos</b>		
Uso de la Tierra	No adyacente a tierras de uso agrícola activo.	Fronteras con parques, áreas de recreación, áreas silvestres o ríos con paisajes escénicos.
<b>Consideraciones del Medio Ambiente Humano</b>		
Demografía	Densidad poblacional baja.	Limitando con áreas culturales, reservaciones indias, o fronteras internacionales; bajo 0,8 (km) (0,5 millas) de pozos de agua potable; bajo 1,6 (km) (1 milla) aguas abajo del punto de toma de aguas fluyentes.
<b>Consideraciones Biológicas</b>		
Ecología	Bajo valor ecológico; poca diversidad y singularidad de especies	Hábitat de especies en peligro de extinción.

## **El Síndrome NIMBY.**

El término “residuos” es asociado a algo indeseable y que procuramos mantener lo más lejos posible de nuestra casa o de nuestro trabajo, sin considerar que los métodos empleados para la disposición final, hoy en día, garantizan que los residuos no producirán un deterioro ambiental ni un daño a la salud de aquellos que se encuentran en las proximidades de los terrenos utilizados, y sin tener en cuenta que estos residuos no pueden hacerse desaparecer en forma mágica y que en algún lugar dentro de una unidad territorial deberán quedar ubicado.

En estos momentos todo el mundo está consciente de los problemas ambientales y apoyan las decisiones de ocupar recursos para dar solución a los problemas de disposición final o tratamiento de residuos sólidos, pero cuando se enteran que la solución involucra territorialmente a su vecindario se levantan contra el proyecto, reclaman contra las autoridades y contra las decisiones técnicas que determinan el uso de tales terrenos dentro de su comuna o municipio, y lo que es peor aún, el resto de la ciudadanía hace causa común con ellos, en circunstancias que cuando se sabía de la solución y no de la ubicación apoyaban incondicionalmente el proyecto.

Situaciones como la antes descrita han provocado que algunos proyectos se retrasen por varios años ocasionando graves daños ambientales y elevando considerablemente los costos económicos.

Este fenómeno social es conocido mundialmente como el síndrome NIMBY (no en mi patio trasero, del inglés “**Not In My Back Yard**”) y normalmente lleva a soluciones que trascienden lo técnico y económico del sistema de manejo de residuos sólidos e involucra otras variables de tipo político, de equiparidad y de compensaciones.

## **LIXIVIADOS E IMPERMEABILIZACION DE LA BASE**

### **Origen y Caracterización de los Lixiviados**

Los residuos, especialmente los orgánicos, al ser compactados por maquinaria pesada liberan agua y líquidos orgánicos, contenidos en su interior, el que escurre preferencialmente hacia la base de la celda. La basura, que actúa en cierta medida como una esponja, recupera lentamente parte de estos líquidos al cesar la presión de la maquinaria, pero parte de él permanece en la base de la celda. Por otra parte, la descomposición anaeróbica rápidamente comienza actuar en un relleno sanitario, produciendo cambios en la materia orgánica, primero de sólido a líquido y luego de líquido a gas, pero es la fase de licuefacción la que ayuda a incrementar el contenido de líquido en el relleno, y a la vez su potencial contaminante. En ese momento se puede considerar que las basuras están completamente saturadas y cualquier agua, ya sea subterránea o superficial, que se infiltre en el relleno, lixiviará a través de los desechos arrastrando consigo sólidos en suspensión, y compuestos orgánicos en solución. Esta mezcla heterogénea, de un elevado potencial contaminante, es lo que se denomina lixiviados o líquidos percolados.

La composición de los líquidos percolados dependerá de muchos factores, entre ellos, cabe destacar la composición de los residuos y la cantidad de agua

infiltrada; también es necesario hacer notar que una vez terminado el relleno, el potencial contaminante de los lixiviados disminuirá con el tiempo, especialmente en lo referente a la alta carga orgánica que éstos contienen.

En la tabla siguiente aparecen valores típicos de los componentes de los lixiviados.

**COMPOSICIÓN DE LIQUIDOS PERCOLADOS  
DE UN RELLENO SANITARIO CON DESECHOS DOMESTICOS**

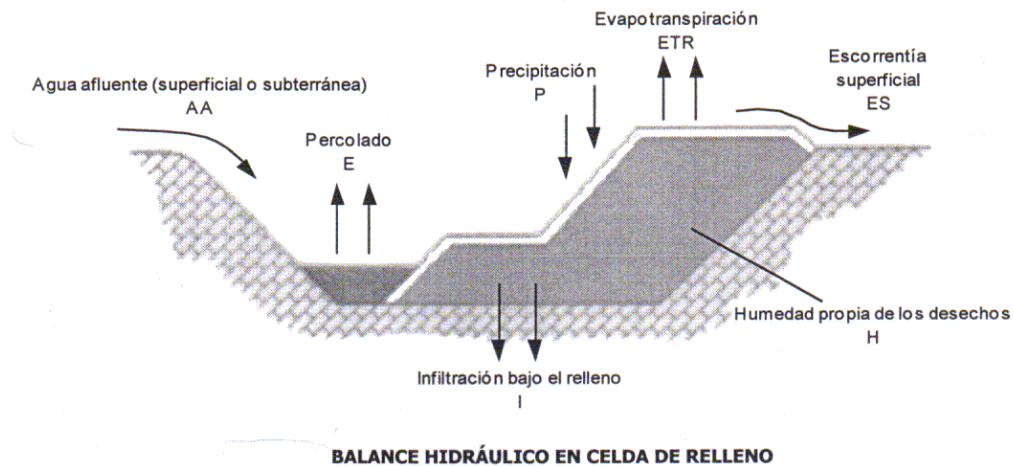
<b>COMPONENTES</b>	<b>RANGO (mg/l)</b>
Cloruros	100 – 400
Cobre	0 – 9
Fierro	50 – 600
Fluor	0 – 1
Cadmio	0 – 17
Cromo (VI)	2
Plomo	2
Sodio	200 – 2.000
Sulfatos	100 – 1.500
Nitratos	5 – 40
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	300 – 10.000
DBO	2.000 – 30.000
DQO	3.000 – 45.000
pH	5,3 – 8,5

En lo que se refiere al volumen generado de lixiviados el aporte del agua liberada por la descomposición de la basura es, generalmente, mucho menor a la del agua infiltrada (desde cursos superficiales o subterráneos) y al líquido contenido inicialmente por los desechos.

Los procesos hidráulicos más relevantes en la generación de percolados son: infiltración, percolación, esorrentía, evapotranspiración.

El movimiento de agua hacia el interior de la basura está limitado por la capacidad de infiltración y las condiciones topográficas de la superficie. El movimiento de agua a través de un perfil de suelo, o percolación, depende de la porosidad del suelo, el tamaño y forma de poros, y el gradiente de presiones.

Generalmente la producción significativa de percolado aparece retardada con respecto a una aplicación inicial de líquido, aunque pequeños e intermitentes volúmenes suelen producirse previo a una percolación continua. Los balances hidráulicos en las celdas de los rellenos, han indicado que después del comienzo de una producción de percolado importante, la humedad total contenida en el relleno permanece esencialmente constante y el líquido evacuado está, aproximadamente, en una proporción uno a uno con respecto a la aplicación neta de humedad.



Se desprende que:

$$\text{HUMEDAD AFLUENTE} = \text{HUMEDAD EFLUENTE}$$

$$P + H + AA = I + E + ES + ETR$$

Esto conduce a:

$$E = P + H - ETR + (AA - ES)$$

Pudiendo ser el término (AA-ES) tanto positivo como negativo.

Se aprecia que AA y ES son las únicas variables sobre las cuales se puede intervenir a fin de disminuir las descargas no controladas de percolado.

En muchos países, en los meses de estiaje o sequía AA, ES y P tienden a cero con la cual la producción de percolado pasa a ser función de la humedad contenido y liberada por los desechos.

En todo caso la cantidad de lixiviado que se genera en un rellano resulta difícil de precisar debido a todos los factores que influyen en su producción. En la actualidad con la ayuda de programas computacionales se están haciendo grandes esfuerzos para poder generar información de producción de lixiviado en función de los parámetros influyentes (por ejemplo, CEPIS-Modelo HELP).

Mediciones realizadas en el relleno “Lo Errazuriz” (Santiago, Chile), revelan un afloramiento promedio de líquidos percolados del orden de 50 (l/ton) de residuos ingresados. Sin embargo la cantidad de líquido producido, que se encuentra confinado dentro de la masa de relleno, puede superar notablemente el afloramiento promedio de 300 (mm) anuales de las cuales un 80% se produce entre los meses de Mayo y Agosto. En ciudades con precipitación inferior a 100 (mm) anuales y residuos sólidos domésticos con una humedad cercana al 50% prácticamente no hay problemas con los lixiviados.

### **Impermeabilización del Fondo del Relleno.**

Teniendo en consideración las características de los componentes de los líquidos percolados, es indiscutible que éstos pueden contaminar las aguas con las cuales entran en contacto.

Sería ideal evitar todo contacto entre los líquidos percolados y el agua subterránea, pero, para tal efecto, habría que cuidar muchos aspectos que encarecerían la obra en forma tal que ésta sería imposible de realizar. Sin embargo, llevar este contacto a un nivel mínimo de modo que las características de la napa no sufran grandes variaciones y que el uso actual o eventual de ella no se vea afectado, es perfectamente posible.

Ahora bien, no hacer nada en base a suponer que los contaminantes serán diluidos en las aguas subterráneas es un error, que puede causar un gran daño, ya que una vez que las aguas han sido contaminadas es muy difícil revertirlas a las condiciones originales. El escurrimiento de las aguas subterráneas, por lo general, es laminar, lo que hace que la dispersión del contaminante será por difusión y no por dilución, y como las velocidades de las napas y las tasas de difusión son bajas, hacen que configure una zona de contaminación bastante peligrosa.

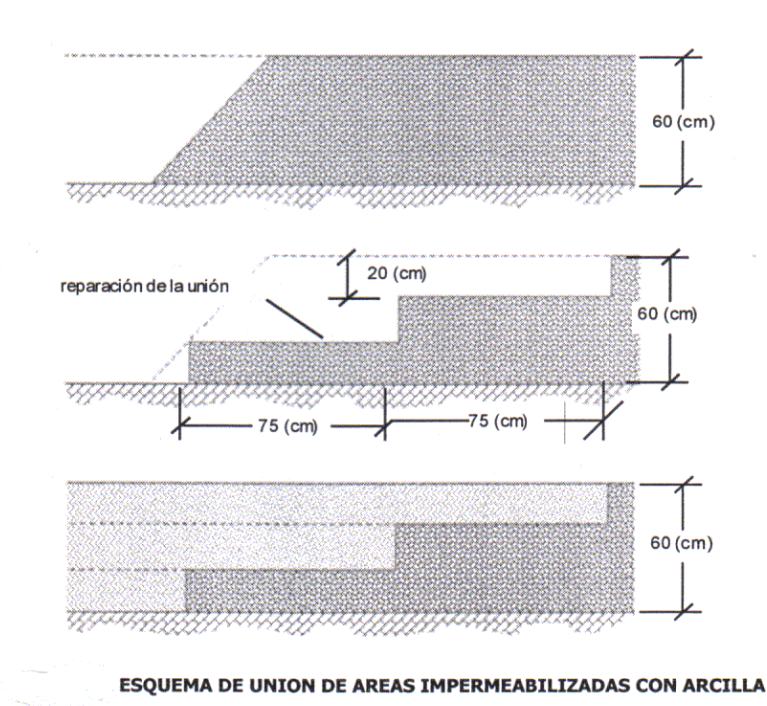
Los contaminantes de origen orgánico son los más abundantes en los líquidos percolados, pero ellos van perdiendo esa característica en el transcurso del tiempo. Por otra parte, es un hecho comprobado que gran parte de ellos quedan retenidos al tener que pasar por un medio arcilloso, contribuyendo en gran medida a aumentar la impermeabilidad del medio.

El uso de arcilla como medio impermeabilizante es bastante común en América, a continuación presentaremos una forma de poner este material para lograr esta condición impermeabilizante.

Sobre el terreno emparejado se colocarán 0,60 (m) de material arcilloso, homogéneo, sin contenido orgánico, con no menos de 40% de su peso seco que pase la malla ASTM N°200. Este material se colocará en capas de 0,20 a 0,30 (m), con una humedad algo mayor que la óptima determinada por el ensayo Proctor Modificado compactándose cada capa con rodillo pata de cabra o similar hasta obtener una densidad seca no inferior al 90% de la densidad seca máxima establecidas por el ensaye citado. El coeficiente de permeabilidad en el laboratorio para el material arcilloso no será superior a  $K=10^{-6}$  (cm/s).

La capa de arcilla compactada, deberá mantenerse permanentemente húmeda para evitar su agrietamiento, hasta que se cubra con basura, por lo que se recomienda construir esta impermeabilidad sólo con la extensión necesaria para ejecutar con comodidad el relleno sanitario.

La unión entre el sector ya impemeabilizado con arcilla con lo que se va a impermeabilizar se efectuará de acuerdo con lo indicado en la figura.



Ultimamente se ha empleado bastante arcilla en espesores de 20 a 30 (cm) con polietileno de alta densidad entre medios, el espesor de este polietileno oscila entre 1 y 2 (mm). Otras geomembranas bastantes usadas son el Polietileno cloro sulfonado (Hypalon) y el polivil clorado (PVC), en ocasiones las geomembranas son usadas con geotextiles (tejidos esponjosos) con el fin de protegerlas de desgarramientos y/o punzonamiento.

### Control de los lixiaviados

Es importante tener en el relleno sanitario los elementos necesarios para mantener un control total de los lixiviados, éstos pueden ir desde almacenamiento en lagunas para bombearlos con llevarlos al sistema público de alcantarillado, o bien recircularlos con equipos de bombeo, hasta sistemas de drenaje al interior del relleno, depósitos de almacenamiento y tratamiento químico y/o biológico.

Es importante establecer un sistema de monitoreo rutinario que permita detectar anticipadamente un eventual paso de líquidos percolados a través del terreno y subsecuentemente adoptar las medidas preventivas y correctivas que corresponda para evitar riesgos a la población, por consumo de agua de calidad inadecuada.

Para tales efectos los proyectos deben contener un programa de muestreo en forma sistemática en pozos ubicados aguas arriba y aguas abajo del relleno, de manera de poder determinar claramente cualquier variación de calidad química o bacteriológica de ésta. A lo menos uno de éstos debe estar inmediatamente aguas abajo del relleno con el fin de detectar lo más anticipadamente posible cualquier infiltración de lixiviado. Es conveniente utilizar pozos ya existentes en el sector de manera de no incurrir en nuevos costos.

Antes de iniciar la deposición de basuras de basuras es conveniente hacer un muestreo de la calidad de los acuíferos, para establecer su calidad inicial o de “fondo” y registrar estos datos con las autoridades ambientales.

Factores importantes a considerar, entre otros, para dar inicio y determinar la frecuencia del muestreo son la profundidad y tamaño del acuífero, permeabilidad del terreno, precipitaciones en la zona, tamaño del relleno, entre otros.

### **Tratamiento de lixiviado**

El tipo de instalaciones de tratamiento utilizados dependerá principalmente de las características de lixiviado, y en segundo lugar, de la localización geográfica y física del vertedero. Las características más preocupantes de lixiviano incluyen: DBO, DQO, sólidos totales disueltos (STD), metales pesados y constituyentes tóxicos sin especificar. El lixiviado que contiene concentraciones extremadamente altas de STD, por ejemplo, sobre 50.000 (mg/l), puede ser difícil de tratar biológicamente. Con valores altos de DBO es preferible emplear procesos de tratamiento anaeróbicos, porque los procesos de tratamiento aerobios son caros. Concentraciones altas de sulfatos pueden limitar el uso de procesos de tratamiento anaerobios, debido a la producción de olores procedentes de la reducción biológica de sulfatos a sulfuros. La toxicidad producida por los metales pesados también es un problema para muchos procesos de tratamiento biológicos. Otra cuestión importante es: ¿cuál debería ser el tamaño de las instalaciones de tratamiento? La calidad de las instalaciones de tratamiento dependerá del tamaño del vertedero, del balance hídrico, y de la vida útil esperada. La presencia de constituyentes tóxicos sin especificar a menudo es problemática en los vertederos más antiguos que recibieron una gran diversidad

de residuos, antes de que se implantasen normativas ambientales para controlar la operación de vertederos.

Una investigación realizada en la Sección Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Chile acerca de tratamiento físico-químico de los lixiviados (líquidos percolados) a fines de la década del 80 y principios de la década del 90, entregó las siguientes conclusiones.

- El tratamiento físico-químico de percolados, consistente en coagulación con sulfato de aluminio o cloruro férrico a pH elevado o en precipitación con cal o hidróxido de sodio, produce en los percolados modificaciones del olor y remoción de color, turbiedad, materia orgánica y metales, lo que facilita su manejo y disposición.

Las remociones de materia orgánica alcanzada están en el rango de 35% en términos de DQO y en el caso de los metales: 99,3% de Fe, 98,8% de Mn y 63,6% de Cu.

- El tratamiento físico-químico de percolados produce un gran volumen de lodos y consume una alta concentración de reactivos. Estos lodos pueden ser depositados en el mismo relleno sanitario. La disposición final de los líquidos tratados debe ser evaluada considerando, el impacto ambiental que producirán.
- Para situaciones en las cuales los líquidos percolados generados por un relleno sanitario presenten problemas de manejo sólo algunos meses del año, tratamiento físico-químico aún cuando tiene un alto costo de reactivos resulta recomendable porque permite reducir a niveles aceptables los problemas de olor y facilita el manejo de los líquidos.

## **Producción de Biogás**

Cuando los residuos se descomponen en condiciones anaeróbicas, se generan gases como subproductos naturales de esta descomposición. En un relleno sanitario, la cantidad de gases producidos y su composición depende del tipo de residuo orgánico, de su estado y de las condiciones del medio que pueden favorecer o desfavorecer el proceso de descomposición.

La descomposición de la materia orgánica en los rellenos sanitarios, que se realiza por la actividad microbiológica anaeróbica, genera diversos subproductos, entre ellos el biogás. Por lo tanto, condiciones favorables del medio para la supervivencia de los microorganismos anaeróbicos favorecerá y acelerará la producción de biogás en el tiempo. Los microorganismos anaeróbicos pueden desarrollarse a temperaturas de entre 10 y 60°C, teniendo un óptimo entre 30 y 40°C (fase mesofílica) y otro entre 50 y 60°C (fase termofílica). El pH entre 6,5 y



8,5 permite un buen desarrollo de los microorganismos teniendo un óptimo entre 7 y 7,2.

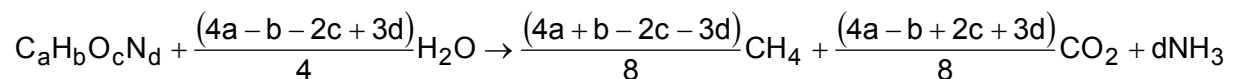
Por lo general, los componentes principales del biogás son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en proporciones aproximadas iguales, constituyentes normalmente más del 97% del mismo. Ambos gases son incoloros e inodoros, por lo que son otros gases, como el ácido sulfhídrico y el amoníaco los que le otorgan el olor característico al biogás y permiten su detección por medios del olfato.

El gas metano se produce en los rellenos en concentraciones dentro del rango de combustión, lo que confiere al biogás ciertas características de peligrosidad por los riesgos de incendio o explosión y por lo mismo, la necesidad de mantener un control sobre él.

La experiencia nacional e internacional indica que se requieren espesores mayores a 6 (m) en los rellenos sanitarios para que se genere biogás en forma continua. En tales casos se dejan sistemas de drenaje para dar salida a los gases, los cuales se diluyen fácilmente en la atmósfera sin crear problemas al medio ambiente, aunque en grandes rellenos es preferible quemarlos para que no contribuyan al efecto invernadero del planeta.

Hay que resaltar que la reacción requiere la presencia de agua. Se han encontrado vertederos que carecen de un contenido de humedad suficiente en un estado “modificado”, con papel de periódico de hace década en condiciones legibles. Entonces, aunque la cantidad total del gas que se produce a partir de residuos sólidos se derive directamente de una reacción estequiométrica, las condiciones hidrológicas locales afectan significativamente a la velocidad y al período de tiempo en le que tiene lugar la producción del gas.

El volumen de los gases emitidos durante la descomposición anaeróbica puede estimarse de varias formas. Por ejemplo, si los constituyentes orgánicos individuales encontrados en los rellenos sólidos domésticos (con la excepción de plásticos) se representan de una forma generalizada con la fórmula C<sub>a</sub>H<sub>b</sub>O<sub>c</sub>N<sub>d</sub>, entonces se puede estimar el volumen total del gas utilizado la ecuación siguiente, suponiendo la conversión completa de los residuos orgánicos biodegradables en CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>.

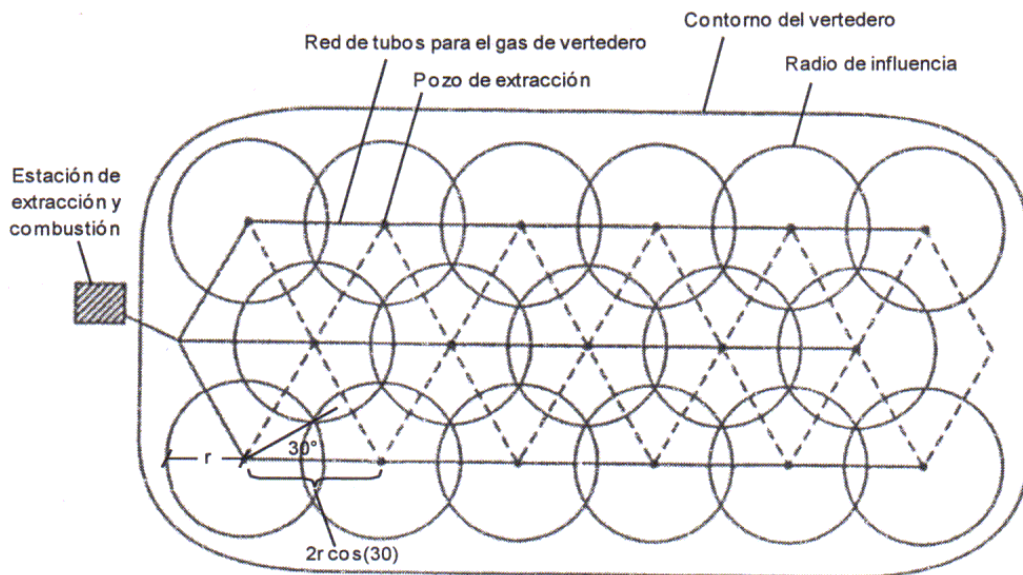


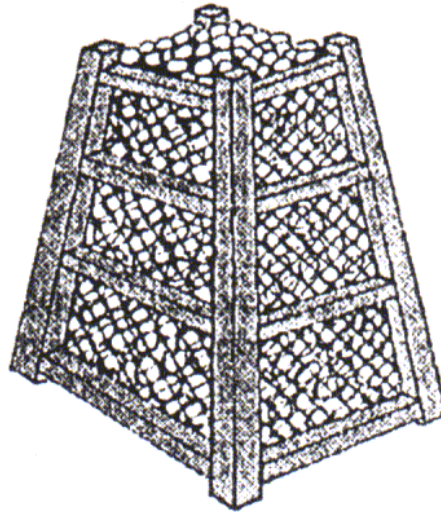
Luego, si se conocen los constituyentes de los componentes de los residuos sólidos domésticos, se puede determinar el volumen de gas que se produciría si toda la materia se transformará en biogás. A partir de este resultado y teniendo la información del contenido orgánico en un residuo urbano (excepto plásticos), de la fracción volátil y del contenido de humedad nos podemos acercar bastante a la producción real de biogás por tonelada de residuos. Si tenemos información acerca de la fracción de residuos que se descompone en forma rápida (dos a

cinco años) y de aquella que se descompone en un plazo mediano (cinco a veinte años) podemos llegar en forma aproximada a la cantidad de biogás que se producirá en el relleno a través del tiempo.

### Control de Biogás

En los rellenos de área, se utilizan varios niveles de celdas para dar disposición a los residuos, por lo que es probable que se tenga una producción continua de biogás después de algunos años, cuando se alcancen unos tres niveles de celdas. Por esta razón resulta conveniente instalar chimeneas de drenaje, distantes 20 a 25 (m) entre sí, en realidad esta última distancia debe ser obtenida a través de estudios en el terreno, lo que permite determinar lo que se denomina radio de influencia (distancia desde el centro de la chimenea que es influenciada por el drenaje).





**CHIMENEA CON ESTRUCTURA DE MADERA Y ALAMBRE Y RELLENADA  
CON GRAVA**

Cuando los rellenos sanitarios son construidos en depresiones, ya sean naturales o artificiales resulta conveniente hacer un drenaje y/o impermeabilizando perimetralmente con el fin de evitar la migración lateral, éste puede ser continuo o constituido por chimeneas colocadas a menores distancias que las ubicadas al interior del relleno. El gas de los drenes puede ser quemado en el mismo relleno o ser extraído para almacenarlo en gasómetro y luego enviarlo al consumo domiciliario o industrial.

## **ETAPAS COMPONENTE DE UN RELLENO SANITARIO**

### **ETAPA HABILITACION**

#### **Infraestructura Periférica**

- Preparación del terreno
- Cierre perimetral, cordón verde
- Vías de acceso, instalación de pesaje
- Instalación de oficinas, talleres, bodegas y otros
- Suministro de energía e iluminación
- Instalaciones de control y vigilancia
- Suministro de agua potable y alcantarillado
- Sistemas de comunicación
- Caminos internos
- Control de vectores
- Drenaje pluvial

#### **Infraestructura del Relleno Sanitario.**

- Programación del uso del área disponible
- Movimiento de tierra
- Manejo del agua superficial
- Control de líquidos percolados
- Impermeabilización del fondo
- Sistemas de drenaje de fondo
- Pretiles de contención
- Recirculación de percolados
- Programa de tratamiento de líquidos percolados
- Control y captación de biogas
- Sistema de control de olores
- Sistema de control de vectores
- Sistema de prevención de incendio

## **ETAPA OPERACIÓN Y CONSTRUCCION DEL RELLENO**

### **Construcción del Relleno**

- Dimensionamiento de la celda
- Construcción de la celda
- Condiciones de confinamiento de la celda
- Definición del material de cobertura
- Ejecución de la cobertura
- Maquinaria necesario para construir la celda
- Mantenimiento de la celda

### **Programa de Vigilancia Ambiental**

- Prevención de incendios
- Control de vectores sanitarios
- Control de líquidos percolados
- Control de dispersión de elementos de la basura
- Control de olores
- Control de riesgos de Salud y seguridad del personal
- Aspectos complementarios

### **Programa de Monitoreo Ambiental**

- Monitoreo Aguas Superficiales
- Monitoreo de Aguas Subterráneas
- Monitoreo de Gases

## **ETAPA CLAUSURA Y MANTENIMIENTO POST-CLAUSURA**

### **Recuperación del Area**

- Antecedentes para la recuperación del área
- Diseño de la cobertura y del paisaje
- Sistema de control de gases
- Sistema de control de percolados
- Sistema de control de erosión
- Barrera cortaviento
- Barrera cortafuego
- Plan de recuperación y mantención de flora
- Plan de recuperación y mantención de fauna

### **Programa de monitoreo ambiental (por tiempo definido)**

- Monitoreo de aguas superficiales
- Monitoreo de aguas subterráneas
- Monitoreo de gases
- Medición de asentamientos

### **Mantenimiento de Infraestructura de Protección (por tiempo definido)**

- Programa de mantenimiento de instalaciones para la desviación de Aguas Superficiales
- Programa de Mantenimiento de cierres y controles de entrada
- Programa de mantenimiento de obras civiles y equipos de apoyo al mantenimiento de post-clausura.