

Lej. 189



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**LOS RELLENOS SANITARIOS
COMO PARTE DEL MANEJO
DE LOS DESECHOS SOLIDOS
EN MEXICO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
Salvador Uribe Espinosa



MEXICO, D. F.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

LOS RELLENOS SANITARIOS COMO PARTE DEL MANEJO DE LOS
DESECHOS SOLIDOS EN MEXICO

	CONTENIDO	PAGINA
1.	INTRODUCCION	1
1.1	Aspectos Históricos	1
1.2	Objetivo	3
1.3	Parámetros de estudio	4
2.	ANTECEDENTES	6
2.1	Consideraciones Generales	6
2.2	Factores que afectan el manejo de los de- sechos	7
2.3	Descripción de los métodos de manejo y -- disposición	8
3.	ASPECTOS PRINCIPALES DE LAS NORMAS MEXI-- CANAS PARA EL MANEJO DE DESECHOS SOLIDOS	11
3.1	Introducción	11
3.2	Normas técnicas para el estudio y análi-- sis de los residuos solidos municipales	12
3.3	El ciclo de los desechos sólidos	22
3.4	Sistemas de recolección	24
3.5	Diseño de microrutas	25
3.6	Métodos de tratamiento de los residuos -- sólidos en instalaciones centrales en la- República Mexicana	29
3.7	Prioridades marcadas por los ministerios- de salud de América Latina	36
3.8	Características básicas de una planta de- reciclaje y composteo con el máximo apro- vechamiento energético y el menor costo - de inversión para ciudades de medio y pe- queño tamaño	37

LOS RELLENOS SANITARIOS COMO PARTE DEL MANEJO DE LOS
DESECHOS SOLIDOS EN MEXICO

	CONTENIDO	PAGINA
4.	LOS RELLENOS SANITARIOS	48
4.1	Alternativas de disposición de basuras ..	48
4.2	Selección del sitio para Relleno Sanita-- rio	54
4.3	Proyecto del Relleno Sanitario	65
4.4	Operación del Relleno Sanitario	76
4.5	Equípos	78
4.6	Control del Relleno Sanitario	79
5.	CONCLUSIONES	85

1. INTRODUCCION

1.1 ASPECTOS HISTORICOS

La evolución de la especie humana ha sido lenta, infinitamente lenta. De una población que se calculaba en pocas decenas de miles de individuos, hace un millón de años, se pasó a varios millones hacia principios de la era cristiana. En la actualidad, los seres humanos somos ya cuatro mil millones, y en el próximo siglo habremos superado sin duda la cifra de -- nueve mil millones.

Ingenio y tenacidad, esos dos atributos que constituyen -- nuestro timbre de gloria, han permitido mejorar nuestro nivel de vida y limitar nuestra dependencia de las cadenas alimentarias naturales. La industrialización es, según se dice, la -- clave de la independencia total. Pero más bien se ha revelado como la causa del ambiente contaminado que nos rodea. La utilización desconsiderada de los carburantes fósiles para alimentar energía, industrias, calefacciones domésticas y motores de combustión interna, han permitido tal vez la elevación del nivel de vida en algunos países industrializados, pero, -- al mismo tiempo, nos hemos envenenado el medio ambiente, siendo la calidad misma de la vida la que sufre con ello.

Hasta ahora, los seres humanos apenas se han preocupado de un futuro donde habrá gente en todas partes. Ese futuro ha -- llegado ya, es el nuestro, el del año 2000. Los efectos de la superpoblación se hacen sentir universalmente, sobre todo en-

las regiones del globo en las que dicha expansión ha sido más desconsiderada.

Lagos, los ríos que drenan los continentes, son a la vez depósitos de agua potable, viveros, y vía de comunicación. Pero los cursos de agua, incansablemente, van fluyendo hacia el océano, precipitando en él todo lo que recogen. Transportando todos nuestros desechos desde la tierra al mar, bien se trate de pesticidas utilizados en agricultura o de los residuos industriales y urbanos.

Habiéndose apoderado la inquietud de los espíritus, la ecología aplicada empieza a dar sus frutos en el campo de la protección ambiental y de los océanos. Pero lo hecho hasta ahora para prevenir o remediar la contaminación es mínimo, a veces incluso peligroso. Pocos han sido en efecto, los que han comprendido verdaderamente la naturaleza y la amplitud del peligro. Gracias a las investigaciones modernas, el problema está por lo menos claramente planteado.

1.2 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es el de presentar de una manera clara y resumida la problemática que representa el manejo de los desechos sólidos municipales, así como, presentar los métodos de tratamiento existentes sobresaltando el uso de los rellenos sanitarios como parte importante del manejo y disposición final de los residuos sólidos.

También se ha recopilado información referente a las recomendaciones hechas en las normas mexicanas sobre manejo y disposición, así como, las recomendaciones e investigaciones que al respecto se han realizado en Estados Unidos y Brasil, sin dejar de considerar los estudios y proyectos efectuados en -- México.

En la actualidad el problema de la contaminación, ha venido tomando mayor significancia en el valle de México, ya que sus efectos han rebasado los límites actualmente tolerables por los organismos vivientes incluyéndonos los seres humanos. Dentro de los principales agentes contaminantes podemos enunciar los siguientes :El ruido, smog, la contaminación del agua y la contaminación causada por los desechos sólidos en las ciudades.

Cabe hacer mención a que el grado de contaminación causado, está determinado en gran parte por la cantidad y tipo de disposición que de los agentes contaminantes se haga, ya que existen muchos procedimientos para disminuir en un tanto más o menos los efectos dañinos que éstos causan.

Para poder seleccionar el mejor método de tratamiento de -- los desechos, será necesario hacer una cuantificación del tipo y composición de los residuos municipales. Por lo que se puede decir que el primer paso para enfrentar el problema de la contaminación, es el conocer exactamente las propiedades -- del mismo.

1.3 PARAMETROS DE ESTUDIO

Dentro de los problemas ocasionados por los desechos sólidos, podemos enumerar los siguientes:

- 1) La creación de severas enfermedades ocasionadas por la --transportación de la basura a través del aire.
- 2) La contaminación del aire, ocasionada por los humos que --se crean al quemar la basura, así como los restos volátiles --(cenizas) que afectan al sistema respiratorio.
- 3) La contaminación de la superficie de la tierra y agua, --ocasionada por los desechos sólidos ahí depositados.
- 4) La proliferación de molestias públicas ocasionadas por --olores y humos producidos.

Cabe aclarar que los problemas anteriores no solo se dan en las grandes ciudades, sino que también ven sus efectos dañi --nos en ciudades que apenas crecen y muy marcados en centros --industriales, así como puertos y lugares donde exista una --gran comunidad.

Como respuesta a los problemas anteriores, ciertos países --industrializados realizan investigaciones enfocadas a deter --minar una estrategia que englobe todos los problemas y acondi --cione todos los recursos con los que se cuenta, con el fin de maximizar los beneficios así obtenidos.

Algunas de las recomendaciones obtenidas en estos estudios --enfocan el análisis de las siguientes partes:

- A) Se debe conocer de una manera clara las cantidades de des --perdicios que se manejan, relacionándolos con su origen es de --cir, industrial, municipal, agropecuario, etc.
- B) Se debe seguir una metodología, así como contar con la in --dustria necesaria para aprovechar el potencial uso futuro de --los desechos sólidos.
- C) Determinar las ventajas ó desventajas que se presentan --por el manejo de desechos sólidos.
- D) Determinar cuales serán las regiones o localidades en las --que se llevará a cabo este control.

E) Con los datos anteriores, desarrollar perspectivas a futuro, acerca de la producción de desechos por localidades, municipios, industrias, etc.

F) Contar con el apoyo de instituciones para realizar estudios de salud, tanto a operadores, como a obreros que tienen contacto con los desechos, así como a las comunidades cercanas a los depósitos y zonas de tratamiento.

G) Estudiar con toda profundidad los efectos que los desechos producen sobre el suelo, agua y aire.

Finalmente para concluir esta introducción, daremos algunas de las clasificaciones más usuales de la basura de acuerdo con su origen, con lo cual es más fácil crear depósitos y tratamientos especiales de acuerdo al tipo de desecho que en ese momento se esté manejando.

La clasificación es la siguiente:

- a). Orgánica e inorgánica
- b). Putrescible y no putrescible
- c). Combustible y no combustible
- d). Por su origen semejante:
 - Familiar
 - Comercial
 - Institucional
 - Industrial
 - Agricultura

Adicionalmente se pueden dar otras clasificaciones, pero la anterior es de las más importantes.

2. ANTECEDENTES

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Empezaremos por definir el término de contaminación, ya que será este el propósito alrededor del cual adentraremos.

Contaminación.- Es aquel cambio Físico, Químico o Biológico de nuestro Aire, Tierra o Agua que nos es perjudicial ya que sus efectos alteran o cambian la forma de vida humana y animal.

Es conveniente decir que existen algunos procedimientos para la utilización y manejo de los desechos sólidos, algunos son menos efectivos y económicos que otros, por lo cual se ha tenido preferencia por algunos aunque no hayan sido los más adecuados.

Anteriormente (en la década pasada), se utilizaban indiscriminadamente procedimientos como el de arrojar basura hacia ríos y mares, en muchas localidades se quemaba la basura a cielo abierto, también se acostumbraba el depositarla por largo tiempo sin tratamiento previo en lugares cercanos a las zonas urbanas y que al crecer las mismas, envolvieron a las zonas de depósito, creando posteriormente focos infecciosos y de fuerte contaminación.

En el objetivo de esta investigación, se cubrirán de una manera sencilla los métodos de tratamiento existentes dando algunas de sus características importantes.

2.2 FACTORES QUE AFECTAN EL MANEJO DE LOS DESECHOS

Antes de seleccionar cual debe ser el procedimiento adecuado para el manejo de los desechos, se debe considerar que la ineficacia de alguno de los métodos, puede no ser inherente a su origen, es decir, se puede deber a factores externos como son: La incapacidad de los operadores y autoridades encargadas de desarrollar la metodología originalmente planeada. Algunas de las más frecuentes causas del fracaso de los trabajos han sido las siguientes:

- . Indisposición por parte de la autoridad y falta de cooperación.
- . Planeación inadecuada.
- . Normas inadecuadas.
- . Tecnología mal aplicada.
- . Falta de financiamiento.

Los puntos anteriores son fácilmente detectables ya que sus efectos son muy claros.

Muchas veces los planes son usados por algunos, como herramientas para realizar malos negocios, aunado lo anterior a planes erróneos y a que muchas veces las normas son muy generales, olvidando que cada localidad o comunidad son relativamente diferentes, propician ineficacia de los métodos.

Por lo mismo deben considerarse nuevos planes que cuiden -- por los puntos anteriores y que traten de establecer el mejor plan para cada tipo de comunidad.

Antes de planear cual será el destino ó depósito final de los desechos, será necesario contar con los vehículos y medios adecuados para realizar la recolección de la mejor manera posible, para lo cual es necesario realizar una serie de estudios complicados pero necesarios para poder manejar un plan global que enfoque aspectos económicos, administrativos y políticos además de los técnicos.

2.3 DESCRIPCION DE LOS METODOS DE MANEJO Y DISPOSICION

En la actualidad la disposición de los desechos está basada en los tratamientos que se conocen y en algunos otros nuevos que se están estudiando. Por lo que será conveniente analizar cada uno de éstos para mayor comprensión.

Se conocen las siguientes formas de disposición de desechos:

- a) Rellenos en tierra
- b) Incineración
- c) Composteo
- d) Reciclaje
- e) Disposición a través del sistema de alcantarillado
- f) Disposición en el mar
- g) Pirólisis
- h) Fabricación de alimento animal
- i) Quemaderos a cielo abierto
- j) Dispersión en campos

En ésta sección no se tratarán los incisos a, b, c, d y g - ya que serán estudiados con mayor profundidad en el capítulo siguiente.

- e) Disposición a través del sistema de alcantarillado:

Algunas basuras se pueden desechar moliéndolas y soltando - estos residuos al sistema de alcantarillado, para que finalmente lleguen a la planta de tratamiento de aguas negras, este tipo de tratamiento se les da a los desechos producidos en casas, restaurantes y supermercados.

El principio de la operación es el mismo para todos los desechos producidos en los lugares anteriores: La basura es separada de acuerdo al tipo que se puede tratar, se muelen en el aparato triturador los restos orgánicos agregándoles agua y se sueltan posteriormente al sistema de alcantarillado.

Lo único que se debe cuidar es la adecuada selección de la basura a ser molida para no producir daños al aparato triturador.

Ventajas del Método

- 1) Elimina el almacenamiento de la basura en el sitio
- 2) La cantidad de desechos putrescibles transportados por los camiones recolectores se reduce

3) Es conveniente para el que produce este tipo de desechos

Desventajas del Método

- 1) Incremento en la carga sobre el sistema de alcantarillado y en las facilidades para su tratamiento
 - 2) Incremento en la contaminación del agua para su tratamiento
 - 3) Alto costo por unidad de agua tratada
- f) Disposición en el mar:

Este es un método de disposición no aceptado generalmente, - aunque algún tipo de desecho pudiera ser arrojado o lanzado - lejos de las playas, este regresa por lo general causando daños a las mismas con los consecuentes efectos estéticos, además se debe considerar que el arrojar cualquier clase de desecho provoca un incremento en la contaminación del agua oceánica, por lo que en la actualidad se está tratando de erradicar su uso en todas las localidades en las que aún se encuentra.

Sólo cierto tipo de desechos son virtualmente poco peligrosos en el mar, los cuales pueden ser los producidos por la -- propia pesca o algún tipo de residuo agrícola, todo lo anterior sin rebasar la capacidad de autodepuración del mar.

h) Fabricación de alimento animal:

La gran cantidad de basura que servía para dar de comer a - los cerdos ha decrecido enormemente en los años recientes debido a las nuevas regulaciones respecto del tipo de desperdicio que utilizaban.

Estas especificaciones marcan que los desechos deben ser sometidos a un proceso de cocción durante treinta minutos como mínimo a temperaturas equivalentes a los 212°F (100°C).

Normalmente este tipo de desperdicios es compuesto por vegetales y frutas que sirven para alimento del ganado, los cuales son distribuidos en el campo sobre el cual pastan los mis mos.

i) Quemaderos a cielo abierto:

Actualmente todavía una gran cantidad de desechos son dis- puestos por medio de la incineración. Principalmente este método es usado en zonas donde se producen restos vegetales o -

de agricultura para reducir la cantidad de materia así como - cualquier tipo de restos orgánicos producidos durante la cosecha.

Desechos especiales como los neumáticos de los automóviles - frecuentemente son quemados debido a la dificultad que presentan para su manejo. Los automóviles también son quemados para remover toda la pintura y partes combustibles para facilitar el uso posterior del acero.

Los quemaderos a cielo abierto son uno de los métodos de -- disposición que más daños ambientales causan, debido a la producción y disipación de gases y humos a la atmósfera.

j) Dispersión en campos:

El estiércol agrícola de algunos desechos fabriles son a menudo dispuestos o propagados en campos de agricultura y arados eventualmente en el suelo.

En algunos casos se trata de basura de comida procesada, para darle de comer a los animales en donde es depositada. Esta práctica desafortunadamente tiene algunas desventajas como -- son la aparición de insectos, roedores y olores así como la contaminación de algunos ríos o corrientes.

El objetivo de este método es el de propagar los restos orgánicos sobre el suelo en capas delgadas para permitir su rápido secado y pérdida de humedad.

3. ASPECTOS PRINCIPALES DE LAS NORMAS MEXICANAS PARA EL MANEJO DE DESECHOS SOLIDOS

3.1 INTRODUCCIÓN

La Dirección General de Normas de acuerdo con ciertos organismos oficiales principalmente la Secretaría de Ecología y - el Departamento del Distrito Federal; actualmente se encuentran elaborando una serie de Normas para el adecuado estudio y análisis de los residuos sólidos generados en todas las localidades del país.

Debido a que tales Normas, están actualmente en revisión, - actualización, preparación ó a nivel de anteproyecto, su aprobación oficial demorará algún tiempo.

Por lo anterior y en vista de las dificultades que han tenido las compañías contratistas; la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, ha decidido publicar una versión preliminar de algunas Normas, para subsanar los inconvenientes antes comentados; ya que los cambios - que pudieran sufrir, se consideran más de forma que de fondo.

A continuación se presenta una síntesis de la correspondencia entre el Código empleado por la Dirección General de Normas y el establecido por SEDUE, para las Normas que se consideraron necesarias para su empleo por parte de las compañías contratistas.

Es tan amplia la gama de áreas involucradas en el tema del medio ambiente, que en la exposición que nos ocupa, solo nos referiremos a lo relacionado con el saneamiento urbano y fundamentalmente al área de residuos sólidos.

3.2 NORMAS TECNICAS PARA EL ESTUDIO Y ANALISIS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

3.2.1 NTRS-1 TERMINOLOGIA

- Contaminante: Todo elemento, material, sustancia, compuesto así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruidos que al incorporarse o actuar en cualquier elemento del medio físico, alteran o modifican su estado y composición; o bien, afectan la flora, la fauna, o la salud humana, debe entenderse como medio físico al suelo aire y agua.
- Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumos, utilización o tratamiento, cuya calidad no permite incluirlo nuevamente en el proceso que lo generó.
- Residuo sólido municipal: Aquellos que se generan en: casa habitación, parques, jardines, vía pública, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes muebles, demoliciones, construcciones, instituciones, establecimientos de servicio y en general todos aquellos generados en actividades municipales que no requieren técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación.
- Almacenamiento: La acción de retener temporalmente los residuos sólidos en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección, o se disponen.
- Características F: Propiedades que definen el estado de la materia que constituye a todo residuo sólido, así como aquellas que no alteran o modifican su naturaleza y composición. Los parámetros más empleados para determinarlas son: densidad, humedad y poder calorífico.
- Disposición final: El depósito permanente de los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar daños a los ecosistemas.

- . Características químicas: Propiedades que definen la potencialidad de la materia contenida en todo tipo de residuos sólidos para transformarse, cambiar su energía o alterar su estado. Los parámetros más empleados para determinarlas son: pH, contenido orgánico total, carbono total, fósforo total, nitrógeno total, relación carbono nitrógeno, cenizas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, azufre, sales, ácidos, bases y metales pesados.
- . Características biológicas: Contenido de organismos en los residuos sólidos, medido a través de indicadores, tales como: número más probable (nmp), cuenta en placas y resultado de ensayos biológicos.

3.2.2 NTRS-2 GENERACION

.. Esta Norma técnica, establece el método para determinar la generación per-capita de residuos sólidos municipales a partir de observaciones en campo. Para efectos de aplicación de esta Norma los residuos sólidos municipales se subdividen en domésticos, que son los generados en casas habitación y en no domésticos.

Procedimiento.- Este parámetro se obtiene con base en la generación promedio de residuos sólidos por habitante, medido en kg/hab-día, a partir de la información obtenida de un muestreo aleatorio en campo, de cada una de los estratos socio-económicos de la población por analizar.

3.2.3 NTRS-3 MUESTREO-METODO DE CUARTEO

Esta Norma técnica, establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio.

Para aquellos residuos sólidos de características homogéneas no se requiere seguir el procedimiento descrito en esta Norma

Método de cuarteo.- Para el cuarteo, la muestra debe ser representativa de la zona o estrato socio-económico del área en estudio, obtenida según NTRS-2.

Con las muestras obtenidas anteriormente, se forma un montón de aproximadamente 250 bolsas en un área de 4x4 mts. y se

parte en 4 partes, eliminándose dos opuestas, así se sigue el procedimiento, hasta dejar unos 50 kg. Del primer cuarteo se toma una muestra para laboratorio (de las partes que fueron - eliminadas), esta muestra deberá ser de 10 kg y su tiempo de transporte al laboratorio no exederá de 8 hrs. La muestra se tapará para evitar que pierda su humedad al exponerla al medio ambiente.

3.2.4 NTRS-4 PESO VOLUMETRICO EN EL SITIO, "IN-SITU"

Esta Norma técnica, establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar en el que se efectuó la operación de "cuarteo".

Para determinar el peso volumétrico "in-situ", se toman los residuos eliminados de la primera operación de cuarteo, la cual se realiza según NTRS-3.

La operación se realiza basada en el principio del peso volumétrico:

$$Pv = P/Vol \quad (Kg/m^3)$$

3.2.5 NTRS-5 SELECCION Y CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS

Esta Norma técnica establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los residuos sólidos municipales.

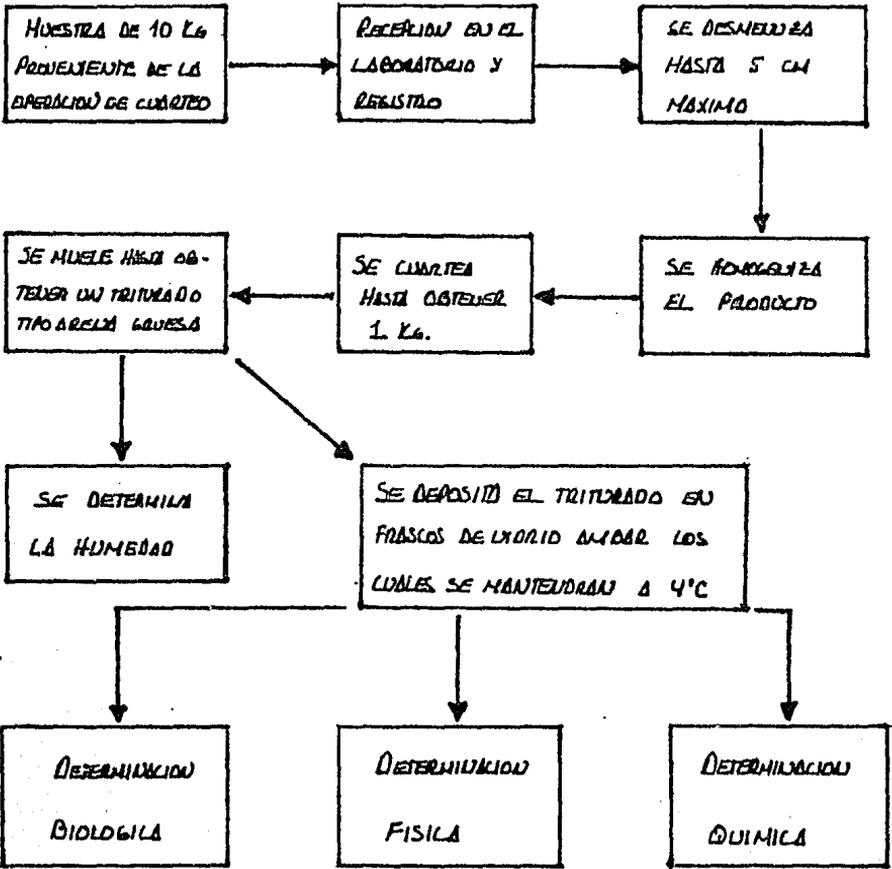
La muestra se extrae como se establece en la NTRS-3, y se toman como mínimo 50, procedentes de las áreas del último - cuarteo que no fueron eliminadas. (50 kg).

Con la muestra ya obtenida se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotarlos, de acuerdo con la clasificación establecida (ver cédula de campo para selección y cuantificación). Los resultados se darán en porcentaje con un margen de error del 2% como máximo, (respecto del total), debido principalmente a la liberación o admisión de humedad, así como a las pérdidas del residuo fino.

3.2.6 NTRS-6 PREPARACION DE MUESTRAS EN LABORATORIO PARA SU ANALISIS

La presente Norma técnica, establece el método de prepara--

DIAGRAMA PARA LA DETERMINACION DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO



ción de muestras en el laboratorio para su análisis.

3.2.7 NTRS-7 DETERMINACION DE HUMEDAD

Esta Norma técnica establece el método llamado de Estufa -- que determina el porcentaje de humedad, contenido en los residuos sólidos municipales; se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra cuando se somete a las condiciones de tiempo y temperatura que se establecen en esta Norma, considerando que dicha pérdida se origina por la eliminación de agua.

De la muestra obtenida y preparada según NTRS-6, se toma el espécimen en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado. La muestra se someterá a un aumento de temperatura en la estufa hasta los 392°k durante 2 horas, de aquí se pasa a un desecador durante 2 horas como mínimo hasta obtener peso constante, entonces ya se podrá determinar la humedad.

El porcentaje de humedad se calcula como:

$$H = \frac{G - G_1}{G} \times 100$$

donde

H = Humedad en porcentaje

G = Peso de la muestra húmeda en gramos

G1= Peso de la muestra seca en gramos

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado, no debe ser mayor al 1% en caso contrario se recomienda repetir la operación.

3.2.8 NTRS-8 DETERMINACION DEL PH METODO POTENCIOMETRICO

La presente Norma establece el método potenciométrico para la determinación del pH en los residuos sólidos. El cual se basa en la actividad de los iones hidrógenos presentes en una solución acuosa de residuos sólidos al 10%.

De la muestra obtenida y preparada según NTRS-6, se toma un espécimen de 20 g para realizar la determinación por duplicado.

Se calibra el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH, según sea el tipo de residuos por analizar, se sigue un procedimiento químico establecido para lograr la reac-

ción, el valor del pH de la solución será, el valor de la lectura en la carátula del potenciómetro, cuando los electrodos para medir la reacción se sumergen en ella.

La diferencia máxima en las pruebas no debe exceder 0.1 unidades de pH.

Materiales y Reactivos:

Solución amortiguadora pH = 4

Solución amortiguadora pH = 7

Solución amortiguadora pH = 11

Agua destilada

3.2.9 NTRS-9 DETERMINACION DE CENIZAS

Esta Norma técnica establece el método para la determinación de cenizas en los residuos sólidos municipales.

De la muestra obtenida y preparada según NTRS-6, se toma el espécimen en cantidad suficiente para efectuar la determinación por separado (duplicado).

La muestra se seca en el horno hasta obtener peso constante a 333°k (60°c) y se enfría en el desecador.

Se pone a peso constante el crisol a 473°k (200°c) durante 2 horas, se enfría en el desecador y se pesa.

Se toman 20g de la muestra seca al crisol y se pesa.

Se calcina en la mufla a 1073°k (800°c) hasta obtener peso constante.

El porcentaje de cenizas en base seca se calcula con la siguiente expresión:

$$C = \frac{G3 - G1}{G2 - G1} \times 100$$

donde

C = Porcentaje de cenizas en base seca

G1 = Peso del crisol vacío, en g (recipiente)

G2 = Peso del crisol mas la muestra seca, en g

G3 = Peso del crisol mas la muestra calcinada, en g.

La diferencia máxima entre pruebas deberá ser menor del 1%, de lo contrario se recomienda repetir la prueba.

A continuación presentamos algunas de las cédulas de campo que se utilizan para la recolección de información y realización de las pruebas de laboratorio.

CEDULA DE ENCUESTA DE CAMPO PARA EL MUESTREO DE GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS DOMESTICOS.

N° DE MUESTRA _____ N° ALEATORIO _____

POBLACION _____ MUNICIPIO O DELEG. _____ ENTIDAD FED. _____

CALLE _____ NUM. _____ C.P. _____

COLONIA _____ NIVEL SOCIOECONOMICO _____

HAB. POR CASA _____ FREC. DE REC. _____ TIPO DE RECIPIENTE _____

¿ QUE HACE CON LOS RESIDUOS SOLIDOS SI NO PASA EL CAMION ? _____

SU OPINION SOBRE EL SERVICIO DE RECOLECCION BUENA ___ MALA ___ REG _____

NOMBRE DEL ENCUESTADOR _____

PUESTO QUE DESEMPEÑA _____

INSTITUCION O EMPRESA _____

N°	FECHA	DIA	PESO DE LOS RESIDUOS (KGS)	GENERACION PER-CAPITA (Kg/Hab/Dfa)	OBSERVACIONES
1		LUNES			
2		MARTES			
3		MIERCOLES			
4		JUEVES			
5		VIERNES			
6		SABADO			
7		DOMINGO			

CEDULA DE CAMPO PARA EL CUARTEO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Nº de Folio _____

Localidad _____ Municipio _____ Estado _____

Fecha y hora del Cuarteo _____

Procedencia de la Muestra _____

Condiciones Climatológicas Imperantes Durante el Cuarteo (Describe):

Cantidad de Residuos Sólidos para el Cuarteo _____

Cantidad de Residuos Sólidos para la Selección de Subproductos _____

Cantidad de Residuos Sólidos para los Análisis Físicos, Químicos y Biológicos.- _____

Responsable del Cuarteo:

Nombre _____ Cargo _____

Dependencia o Institución _____

Observaciones _____

CEDULA DE CAMPO PARA LA DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO
"IN-SITU" DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.

Localidad _____ Municipio _____ Estado _____

Fecha y hora de la determinación: _____

Estrato socioeconómico muestreado: _____

Capacidad del recipiente: _____ M³

Tara del recipiente: _____ Kg

Capacidad del recipiente, tomada para la determinación _____ M³

Peso bruto (peso del recipiente con residuos sólidos) _____ Kg

Peso neto de los residuos sólidos (peso bruto-tara) _____
_____ Kg

Peso volumétrico "in-situ", de los residuos sólidos _____ Kg/M³

Responsable de la determinación.

Nombre: _____ Cargo _____

Dependencia ó institución _____

Observaciones: _____

CEDULA DE CAMPO PARA LA SELECCION Y CUANTIFICACION DE LOS SUBPRODUCTOS CONTENIDOS EN LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.

Localidad _____ Municipio _____ Estado _____
 Fecha y hora de análisis _____ Peso de la muestra _____
 Estrato socioeconómico _____ Tara de las bolsas _____
 Responsable del análisis _____ Dependencia ó instituc. _____

N°	SUBPRODUCTOS	PESO EN Kg	% EN PESO	OBSERVACIONES
1	ALGODON			
2	CARTON			
3	CUERO			
4	RESIDUO FINO (TODO MATERIAL QUE PASE LA CRIBA DGN N°10 (2 mm))			
5	ENVASES DE CARTON ENCERADO			
6	FIBRA DURA VEGETAL (esclerénquima)			
7	FIBRAS SINTETICAS			
8	HUESO			
9	HULE			
10	LATA			
11	LOZA Y CERAMICA			
12	MADERA			
13	MATERIAL DE CONSTRUCCION			
14	MATERIAL FERROSO			
15	MATERIAL NO-FERROSO			
16	PAPEL			
17	PAÑAL DESECHABLE			
18	PLASTICO DE PELICULA			
19	PLASTICO RIGIDO			
20	POLIURETANO			
21	POLIESTIRENO EXPANDIDO			
22	RESIDUOS DE JARDINERIA			
23	RESIDUOS ALIMENTICIOS			
24	TRAPO			
25	VIDRIO DE COLOR			
26	VIDRIO TRANSPARENTE			
27	OTROS			

3.3 EL CICLO DE LOS DESECHOS SOLIDOS

El hombre, por sus actividades biológicas o de producción de satisfactores, produce desechos o residuos en tres formas principales; gaseosos, líquidos o sólidos. La naturaleza tiene cierta capacidad para aceptar estos residuos y reintegrarlos a su ciclo sin causar mayores problemas al hombre o al medio ambiente.

Cuando esta capacidad receptora se ve excedida, se producen los problemas ecológicos irreversibles, de todos conocidos.

Una de las funciones de la Ingeniería Sanitaria consiste precisamente en determinar los métodos adecuados para tratar y disponer de los desechos impidiendo descargas contaminantes que produzcan daños a la naturaleza.

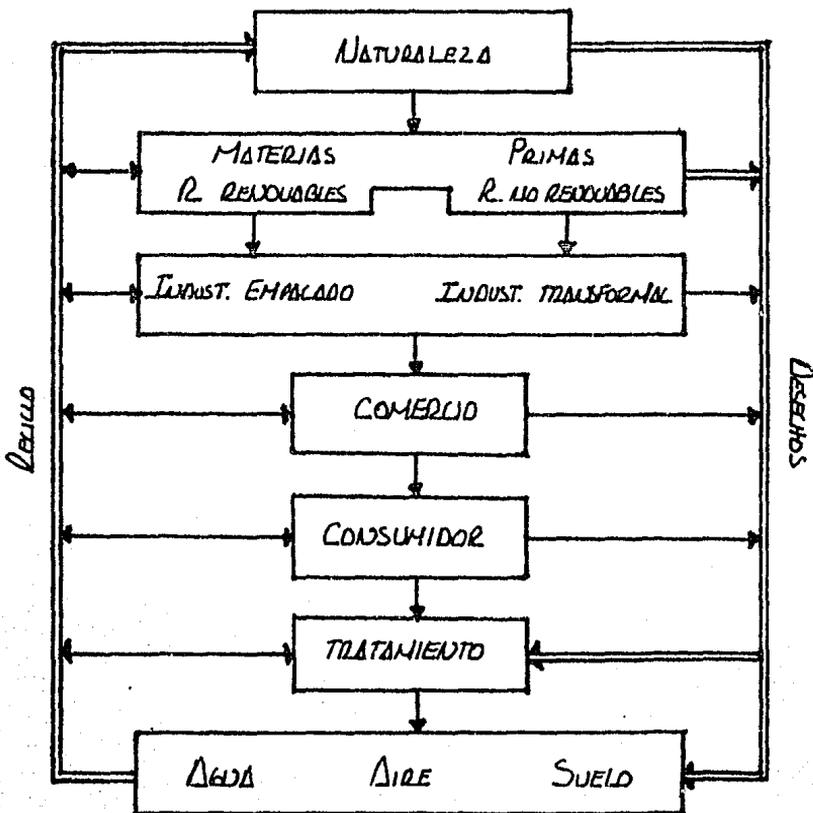
El ciclo que se muestra en la figura, ilustra de un modo general los puntos en donde se producen desechos sólidos y su flujo, ya sea para el reciclaje o el rehuso de los residuos o bien para la reintegración sanitaria de los mismos a la naturaleza.

El ciclo mostrado es válido no solo para los desechos sólidos, sino que es general para los residuos líquidos y gaseosos. En el caso particular de los desechos sólidos el técnico en esta materia tiene como objetivos:

- a) Evaluar la cantidad de desechos generados en cada una de las etapas del ciclo y determinar sus principales características, como son: composición, peso volumétrico, putrescibilidad y otros parámetros importantes para su manejo y disposición final.
- b) Establecer métodos de almacenamiento apropiados para contener sanitariamente la basura, desde el momento de su generación hasta que sea recolectada por los vehículos del servicio de limpieza.
- c) Diseñar el sistema de recolección adecuado para cada caso, seleccionando el equipo, rutas y métodos adecuados.
- d) Diseñar el transporte de las basuras desde su punto de recolección hasta los sitios de transbordo o disposición, minimizando los costos por este concepto.

e) Reintegrar los residuos al ciclo industrial o a la naturaleza, de una manera sanitaria que cause el menor impacto posible sobre la salud del hombre o del medio ambiente.

CICLO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS



3.4 SISTEMAS DE RECOLECCION

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

La prestación del servicio de recolección es una de las partes más caras de un sistema de manejo de basuras y una de las que presenta mayores oportunidades para la minimización de costos. El costo de tonelada movida por este concepto es -- aproximadamente del 90% del costo total del manejo, cuando se tiene una disposición final higiénica. Uno de los factores -- que más influyen sobre el sistema es la frecuencia de recolección, la cual deberá preveer que el volumen acumulado de basura no sea excesivo, y que el tiempo transcurrido desde la generación hasta la disposición final no exceda el ciclo de reproducción de la mosca, que varía según el clima de 7 a 10 -- días.

3.4.1 METODOS DE RECOLECCION

Los métodos de recolección más comunes se describen a continuación.

- a) **Recolección de Esquina.-** Es el método más barato, en el que los usuarios llevan sus recipientes hasta el sitio en que se encuentra estacionado el camión para entregarlos a los operarios. Presenta la desventaja de que siempre tiene que haber una persona en la casa atenta al paso del camión y cuando por alguna razón no la hay, la basura se acumula en exceso de la capacidad de los recipientes, existiendo el riesgo de que sea arrojada clandestinamente.
- b) **Recolección de Acera.-** En este método sólo se usan camiones con carrocería de carga trasera. Consiste en que el camión circula a una velocidad muy baja en ambos sentidos de la calle, donde los usuarios depositan sus recipientes sobre la banqueta; los operarios los recogen, vacían y regresan al mismo sitio, de donde los usuarios los introducen ya vacíos a sus casas. Este método requiere de un civismo alto entre la gente y presenta el inconveniente de los animales callejeros que se ven atraídos por los recipientes en las calles.

c) Recolección de llevar y traer.- Es parecido al método -- anterior con la variante de que el operario entra hasta los predios por la basura, regresando el recipiente al mismo -- sitio.

Los dos métodos anteriores, aunque presentan un nivel de servicio superior, son más costosos debido a que el manejo de los recipientes consume mucho tiempo en ruta.

d) Recolección con contenedores.- Es el mejor método de recolección para centros de gran generación como podrían ser: Hoteles, Mercados, Centros Comerciales, Hospitales, Industrias, etc. La localización de los contenedores deberá ser de tal forma que el vehículo recolector tenga un fácil acceso y pueda realizar las maniobras sin problemas.

3.5 DISEÑO DE MICRORUTAS (Aspectos)

Una fase importantísima de cualquier sistema de recolección de residuos sólidos, es la que comunmente se conoce como microruteo, el cual no es otra cosa que el recorrido específico que deben cumplir diariamente los vehículos recolectores en los sectores de la localidad donde han sido asignados; con el fin de recolectar en la mejor forma posible los residuos generados por los habitantes de dicho sector.

El diseño de microrutas, debe hacerse con base en una serie de factores variables de acuerdo con la localidad en cuestión los cuales se enuncian a continuación:

- . Traza urbana de la localidad
- . Topografía de la localidad
- . Ancho y tipo de las calles
- . Método de recolección
- . Equipo de recolección
- . Densidad de población
- . Generación de residuos sólidos

Ahora bien, cabe aclarar que un mal diseño de la microruta de recolección, trae aparejados graves problemas y daños al sistema de recolección, entre los cuales, se pueden citar los

siguientes: Desperdicio del equipo y personal de la recolección de los residuos; reducción en la cobertura del servicio de recolección; incremento de los costos del servicio de lim pia y por último la proliferación de tiraderos clandestinos a cielo abierto en diferentes puntos de la localidad.

Por todo lo anterior, se deberá poner especial interés en diseñar adecuadamente las microrutas de recolección de basuras para cualquier localidad, si se pretende operar un servicio de recolección eficiente.

Los tres métodos para el diseño de microrutas de recolección de residuos sólidos son los siguientes:

- a) Diseño de microrutas con base en la experiencia y juicio del proyectista.
- b) Métodos Heurísticos.
- c) Modelos Determinísticos.

- o Diseño de microrutas con base en la experiencia y juicio del proyectista:

En la mayoría de los casos quien determina la ruta de recolección, no es el proyectista, sino el jefe de limpia o choferes recolectores, aunado a lo anterior, está el hecho que generalmente estas rutas atienden a casas y comercios en los que reciben buena paga.

- o Métodos Heurísticos:

Son aproximados y se basan generalmente en el sentido común del proyectista y en ciertas reglas de "dedo". Aparentemente, requiere de un mínimo de tiempo, recursos económicos y materiales, además de que varios autores consideran que son adaptables a un amplio rango de problemas.

Las reglas de dedo son:

- . Sentido de circulación.
- . Minimizar vueltas a la izquierda
- . Iniciar la ruta lo más cercano al lugar de encierro
- . Eliminar vueltas en U
- . Evitar la recolección en calles de tránsito parado durante horas pico

- o Modelos Determinísticos:

Son los más recomendables ya que en ellos, se pueden invo-

lucrar todos los parámetros que con cierto peso inciden en el diseño de las rutas de recolección. Además con este tipo de métodos; sí se obtienen rutas óptimas de recolección de basura. Ahora bien, dos de los más importantes métodos determinísticos para el diseño de las microrutas, son los siguientes algoritmos:

- Algoritmo de Little para resolver el problema del agente-viajero.
- Algoritmo del Cartero Chino.

El primero de ellos se aplica en los casos en que la demanda es discreta; y el segundo, es ideal para los casos en que la demanda es continua o semicontinua.

De acuerdo con esto último, el algoritmo que resuelve el problema del agente viajero, se deberá emplear cuando el método de recolección es exclusivamente de esquina o para fija; mientras que el algoritmo del cartero chino, se utilizará para diseñar las rutas cuando se cuente en la localidad con un método de recolección tipo acera o intradomiciliaria o bien alguna de sus variantes.

3.5.1 REGLAS BASICAS PARA EL DISEÑO DE MICRORUTAS

Algo que sí se mencionará sobre el diseño de microrutas serán algunas recomendaciones que se consideran necesarias para optimizar el sistema de recolección, algunas de las cuales son las siguientes:

- El diseño de rutas trata de aumentar la distancia productiva en relación a la distancia total.
- Los recorridos no deben fragmentarse ni traslaparse. Cada uno debe consistir en tramos que queden dentro de la misma área de la ciudad.
- El comienzo de una ruta debe estar cerca del garage y el término cerca del lugar de disposición de residuos sólidos
- En lugares con colinas o fuertes desniveles del terreno el recorrido debe procurar hacerse desde la parte alta hacia la baja. Si se presentan hondonadas, que hay que bajar y luego que subir, hay que procurar atenderlas al comienzo de un viaje, cuando el camión va con poca carga.
- En lo posible, hay que tratar de recoger simultáneamente -

ambos costados de la calle. Sin embargo, ello no es recomendable en avenidas muy anchas o con mucho tránsito.

- Debe respetarse el sentido de circulación y la prohibición de ciertos virajes.
- Conviene evitar los giros a la izquierda y las vueltas en U porque hacen perder tiempo, son peligrosas y obstaculizan el tránsito.
- Calles con mucho tránsito deben recorrerse en las horas en que este disminuye.
- Cuando hay estacionamiento de vehículos, hay que procurar efectuar la recolección en los momentos en que la vía esté más despejada.
- En caso de calles muy cortas o sin salida, es preferible que los camiones recolectores no entren en ellas, sino que esperen en la esquina y que el personal vaya a buscar los receptáculos con basura, esto economiza mucho tiempo.
- Cuando la recolección se hace simultáneamente a ambos lados de la calle, son preferibles recorridos largos y rectos, con pocas vueltas.
- Cuando la recolección se hace primero por un lado de la calle y después por el otro, generalmente es mejor tener recorridos con muchas vueltas a la derecha, alrededor de manzanas.
- Es preciso conocer muy bien las características propias de la ciudad para que las rutas de los camiones recolectores no creen problemas de ningún tipo.

3.6 METODOS DE TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN INSTALACIONES CENTRALES EN LA REPUBLICA MEXICANA

Dentro de los métodos de tratamiento que más se practican en la actualidad están los siguientes:

I) PIROLISIS

La pirólisis se define como la descomposición físico-química del material orgánico constituyente en los residuos sólidos por la acción del calor, todo esto realizado en una atmósfera deficiente en oxígeno.

Por medio de la pirólisis la materia orgánica contenida en los residuos sólidos se transforma en tres subproductos que son:

- a) Un residuo sólido compuesto principalmente de carbón, cenizas y metales. El carbón tiene un poder calorífico de - - - 12,000 btu/libra y la cantidad de metal depende de la composición de los residuos y del grado de separación que se haya tenido.
- b) Un producto líquido compuesto de agua y mezclas orgánicas tales como alcohol metílico, alquil, alcohol, metil acetona y oleos de acetato y alquitrán.
- c) Un gas de bajo valor calorífico compuesto principalmente de CO_2 , CO , N_2 , y CH_4 en una mezcla con un poder calorífico de 3500 a 6500 Kcal-kg.

La forma y las características de la fracción combustible varía para cada uno de los procesos que se están desarrollando en la actualidad y es función del tiempo de reacción, de la temperatura, de la presión en el reactor pirolítico, del tamaño de las partículas y de la presencia de catalizadores y combustibles auxiliares.

La pirólisis de residuos municipales se efectúa en reactores diseñados especialmente para procesar estos materiales, - un tipo patentado de estos reactores consta de una retorta calentada con gas, hermética y revestida con una chaqueta bien aislada.

Esta retorta gira lentamente y tiene una pequeña inclinación en el sentido de la alimentación hacia la descarga. Los

residuos son alimentados a través de un sello que abre intermitentemente, y son sometidos dentro de la retorta a temperaturas de 600 a 1400°C. En una atmósfera libre de oxígeno. Al estar en ausencia de oxígeno los materiales no entran en combustión propiamente dicha y son descompuestos en sólidos, líquidos y gases.

La producción de gases en el reactor es aproximadamente $1.56 \text{ m}^3/\text{kg}$ de residuo alimentado.

Los reactores tienen tamaños que van de 250 Kg por hora hasta 12,000 Kg por hora; y el ciclo desde la alimentación a la descarga dura entre 12 y 15 minutos.

En la pirólisis, contrariamente a lo que sucede en la incineración, la reacción que se lleva a cabo es del tipo endotérmica, el calor aplicado a los residuos es con el fin de destilar los compuestos volátiles.

En la actualidad la pirólisis ha sido solamente usada para residuos sólidos municipales, no existe mucha experiencia en el caso de pirólisis de residuos sólidos tóxicos. Sin embargo la pirólisis también presenta una alternativa de tratamiento para los residuos tóxicos que contengan una parte considerable de materia orgánica.

Como un ejemplo de este proceso podemos citar que en los E.U., existen actualmente cerca de 15 sistemas de pirólisis en desarrollo, los cuales en su mayoría han tenido buenos resultados.

En resumen la pirólisis puede llegar a ser una solución muy atractiva para el tratamiento de los residuos sólidos municipales, ya que aunque el proceso requiere altos costos de inversión y operación su efectividad desde el punto de vista de la reducción de volumen, producción de alimentos útiles, mínima contaminación atmosférica y una posibilidad de ingresos económicos puede llegar a generalizar su uso futuro.

II) INCINERACION

La eliminación de los residuos sólidos a través del proceso de incineración comprende una serie de etapas más o menos complejas.

Las plantas de incineración bien proyectadas representan -- una muy buena solución, desde el punto de vista sanitario, pa -- ra tratar los residuos sólidos de una localidad. Todas las -- bacterias e insectos se destruyen en forma rápida, como tam -- bién se eliminan en forma muy satisfactoria las materias com -- bustibles contenidas en los residuos.

La incineración presenta el inconveniente de dejar un resi -- duo de cenizas y escoria del 10% del volumen inicial, así co -- mo los componentes no combustibles, que tienen que eliminar -- se posteriormente en forma adecuada mediante Relleno Sanita -- rio.

En la actualidad es posible aprovechar parte de la energía -- calorífica disponible en los residuos a través de un horno -- incinerador bien diseñado, proyectado y operado, siempre que -- el contenido de humedad, cenizas y el calor de combustión de -- los residuos así lo permitan, energía que puede ser usada con -- propósitos municipales, industriales o domésticos. Sin embar -- go existen diversas razones por las cuales los hornos incine -- radores solamente se aconsejan para algunas ciudades. Circun -- stancias tales como la elevada inversión inicial y los altos -- costos de operación han obligado a dejar fuera de uso a inci -- neradores en funcionamiento; además, los municipios de nues -- tro país no están en posibilidades de realizar este tipo de -- inversiones.

Otro inconveniente que presentan los incineradores es el -- problema de la contaminación atmosférica al emitir el humo y -- gases producto de la combustión de los residuos sólidos. A -- continuación se señalan una serie de factores que limitan la -- implantación de incineradores:

- a) Bajo calor de combustión y el alto porcentaje de humedad -- en los residuos, son inconvenientes que pueden subsanarse -- mediante precalentamiento del aire, presecado de los resi -- duos y mediante la utilización de combustibles adicionales.
- b) Alto contenido de materias vegetales, lo que ocasiona, si -- la operación del horno no es satisfactoria, un residuo con -- algún contenido de materia orgánica susceptible de entrar -- en descomposición.

- c) Naturalmente, en el proceso de la incineración, se alimentan al horno la totalidad de los residuos generados, sin recuperación de los materiales que puedan tener cierto valor comercial.
- d) Las condiciones de vida de una población pueden cambiar - apreciablemente a lo largo del tiempo, y pueden transformar una planta apropiada para operar en forma satisfactoria en el presente; en una planta inapropiada para la incineración de los residuos sólidos en el futuro.

III) COMPOSTEO

El tratamiento de los residuos sólidos a través de la digestión bacteriana es un método que en términos generales se define como la descomposición biológica de la materia orgánica tendiente a obtener su humus estabilizado.

Este método consiste en someter a la parte orgánica de los residuos a la acción bioquímica de los organismos y microorganismos, de una manera controlada técnicamente, con el objeto de estabilizar la parte de fácil biodegradación. La descomposición puede realizarse en condiciones acrobias, es decir, en presencia de oxígeno o anacrobias en ausencia de este. Las condiciones aerobias son las más aconsejables, ya que el tiempo requerido para el proceso se reduce considerablemente. Este tratamiento no presenta el problema derivado de los olores y gases.

El proceso puede realizarse a temperaturas mesofílicas que son aproximadamente entre 26° a 45° c, o termofílicas de 60° a 80° c. En la práctica, la mayor parte de los procesos se efectúan a temperaturas termofílicas por lo que el producto final es inocuo desde el punto de vista de gérmenes patógenos.

El producto resultante, es un mejorador orgánico de suelos de color café grisáceo y ligero olor a tierra húmeda. Su contenido de nutrientes varía según la tabla siguiente:

Nitrógeno	0.4 - 1.5%
Fósforo	0.2 - 0.8%
Potasio	0.4 - 1.2%
Calcio	2.0 - 8.0%

Este producto resultante puede utilizarse para los siguientes fines:

- a) Mejorar suelos desgastados o carentes de materia orgánica.
- b) Mejorar las características físicas en los suelos arenosos o arcillosos.
- c) Mejorar los cultivos finos tales como floricultura, fruticultura y otros.
- d) Uso para parques y jardines municipales.
- e) Agricultura en general.

Todo método de digestión bacteriana debe tender a reunir los requisitos para que el proceso sea lo más rápido, completo y sanitario posible, con base en los siguientes fundamentos.

- Posibilidad de extracción de algunas materias no digeribles como vidrio, loza, etc.
- Mezcla uniforme de los residuos y elementos orgánicos.
- Preparación de la mezcla de modo que presente las mayores facilidades para la invasión y el desarrollo de bacterias y microorganismos.
- Periodo de descomposición y estabilización en condiciones óptimas.

En lo que respecta a la localización de la planta de composteo, se recomienda que se haga en una área que cuente con buenas vías de acceso, electrificación, agua y en general todos los servicios municipales. De preferencia deberá estar localizada cerca de los principales centros generadores de residuos sólidos, para con esto minimizar los costos de recolección y transporte. Así mismo deberá estar localizada en un lugar de tal modo que los vientos dominantes alejen el olor de la ciudad, previniendo una mala operación temporal de la planta.

Deberá preverse la operación de un pequeño Relleno Sanitario, tanto para los rechazos producidos por la propia planta y para los excedentes de residuos sólidos que la planta no sea capaz de procesar.

De realizarse el establecimiento de una planta de composteo las personas interesadas, deberán efectuar análisis físicos y químicos de los residuos a procesar con la finalidad de caracterizar estadísticamente los subproductos reciclables que pudieran obtenerse de los residuos.

IV) RECICLAJE

El reciclaje es el concepto que implica la devolución al ciclo de consumo de materiales terminados, intermedios o subproductos que se generan en el ciclo habitual de la transformación de recursos naturales en bienes de consumo. Se considerarán dos variantes dentro del reciclaje.

a) Reciclaje Directo

El aprovechamiento directo de materiales recuperables sin sufrir alteraciones importantes en su estado físico, composición química o estado biológico.

Ejemplos:

- Utilización de los materiales recuperables.
- Utilización del vidrio en la industria cristalera.
- Utilización del papel recuperado para fabricación de pasta de papel.
- Reutilización del plástico.

b) Reciclaje Indirecto

El aprovechamiento de los materiales recuperados sometidos a una transformación, permitiendo su utilización en forma distinta a su origen.

Ejemplos:

- Utilización del vidrio como material de relleno u otros materiales de construcción.
- Utilización del papel recuperado destinado a la fabricación de paneles aislantes para uso en construcción.

Procesos que implican cambios físicos y químicos

- Transformación de los residuos en abonos orgánicos.

- Incineración con recuperación de calor.
- Incineración con recuperación de materiales contenidos en las escorias.
- Proceso pirolítico.

Los residuos recuperables, llamados subproductos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- . Cartón
- . Papel
- . Plástico rígido
- . Plástico de película
- . Trapo
- . Vidrio
- . Metales ferrosos
- . Metales no ferrosos
- . Huesos
- . Madera
- . Materia orgánica

Es indispensable que el reciclaje de la mayor parte de estos productos se lleve a cabo antes de que los materiales se integren al total de los residuos sólidos.

Las cantidades recuperables de cada subproducto, con respecto al total existente en los residuos, es mucho menor. Por ejemplo en la ciudad de México existe un 16% de papel en promedio, del cual solo se recupera un 2.5% en los tiraderos y un 3% en la planta industrializadora. Esto se debe en primer lugar a la humedad contenida en los residuos y que asciende a un 40 o 50% y a la baja eficiencia de recuperación por el tamaño de las partículas.

Por la dificultad que se presenta en los actuales métodos de separación de subproductos, esta alternativa ha ido desapareciendo casi totalmente en los países desarrollados y solo se hacen algunos intentos de lograr una separación previa de los residuos en las casas habitación para rescatar algunos subproductos valiosos.

Por otro lado se podría tratar de usar otros métodos más efectivos como lo serían la utilización de separadores balísticos, separadores gravimétricos, separadores electrónicos, -

que son formas mecanizadas de separación que están en etapa de experimentación. Otra alternativa es la de recuperar los productos y subproductos directamente en los centros grandes de producción como son mercados, industrias, centros comerciales, etc.

En general los procedimientos presentados son los que más se utilizan en México. Cabe mencionar que no solo el aspecto técnico es importante ya que los métodos de tratamiento anteriores se realizan conjuntamente con un complejo programa de desarrollo institucional que involucra aspectos legales, financieros, de programación, información, humanos, de organización, etc. Los cuales relacionados entre sí permiten un mejor manejo de los residuos sólidos.

3.7 PRIORIDADES MARCADAS POR LOS MINISTERIOS DE SALUD DE AMERICA LATINA

Una cosa que se debe tener en mente es la adecuada disposición de los recursos, ya que en la mayoría de los países son limitados, dicha meta sólo puede alcanzarse asignando una serie de prioridades las cuales han sido marcadas por los ministros de salud de América Latina las cuales son:

- Prestar el servicio de recolección y eliminación de basural menos a todas las ciudades con más de 20,000 habitantes.
- Atender aquellas zonas rurales en donde se realizan reuniones de carácter público.
- Se debe tener en cuenta que en aspectos de salud todas las comunidades son importantes por lo que se deberá de cubrir aunque sea con los mínimos recursos a todas aquellas por pequeñas que sean.

3.8 CARACTERISTICAS BASICAS DE UNA PLANTA DE RECICLAJE Y COMPOSTEO CON EL MAXIMO APROVECHAMIENTO ENERGETICO Y EL MENOR COSTO DE INVERSION PARA CIUDADES DE PEQUEÑO Y MEDIO TAMAÑO.

Para conceptuar un sistema de reciclaje de la basura urbana con el máximo aprovechamiento energético, se deben asumir una serie de premisas básicas que formarán un conjunto ideal de situaciones que puedan ocurrir total o parcialmente en una determinada ciudad. Con esta medida, se tiene la posibilidad de conocer todas las formas viables del aprovechamiento de los residuos utilizando una tecnología poco sofisticada, y en consecuencia, requerir menores recursos para la inversión.

Así, vamos a suponer una ciudad con cerca de 80,000 habitantes, con un servicio de recolección residencial de 50 ton. de basura por día. Supongamos también que la basura producida -- tenga en su composición, sobre el 2% en peso y en proporciones individuales, los materiales siguientes: papel y cartón, trapos de paño, plástico duro y plástico lámina, metal ferroso y no ferroso y vidrio; y que su constitución de material orgánico está arriba del 20%. Se considerará también que próximas a esta ciudad existen industrias de recuperación de -- plástico y cartón, industrias de bebidas y pequeñas fundiciones para metales ferrosos y no ferrosos, y que en su periferia existe un área agrícola con hortogranjeros y algunos cultivos perennes.

Finalmente, que la municipalidad dispone de áreas de tierra donde pueden ser instaladas la planta de reciclaje y composteo y un pequeño Relleno Sanitario.

La existencia de áreas agrícolas próximas al centro urbano implica la decisión que debe de existir producción de composto orgánico. Para que los costos de inversión sean bajos y admitiéndose que la municipalidad tiene áreas de tierra disponibles, se debe optar por el método de composteo a cielo -- abierto.

Como los mercados consumidores están relativamente próximos, conviene proyectar un sistema eficiente de selección manual - con buena utilización de mano de obra no especializada.

La concepción de esta instalación puede ser bastante simple utilizando equipos fabricados por industrias Mexicanas mecánicas de tamaño medio. Además de eso, el consumo de energía eléctrica es relativamente bajo en los equipos auxiliares de tamaño pequeño y su consumo de los derivados del petróleo es mínimo.

En resumen, la operación puede ser descrita de la siguiente manera:

Un galpón cubierto de cerca de 400 M². Para albergar los -- equipos principales, una sala de control simplificada y las -- líneas de selección de materiales. La planta recibirá la basura domiciliaria transportada por los vehículos de recolección que será vaciada directamente en un embudo de alimentación.

Una banda transportadora, inclinada de placas metálicas, situada debajo de la tolva encaminará la basura hacia un tamiz-rotatorio, que hace la primera selección entre los componentes, disgregándolos y facilitando así la selección y separación de los materiales recuperables, así como la identificación de la materia orgánica.

Tanto la parte que sale por la extremidad posterior del tamiz como la que pasa por sus huecos caen directamente en dos bandas transportadoras de caucho, a lo largo de las cuales están colocados los trabajadores manuales encargados de la selección de los materiales, en número que variará en función a lo que se pretenda separar.

Después de esta selección, el material que pasó por el tamiz es encaminado por un transportador de banda de caucho hasta el segundo seleccionador, que tiene por función la separación de la materia orgánica de los materiales inertes, no compostables. Los materiales no compostables son encaminados al Relleno Sanitario o aprovechados como combustible en calderas u hornos de alguna instalación industrial próxima, ya que están compuestos en su mayoría, de materiales con alto poder --

calorífico, como el caucho, plástico, cuero, madera, trapo de paño, etc.

La materia orgánica que pasó por los huecos del segundo seleccionador es transportada en contenedores (depósitos) por la pala cargadora, hasta el patio de composteo, en donde deberá ser dispuesta en pilas de aproximadamente 1m de altura, 2m de base y largo indeterminado (dependiendo de las condiciones del lugar). La basura depositada puede ser revuelta, cada 10-días, con el auxilio de las palas mecánicas para posibilitar un proceso rápido de descomposición.

Después de los 60 ó 90 días el composto orgánico ya deberá estar estabilizado y listo para su venta a los productores -- agrícolas.

Los materiales obtenidos por las bandas de separación serán encaminados, por medio de pequeñas carrozas, a los depósitos de donde serán retirados por los compradores. Si hay mercado para las botellas de vidrio, estas deberán ser separadas enteras porque así su precio es mucho mayor que como vidrio en pedazos.

La lámina plástica y el cartón (generalmente el papel encontrado en la basura es de difícil recuperación porque viene -- fragmentado, húmedo y con mucha suciedad agregada) son fácilmente enfardables en prensas que pueden ser manuales, consiguiéndose fardos de hasta 200 kg., lo que facilita su transporte hasta las industrias de mejoramiento.

El plástico duro es de difícil enfardamiento, pero debido a que su precio es alto, el transporte hasta la instalación del comprador es económicamente viable, aunque un camión con carrocería alta, difícilmente lleva más de 1.5 toneladas del -- producto.

La prensa para materiales ferrosos tiene un costo muy alto, de modo que su instalación solo es recomendable cuando la distancia entre la planta y las fundiciones es muy grande.

El metal no ferroso, generalmente de pequeña ocurrencia en la basura, tiene un precio alto, lo que disminuye porcentualmente los costos de flete hasta el mercado consumidor.

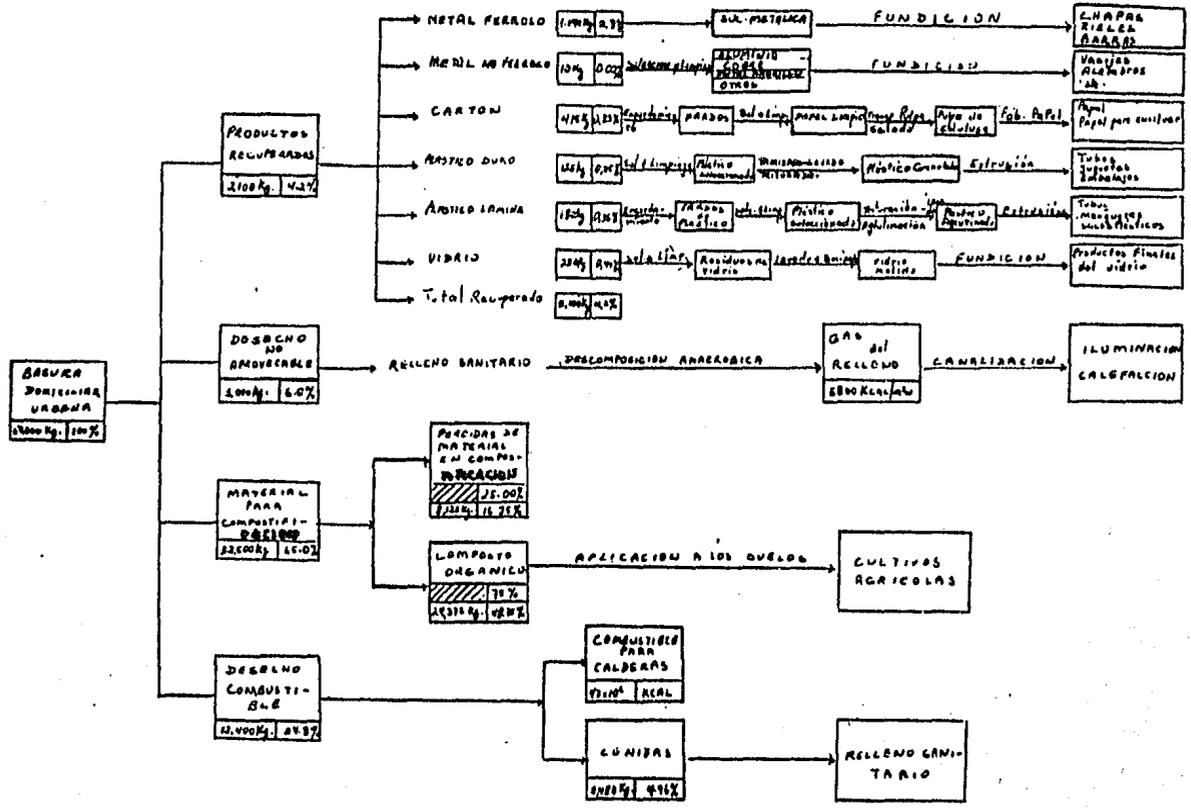
Como ya fué dicho anteriormente, deberá habilitarse, próxima a la planta, un área para el Relleno Sanitario, que recibirá rutinariamente los rechazos del proceso, los que por lo general son inertes y no requieren mayores tratamientos sanitarios. Esta área podrá funcionar, también, como una opción para el vaciamiento de la basura bruta no procesada, en la hipótesis de una paralización eventual de la planta. Este Relleno - deberá ser proyectado con un sistema de drenaje de gas, que - en caso de ser necesario podrá ser canalizado hasta unidades habitacionales próximas para ser utilizado en calefacción, refrigeración e iluminación.

Los equipos auxiliares indispensables para un buen funcionamiento de la instalación, se resumirían en:

- 2 palas mecánicas tipo Bob Cat
- 1 vehículo de carga liviana con carrocería abierta
- 10 carretillas para transporte de materiales recuperados
- 1 camión tipo Dempster para remoción de los contenedores (depósitos) con 3 "contenedores".

En la figura siguiente se muestra el flujo gravimétrico térico del sistema mostrando un balance energético francamente positivo que está basado en el aprovechamiento máximo de los productos reciclables, reduciéndose considerablemente la cantidad de residuos a ser colocados en los Rellenos Sanitarios - y por consiguiente, los costos y los perjuicios ecológicos.

Finalmente, se presentan dos tipos de tablas en las que se presentan los tipos de residuos y su forma de recolección, -- así como también las agencias encargadas en la recolección de los mismos, lo anterior a manera de resumen.



TIPOS DE RESIDUOS

Tipo de residuo	Forma de recolección
Basura doméstica	Básicamente debe ser recogida por los servicios de limpieza pública.
Basura de pequeños establecimientos comerciales o industriales	Usualmente se retira junto con la basura doméstica.
Basura de grandes establecimientos comerciales	Puede ser recogida por los servicios de limpieza pública, recomendándose el uso de contenedores de gran volumen, pero igualmente pueden encargarse de hacerlo los mismos establecimientos o recurrir a empresarios privados.
Residuos de grandes industrias	Cuando no son tóxicos pueden ser retirados por los servicios de limpieza pública, por quienes los producen o por empresas privadas. Cuando son tóxicos, tienen que recogerse con las debidas precauciones y disponer de ellos en forma especial, por lo que es recomendable que su manejo se entregue a la propia industria o a empresas especializadas con control municipal. Una sana política es que se responsabilice de este tipo de residuos a quienes los producen.
Animales muertos	Deben ser recogidos con vehículos pequeños, a menos que ese día haya servicio de recolección de basura doméstica.
Residuos hospitalarios	Su recolección y disposición final requieren de precauciones especiales, exigiéndose a menudo que se incineren, por lo que en general su manejo debe quedar a cargo de los propios hospitales, clínicas o laboratorios. <u>No deben incluirse dentro de los servicios de recolección pública ordinaria pues constituyen un riesgo grave.</u>

TIPOS DE RESIDUOS
(cont.)

Tipo de residuo	Forma de recolección
Restos de trabajos de jardinería	Las hojas, ramas pequeñas, arbustos y césped pueden o no ser retirados por los servicios de limpieza pública, tanto si provienen de jardines privados como de parques o plazas, pero los troncos de árboles, ramas grandes o piedras no pueden recogerse con los camiones compactadores pues dañarían el sistema de prensado. Para este último caso hay que destinar camiones no compactadores, pudiendo los servicios de limpieza pública establecer una atención especial, o bien encargar el retiro de estos residuos a empresas privadas. Si el servicio es público, puede efectuarse en forma periódica pero con frecuencias bajas (una vez cada quince días, por ejemplo), o bien prestarse la atención previo pedido de quien la necesite.
Residuos voluminosos (refrigeradores, muebles, automóviles, etc.)	Son poco comunes en América Latina, pero comienzan a aparecer. Se requiere un servicio especial para su retiro, que puede ser periódico (una vez al mes o como sea necesario) o a pedido del público. La recolección puede hacerla el servicio de limpieza pública o empresas privadas.
Escombros y residuos provenientes de trabajos de demolición o de construcción	En general su retiro corresponde a las empresas que los producen. Pequeñas cantidades pueden incluirse junto con los residuos voluminosos.
Residuos sólidos agropecuarios	No se incluyen dentro de los que recogen los servicios de limpieza pública.
Residuos de explotaciones mineras	No se incluyen dentro de los que recogen los servicios de limpieza pública.

AGENCIAS DE RECOLECCION

Agencia	Ventajas	Desventajas
Municipalidad	<ul style="list-style-type: none"> -La preocupación principal puede ser mantener una ciudad limpia. -La municipalidad es directamente responsable ante el público. -Con una buena organización pueden obtenerse menores costos. -Hay más flexibilidad para atender situaciones de emergencia o la ampliación de servicios. 	<ul style="list-style-type: none"> -La falta de personal capacitado puede traducirse en baja eficiencia y costos altos, y puede haber cambios frecuentes en quienes ya han recibido entrenamiento adecuado. -Es frecuente que no se destinan fondos suficientes para contar con los equipos o personal necesarios, o para el mantenimiento adecuado de los vehículos. -Un exceso de burocracia puede dificultar mantener un servicio satisfactorio.
Empresa privada contratada por la municipalidad	<ul style="list-style-type: none"> -Es más fácil contar con personal capacitado. -Se obtiene una eficiencia mayor que puede traducirse en menores costos. -Las exigencias del contrato obligan a la municipalidad a destinar los fondos necesarios para mantener el servicio. -En general es más fácil que el servicio opere por haber menos problemas burocráticos. -El capital es aportado por el contratista. -Los costos quedan establecidos previamente, lo que facilita fijar tarifas. 	<ul style="list-style-type: none"> -La preocupación principal puede ser la obtención de utilidades mayores y no el aspecto sanitario. -A los costos hay que sumar la utilidad del empresario. -La empresa es responsable ante la municipalidad y so lo indirectamente ante el público. -Se requiere una supervisión muy estricta sobre el contratista. -Es posible que la municipalidad no cuente con personal adecuado para controlar a la empresa. -El sistema es menos flexible para atender emergencias o ampliaciones del servicio.

AGENCIAS DE RECOLECCION
(cont.)

Agencias	Ventajas	Desventajas
		<ul style="list-style-type: none"> -Puede no haber empresas con experiencia en el país. -El cambio de sistema puede hacer que se pierdan inversiones municipales existentes. -Puede haber gran resistencia de las autoridades municipales al cambio de sistema.
Empresas privadas autorizadas por la municipalidad	<ul style="list-style-type: none"> -No es problema contar con personal capacitado. -Se obtiene una eficiencia mayor que puede traducirse en menores costos y tarifas más bajas para el público. -La municipalidad no tiene que preocuparse de obtener fondos para financiar el servicio. -El sistema es más expedito por haber menos burocracia. 	<ul style="list-style-type: none"> -La preocupación principal es obtener mayores utilidades. -La municipalidad no tiene medios de exigir que haya un buen servicio con cobertura adecuada. -Solo si hay varias empresas operando y se desarrolla la competencia entre ellas se puede obtener un servicio adecuado. -Puede no haber empresas con experiencia en el país. -El cambio de sistema puede hacer que se pierdan las inversiones municipales existentes. -Puede haber gran resistencia de las autoridades municipales al cambio de sistema.
Empresas municipales	<ul style="list-style-type: none"> -Se tiene más libertad para contratar personal capacitado y para alcanzar una mayor eficiencia con menores costos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Si la autonomía de la empresa es pequeña, el sistema puede ser igual que si la agencia es la municipalidad.

AGENCIAS DE RECOLECCION
(cont.)

Agencias	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> -La empresa es responsable ante el público y ante la municipalidad. -Al desligarse la empresa de la administración municipal puede haber mayor permanencia del personal especializado. -Los proyectos deben estar financiados y pueden establecerse tarifas adecuadas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Si no se autorizan tarifas adecuadas, el servicio puede sufrir serios deterioros.
<p>Convenios inter-municipales</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Se aprovecha la economía de escala al atenderse una zona mayor. -Al unirse los recursos se puede facilitar contar con personal capacitado. -Las municipalidades siguen siendo responsables ante el público. -La preocupación principal puede ser mantener la ciudad limpia. -Hay flexibilidad para atender situaciones de emergencia o ampliación de los servicios. 	<ul style="list-style-type: none"> -Algunas de las municipalidades asociadas pueden no cumplir oportunamente con sus compromisos económicos. -Puede mantenerse un exceso de burocracia.

4. LOS RELLENOS SANITARIOS

4.1 ALTERNATIVAS DE DISPOSICION DE BASURAS

Dentro de esta parte está el conocer las diferentes alternativas que se tienen en la disposición de basuras.

Empezaremos por definir algunos términos:

- Disposición.- Es la última etapa operacional del servicio de limpia en la cual se destinan los residuos recolectados.
- Procesamiento.- Es cualquier manipulación que sobre los residuos se hace, previa a su disposición en la cual se trata de obtener algún beneficio económico y sanitario.
- Tratamiento.- Es un procesamiento en el cual se procura obtener resultados sanitarios reduciendo o eliminando los efectos nocivos que pueden tener los desechos sobre el hombre o medio ambiente.

Aceptaremos como disposición final aquella que se realiza en el suelo, aunque sea admisible el disponer residuos peligrosos en el mar profundo.

Como anteriormente hemos visto, los procesos aplicables a basuras, se pueden clasificar en:

- o Mecánicos
- o Térmicos
- o Biológicos

/Procesos Mecánicos/.- Se pueden subdividir en tres; Trituración, compactación y clasificación.

Trituración.- Divide, mezcla y homogeniza la basura favoreciendo:

- . La descomposición bioquímica.
- .. El condensamiento y estabilidad mecánica de los Rellenos.
- . La uniformidad y control de la acción térmica.

Compactación.- Disminución de los espacios vacíos con el consecuente ahorro de volumen y costo.

Clasificación.- Selección de materiales que pueden tener un beneficio económico mediante cualquiera de los procesos biológicos o térmicos subsecuentes.

/Procesos Térmicos/.- Se subdividen en dos; Incineración y Pirólisis, antes estudiados.

/Procesos Biológicos/.- Existen los aeróbicos y los Anaeróbicos.

Aeróbico.- Es el más higiénico y productivo para el composteo y estabilización del Relleno Sanitario puesto que sus productos principales son agua, dióxido de carbono y calor, siendo éste suficiente para elevar la temperatura de la masa a nivel fatal para microorganismos patógenos, huevos y gérmenes. La humedad óptima será de 40 a 60% en el ambiente y la relación C/N entre 30 y 50 para maximizar la acción aeróbica.

Anaeróbico.- Es más lento, disipa poco calor y descompone la materia en compuestos orgánicos más simples, además de minerales teniendo enorme importancia la producción de Metano (CH_4) gas de elevado poder energético (8900 Kcal/ M^3n). El mal olor es una de las limitaciones en el proceso anaeróbico.

Los procesos biológicos generan dos productos importantes:

- Metano, también llamado biogás o gas bioquímico.
- Composta para suelo agrícola.

METANO

Resulta del proceso anaeróbico. Desarrollándose en todo el mundo, la tecnología de construcción y utilización de Biodigestores anaeróbicos, tiene por producto el Biogás y por residuo una masa digerida que, reducida en su contenido de hume--

dad a cerca de 40%, es una composta para suelo agrícola.

Entre tanto, el Biodigestor no debería ser alimentado con basura urbana integral, sino solo con materia orgánica biodegradable.

Un Relleno Sanitario se comporta como un Bioreactor donde la producción de metano se torna grande después de la fase aeróbica.

En Río de Janeiro Brasil, son extraídos regularmente cerca de 20,000 M³/día de gas de un Relleno donde se acumularon durante 20 años 15,000 000 M³ de basura en un terreno de 1Km².

La captación se hace a través de 19 pozos distribuidos en un área de 40,000 M² y el gas es conducido 4.4 Km por una tubería hasta una fábrica de gas de nafta, con el cual es mezclado y distribuido a través de la red instalada en la ciudad. Cada pozo tiene una producción de 150 a 300 M³n/h de gas con un poder calorífico medio de 6300 Kcal/M³n, gracias a un contenido aproximado de 66% de metano, 33% de CO₂ y 1% de Nitrógeno y Oxígeno.

Como referencia, el consumo de gas de una familia de Río de Janeiro se estima en 50M³n/mes.

La producción teórica de metano (CH₄) depende de la calidad de basura, pero acostumbra estimarse en 0.250 M³n/Kg.

COMPOSTA.

Es un material tipo "humus", bioquímicamente estable, constituido por materia orgánica, mineral y cerca de 40% de agua, y pH neutro o poco alcalino.

Resulta de la descomposición aeróbica y anaeróbica. Del proceso aeróbico resulta la ventaja de la esterilización por el calor y del anaeróbico resulta una composta más alcalina y de menor contenido de nitrato. Esta composta tiene amplias ventajas en suelos duros y arenosos ya que retiene la humedad y contiene nutrientes para los vegetales. Los procesos industriales del composteo son, casi todos aeróbicos, por rápidos e inodoros. La composta producida por cualquier técnica deberá ser revuelta periódicamente durante 30 a 60 días antes de

ser aplicada al suelo.

4.1.1 DISPOSICION DE BASURAS

La disposición de basuras debe ser hecha en el suelo;

- . Relleno Sanitario
- . Relleno Cubierto

Siendo inadmisibles el lanzamiento de basura en cursos de agua, lagos o mares, debido al desequilibrio ecológico que producen sobre todo por adición excesiva de nutrientes al agua, y a otros problemas sanitarios dentro de los cuales podemos señalar: proliferación de insectos en agua retenida por la basura o en las márgenes y áreas de descarga de residuos sólidos, presencia incontrolada de animales y segregadores de materiales de la basura.

Otra opción impracticable para la basura urbana es su empleo en alimentación animal.

Se admite, con restricciones y control, la alimentación de animales con restos de refectorios y cocinas. Para seguridad, tales restos deberán ser recocinados o tratados con vapor de agua. Es preferible no incluir esta práctica como técnica global de disposición de residuos sólidos.

RELLENO SANITARIO (RS)

La "American Society of Civil Engineers - ASCE" nos da una buena definición en la cual se indica la metodología constructiva básica del Relleno Sanitario:

"Relleno Sanitario es una técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública, método éste que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, y para cubrir la basura así depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al fin de cada jornada".

La expresión de Relleno Sanitario engloba a la obra y al terreno de la obra de relleno.

El proyecto de un Relleno Sanitario puede atender a uno o varios objetivos, los generales y los específicos, Los objetivos generales son el acoger la basura urbana en forma sanitaria y a costos viables. Los objetivos particulares o específicos pueden ser la recuperación de áreas inundables, construcción de parques para recreación, producción económica de Biogás, etc.

RELLENO CUBIERTO (RC)

Consiste en una arreglo lógico de basura en el terreno y su recubrimiento al final del día, o con la mayor frecuencia posible, dependiendo de la disponibilidad local de máquina y tierra.

Se justifica en ciudades pequeñas, donde es poco ofensivo, desde que el terreno escogido para relleno esté seco, con un nivel freático mayor a 2 mts (en estación lluviosa) y distante de casas y pozos de agua a más de 200 mts.

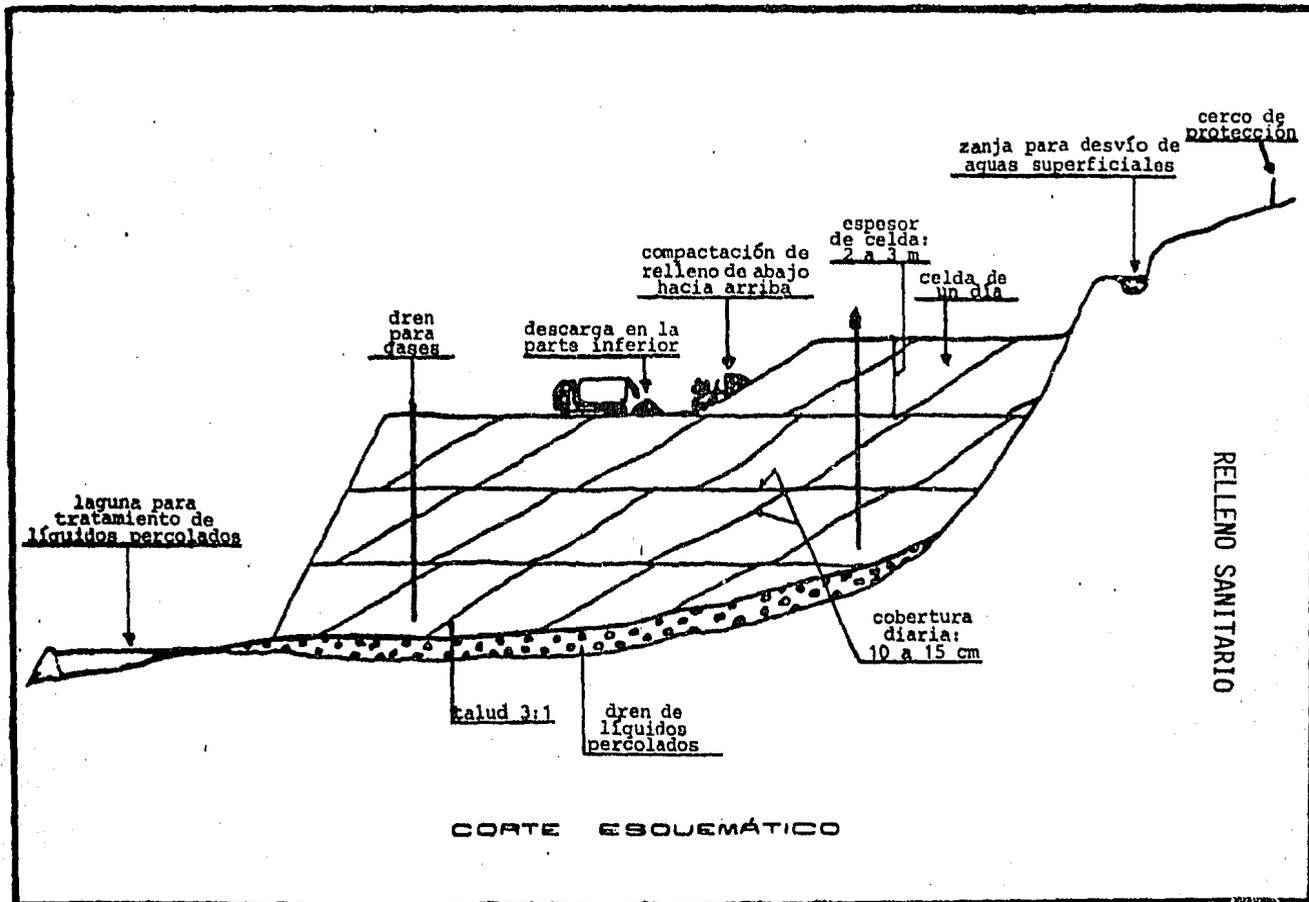
4.1.2 COSTOS DE PROCESAMIENTO Y DISPOSICION DE BASURAS

Inicialmente debemos considerar que los procesamientos reducen la cantidad de basura, más no la eliminan totalmente, restando una cantidad la cual ha de ser dispuesta mediante relleno, así originando los costos adicionales respectivos.

En segundo lugar como se tiene un objetivo económico en los procesos, ha de haber mercado permanente para la venta de productos y subproductos, computándose los costos de almacenamiento y transporte correspondientes.

Como regla general se dirá que el costo global unitario del procesamiento decrece con el aumento de la cantidad procesada.

La oferta de productos, entre tanto, debe ser compatible con el mercado potencial a fin de que se alcancen los precios proyectados, además se debe tener en cuenta que el interés económico de un procesamiento debe hacerse para un mercado presente y para por lo menos el periodo de amortización de inversiones exigidas. En condiciones de mercado favorables, los ingresos consiguen cubrir los costos operacionales, nunca el costo de capital, salvo rarísimos casos.



4.2 SELECCION DEL SITIO PARA RELLENO SANITARIO

Las condiciones idóneas para localizar un Relleno Sanitario son las siguientes:

- Ser accesible a los carros recolectores
- Tener una vida útil mayor a 10 años
- Contar con medios y condiciones naturales que brinden protección a la vida vegetal y animal aledañas.
- Contar con una ubicación estratégica para evitar rechazos por parte de la población
- Ser autosuficiente en tierra para cubrir la basura

Como rara vez se encuentran terrenos con todas esas condiciones, presentaré a continuación las bases científicas usadas, así como una metodología para la investigación de terrenos.

Las bases para evaluar los sitios opcionales son:

- . Urbanísticas
- . Económicas
- . Sanitarias

Bases Urbanísticas para la evaluación de sitios disponibles.

- o Compatibilización con el desarrollo urbano (a)
 - o Compatibilización con otros sistemas (b)
- (a) - El RS se localizará en un área permitida por la legislación territorial urbana, de protección ambiental y de preservación de los recursos naturales.
- El uso futuro del RS será compatible con el desarrollo natural de la ciudad.
 - Caminos de acceso pavimentados en dirección del RS deben estar provistos.
 - El crecimiento de la ciudad deberá ser en sentido del RS, para que se mantenga económico.
- (b) - El RS no deberá tener oportunidad de contaminar agua de uso doméstico, efectivo o previsible, industrial o agrícola.
- Es ventajosa la proximidad a ductos, estación de tratamiento o puntos de disposición de aguas residuales, tanto para un posible destino de afluentes del RS.

Bases Económicas para la evaluación de sitios disponibles.-

- Economía interna del RS (a)
 - Economía global del sistema de limpieza (b)
 - Costo del terreno (c)
 - Costos y beneficios sociales resultantes (d)
- (a) - El RS debe tener una vida útil compatible con el volumen de las inversiones en infraestructura.
- Si el suelo local no pudiera ser excavado, se investigarán yacimientos cercanos y accesibles tomando en cuenta el costo de transporte.
 - La vida útil es el periodo de tiempo en el que el RS será apto para recibir basura continuamente, desde su fondo hasta la altura de proyecto.
 - El volumen y la masa de residuos sólidos a ser entregados al RS son datos previamente conocidos y proyectados en tablas o gráficos, año con año, para más de 10 años.
 - Se debe tener a la mano el gráfico o tabla con los volúmenes de tierra y residuos sólidos acumulados a lo largo de la vida útil esperada.
- (b) - El tiempo útil de los colectores de desechos sólidos es aquél gastado en la recolección, ya que no se considera el tiempo consumido en el transporte y disposición de - residuos sólidos.
- Las condiciones de tráfico hacia el RS retardan los viajes y aumentan el costo global del sistema, por lo que se afrontarán los costos de pavimentación de los accesos con beneficios al sistema.
 - Los costos de traslados de los centros de recolección - a los centros de disposición deberán ser calculados y - confrontados.
- (c) - Deben absorberse los costos del terreno a menos que éste sea propiedad pública o cedido gratuitamente.
- (d) - Preveer mejoras paralelas y uso futuro del relleno para evitar desvalorización psicológica de los terrenos adyacentes al RS.

- Deberá estimarse el costo/beneficio de la ubicación del RS, considerando la utilización del mismo ya concluido, como área recreativa, productor de Biogás, etc.

Bases Sanitarias para la evaluación de sitios disponibles.-

La mayoría de los problemas ambientales causados por la disposición de basuras son consecuencia de su interposición en el ciclo del agua. Otros problemas son las posibles emanaciones de gases tóxicos, riesgos de incendios, explosiones y estéticos.

Analíticamente estudiaremos el conjunto de tres fases:

- a.- Residuos sólidos sobre el suelo
- b.- Suelo, esto es, corteza superficial con sus aguas
- c.- Microclima o condiciones atmosféricas de la región

o Fase A "Residuos sólidos sobre el suelo":

Físicamente la basura está constituida de agua en un 40 a 50%, restos vegetales y animales, papeles, plásticos, latas, vidrios, tierra, tejidos, metales, maderas, etc.

Químicamente se compone de sustancias orgánicas naturales, transformadas y sintéticas; compuestos y aleaciones minerales y raras sustancias simples. En productos de industrias químicas y hospitales, encontraremos pequeñas cantidades de compuestos orgánicos y minerales peligrosos, (organoclorados, metales pesados, etc.), ver figuras 1, 2 y 3.

El substrato y las condiciones ambientales son favorables a la descomposición bioquímica de los residuos sólidos mediante la acción de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos de la cual resulta un caldo con alta capacidad de contaminación, ver figuras 4 y 5.

Es expresiva la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de ese caldo: de 10,000 a 30,000 mg/l en rellenos sanitarios recientes, 50 a 100 veces la (DBO) del desagüe sanitario. Este índice representa la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para digerir la materia orgánica contenida en un litro de líquido, o sea, la reducción que su vertimiento provocaría dentro del ecosistema acuático.

Sin considerar además los daños causados por reacciones biológicas y de los gases que se crean en las reacciones, así como los líquidos percolados.

Conclusión: Los residuos sólidos depositados se comparan a un reactor que elimina líquidos, gases y partículas de elevado poder contaminante y relativa peligrosidad.

° Fase B "Suelo":

El suelo está constituido de materia sólida, agua y aire. A partir de cierta profundidad este se encuentra saturado de agua la cual forma el nivel freático. Este nivel se mueve lentamente del lugar de mayor a menor presión, así como del sentido de inclinación del terreno, aflorando en depresiones, pozos, ríos, mares, cediéndoles agua y eventualmente recibiendo la de ellos.

El agua también tiene movimiento vertical debido al efecto de gravedad y por el efecto de capilaridad que se presenta entre los granos de suelo, además están el efecto de las recargas y raíces de las plantas.

Por tales razones el nivel no es constante pero como su mayor variación es estacional, se tiene relativamente bien definido.

Como consecuencia de esos movimientos del agua freática, una sustancia que percola a través del suelo, es rápidamente transportada por el flujo subterráneo del agua.

Por el motivo anterior el agua superficial ya no es tan confiable para uso doméstico por lo cual se está tendiendo a usar solamente el agua de reservorios subterráneos o acuíferos, el acuífero es naturalmente protegido por la capa de suelo superior.

La percolación del contaminante depende de la permeabilidad del suelo y está a su vez del tamaño de las partículas o granos del suelo, así como del grado de saturación por agua absorbida o capilar.

De modo general, un suelo de arena es permeable y uno de arcilla impermeable:

Arena $K = 10^{-1}$ a 10^{-3} cm/s ; K = coef. de permeab.

Arcilla $K = 10^{-5}$ a 10^{-8} cm/s

Lo anterior significa que un suelo con $K=10^{-8}$ cm/s es un millonésimo de la resistencia ofrecida por un suelo con un coeficiente de permeabilidad de $K=10^{-2}$ cm/s.

Lo que quiere decir que un líquido que percola en una arcilla recorre 1mm en el mismo tiempo que recorrería 1km en una arena.

Por lo que se puede suponer que un líquido al pasar por un suelo lentamente, pierde algo de su poder contaminador, además que este recorrido tiende a colmatar los suelos por el arrastre de partículas sólidas las cuales disminuyen su permeabilidad.

Conclusiones:

- a) El agua puede atravesar el suelo y contaminar los acuíferos además de hacerlos su vehículo.
- b) El tiempo de recorrido del agua a través del suelo es función de la permeabilidad del mismo.
- c) El terreno idóneo para un RS sería uno impermeable, además de tener el nivel freático lo más profundo posible (mayor a 3 mts).

o Fase C "Microclima":

Los factores que influyen en el clima de la localidad son:

- La lluvia activa, los fenómenos biológicos y químicos de los desechos sólidos (como la fermentación y reacciones).
- El ambiente en el que se realiza la descomposición es afectado por la temperatura, estado higrométrico y agitación del aire, condicionando la evaporación y flujo vertical del agua en el suelo.
- El viento y lluvia ocasionan molestias como dispersión de malos olores y obstrucción de operaciones en el RS.

Conclusión: El microclima influye en las condiciones sanitarias y constructivas del RS; como no puede ser cambiado, exige artificios en el proyecto y operación del RS.

Un artificioso es el de drenar superficialmente y en toda la periferia al RS, a fin de que el agua de afuera no entre y el

agua de adentro no salga sin control, además se puede buscar que los vientos dominantes alejen el mal olor de la ciudad.

Método de investigación de sitios para RS

La investigación será planificada, a fin de que sea productiva y rápida.

Recomendaciones:

- Tener en mente las bases económicas, urbanísticas y sanitarias para la evaluación de sitios.
- Asimilar características socio-económicas de la ciudad, comprenderla en su desarrollo urbano natural e inducido, conocer sus accidentes notables, paseando por la ciudad y registrando en el plano de planta el paseo y observaciones.
- Analizar el plano de planta con curvas de nivel y plano de desarrollo urbano observando:
 - . Zonas típicas
 - . Sentidos de expansión
 - . Vías periféricas y radiales
 - . Sistemas de agua
 - . Sistemas de alcantarillado
 - . Areas de preservación
 - . Proyectos y planes futuros que pueden afectar al RS
- Analizar plantas de la ciudad y alrededores con curvas de nivel señalando:
 - . Vías de tráfico permanente
 - . Red hidráulica
 - . Clasificación del suelo
 - . Yacimientos y minas
 - . Terrenos públicos
 - . Otros.

Cabe aclarar que el hecho de considerar todos los factores anteriores, es con el fin de maximizar el funcionamiento del RS. Más es opción de cada proyectista el escoger o determinar cuales de los factores anteriores sí son de peso y cuales nó, ya que difícilmente se podría conseguir la interacción efectiva de todos, pero es deber de cada proyectista el considerar el mayor número posible de alternativas.

CONSTITUYENTES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS
PROPORCIONES ANTES Y EN EL 1,084avo. DIA DE DISPOSICION EN RS

Figura 1

CONSTITUYENTES	% EN PESO	
	Basura en el Día Inicial de la Investigación	Basura en el 1,084avo. Día Final de la Investigación
Papel y cartón	33,7	18,0
Plástico	3,1	13,1
Vidrio	2,7	2,7
Jebe y cuero	0,3	0,8
Madera	1,1	3,5
Tela y trapo	3,3	4,5
Losa y cerámica	1,6	-
Metal ferroso	3,0	4,8
Metal no ferroso	0,2	-
Hoja, matorral	3,8	1,0
Materia orgánica (restos de comida)	15,7	0,6
Agregado grueso (material retenido en tamiz de malla de 1")	16,9	-
Agregado fino (Polvos, tierra, etc., material que atravieza dicho tamiz)	14,6	48,0
Piedras	-	3,0

Fuente: COHLURB. Aterro experimental de lixo - documento final. RTo de Janeiro, COHLURB, 1978.

CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LA BASURA URBANA
Y EVOLUCION DE LOS DEPOSITOS EN RS

FIGURA 2

PARAMETRO	BASURA INICIAL (1 ^{ra} SEMANA)	58 DIAS DESPUES (9 ^{na} SEMANA)	330 DIAS DESPUES (48 ^{va} SEMANA)	555 DIAS DESPUES (80 ^{va} SEMANA)	BASURA FINAL 1,084 DIAS (155 ^{ta} SEMANA)
Humedad (%)	49.50	36.40	46.50	60.10	65.40
Poder calorífico superior (cal/g)	-----	1,118.00	2,460.00	2,467.00	2,696.00
Residuo mineral (%)	37.60	74.80	44.60	44.40	39.30
pH (en KCl)	-----	6.90	8.10	8.30	8.50
Sílica (%)	20.20	59.00	32.50	31.80	25.30
Calcio (%)	3.10	2.60	4.30	2.60	2.20
Fósforo total (% P ₂ O ₅)	1.06	0.83	-----	0.86	1.09
Fósforo (% P)	0.44	0.36	-----	0.37	0.47
Potasio (% K)	-----	0.41	-----	0.07	0.47
Carbono total (%)	-----	11.80	26.00	26.10	28.50
Nitrógeno total (%)	1.37	0.52	1.53	0.59	0.39
Relación C/N	-----	22.70	17.00	44.20	73.20
Proteínas (%)	-----	3.20	9.60	3.70	2.40
Materia orgánica (%)	-----	19.30	42.60	42.70	46.60

Fuente: COMLURB. Aterro experimental de lixo - documento final. Río de Janeiro, COMLURB, 1978.

CONTENIDO BIOLÓGICO DE BASURA URBANA Y
EVOLUCIÓN DE LOS DEPÓSITOS EN RS

FIGURA 3

MES	COLIFORMES TOTALES/100 ML	COLIFORMES FECALES/100 ML
01	3'500,000	2'400,000
02	220,000	70,000
04	33,000	33,000
05	7,000	330
07	50,075	492
08	9,530	1,118
09	29,500	83
10	5,150	270
11	128,000	420
12	24,000	9,200
14	11,400	984
15	13,000	2,615
16	5,030	1,440
17	1,165	127
18	28,750	510
19	112,825	47,282
20	40,665	646
21	10,932	143
22	8,877	8,043
23	6,350	64
24	8,650	410
25	2,300	49
35	24,000	230

Fuente: COMLURB. Aterro experimental de lixo - documento final. Rio de Janeiro, COMLURB, 1978.

LIQUIDO PERCOLADO

FIGURA 4

Los valores obtenidos a través del análisis del líquido percolado recogido en más de veinte rellenos sanitarios en los E.U.A., varían dentro de los rangos relacionados abajo.

<u>CONSTITUYENTES O CARACTERISTICAS</u>	<u>RANGO DE VALORES</u>
Demanda química de oxígeno (DQO)	40 - 89,520
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	81 - 33,360
pH	3.7 - 8.5
Conductancia específica	2,810 - 16,800
Residuos sólidos - total	0 - 59,200
Alcalinidad (Ca CO ₃)	0 - 20,850
Dureza (Ca CO ₃)	0 - 22,800
Fósforo - total (P)	0 - 130
Nitrógeno amoniacal (NH ₄ - N)	0 - 1,106
Nitratos y nitritos (NO ₃ + NO ₂ - N)	0.2 - 10.29
Sulfatos (SO ₄)	1 - 1,558
Calcio (Ca)	50 - 7,200
Cloratos (Cl)	4.7 - 2,467
Sodio (Na)	0 - 7,700
Potasio (K)	28 - 3,770
Magnesio (Mg)	17 - 15,600
Hierro (Fe)	0 - 2,820
Zinc (Zn)	0 - 370
Cobre (Cu)	0 - 9.9
Cadmio (Cd)	< 0.03 - 17
Plomo (Pb)	< 0.10 - 2.0

Fuente: EPA. Summary report: municipal solid waste generate gas and leachate. E.U.A., EPA, 1974.

EFLUENTE LIQUIDO DE RS - EVOLUCION DE LAS CARACTERISTICAS

FIGURA 5

Unidad: mg/l

PARAMETROS \ MESES	1	2	3	12	18	24	35	
pH	6.7	6.4	7.1	8.0	8.4	7.8	7.7	
DBO	-----	-----	5,600	303	453	366	390	
DQO	2,806	15,925	17,184	1,416	1,994	1,820	1,505	
residuo {	total	8,303	14,240	16,248	8,653	8,897	6,497	6,213
	fijo	-----	7,914	9,275	6,525	6,058	4,830	4,717
	volátil	-----	6,326	6,973	2,125	2,839	1,667	1,496
dureza total	2,670	4,863	4,500	1,280	512	900	900	
alcalinidad	-----	4,000	-----	6,017	7,483	5,500	3,015	
calcio	484	979	1,225	145	101	109	170	
magnesio	357	597	345	98	121	32	116	
sulfato	294	565	114	131	29	65	-----	
nitrógeno total	124.7	-----	-----	10.5	16.1	16.9	4.5	
fósforo	1.7	6.4	8.2	15.2	18.3	13.1	4.5	
clorato	2,269	2,469	2,588	2,359	2,186	1,588	2,300	
hierro	28.6	56.4	63.5	9.1	9.2	9.3	1.2	
manganeso	-----	-----	-----	0.38	0.87	0.40	0.03	
zinc	-----	-----	-----	0.72	1.49	1.29	0.35	
cromo	-----	-----	-----	0.00	0.07	0.05	0.00	
níquel	-----	-----	-----	0.64	0.23	-----	-----	
cadmio	-----	-----	-----	0.20	0.24	0.21	0.00	
cobre	-----	-----	-----	0.23	0.28	0.10	0.00	

Fuente: COHLURB. Aterro experimental de lixo - documento final. Rio de Janeiro, COHLURB, 1978.

4.3 PROYECTO DEL RELLENO SANITARIO

El diseño de un Relleno Sanitario esta sujeto al análisis y planeación de las siguientes partes:

- A) Identificación del sitio a rellenar y sus alrededores
- B) Proyecto Básico
- C) Detalle del proyecto
- D) Plan de Operación
- E) Plan de Implementación

A) Identificación del sitio a rellenar y sus alrededores.

La identificación debe hacerse por medio de levantamientos-planimétricos y catastrales, la topografía se hace con curvas de nivel a cada metro acotando los multiples de 5, en planta en escala 1:2000.

Dentro de los planos topográficos se deben localizar todos los accidentes importantes que se presenten en el sitio (riachuelos, pozos, drenaje, etc.).

Deben realizarse planes de caracterización del suelo, agua y microclima, el suelo puede caracterizarse haciendo sondeos y perforaciones recolectando muestras suficientes para obtener perfiles del terreno e información de puntos críticos para el proyecto, así como para estimar la compactación, permeabilidad, nivel freático y sentido de su traslado, reconocimiento geohidrológico del área y variación anual de las aguas.

Deben también, ser obtenidas informaciones sobre el clima local, especialmente la precipitación pluvial, vientos y condiciones de evaporación.

B) Proyecto Básico del Relleno Sanitario.

Este proyecto materializa la concepción del proyectista y las conclusiones de su equipo técnico y se destina a orientar el desarrollo del proyecto ejecutivo.

Un proyecto básico comprende por lo menos los siguientes estudios:

- Determinación del área total y de los lotes a ser rellenos, así como origen de la tierra de cobertura.

- Lotes de uso especial reservados para operación en días difíciles, así como para depósito de residuos especiales (tóxicos, inflamables, etc.).
- El Relleno Sanitario concluido, accesos, drenes, instalaciones para tratamiento de efluentes, tratamiento paisajístico del entorno.
- Vida útil y costo global estimado.
- Informaciones complementarias (protección ambiental, uso -- futuro del relleno).

C) Detalle del Proyecto.

Esta etapa comprende los proyectos de Ingeniería y paisajísticos envueltos, sus memorias descriptivas, especificaciones y costos.

Se analizarán los siguientes aspectos:

- o Proyectos de infraestructura periférica.
- o Proyectos de infraestructura del Relleno.
- o Proyecto de construcción del Relleno.
- o Proyecto de construcción de lotes especiales.
- o Proyecto de tratamiento del efluente líquido.
- o Proyecto de las construcciones auxiliares.
- o Proyecto paisajístico.

Proyectos de infraestructura periférica:

Esta clase de proyectos tratan los aspectos referentes a:

- Vías de acceso al RS.
- Drenaje pluvial.
- Desvíos y aislamientos eventuales de los cursos de agua.

Proyectos de infraestructura del Relleno:

Los aspectos tratados son los siguientes:

- Cortes y tratamiento del suelo de soporte del Relleno.

En esta parte nos referimos al tipo de tratamiento que sufrirán las paredes y la base que confinarán a los residuos. Estos tratamientos se hacen con el fin de proteger los mantos de agua superficiales y subterráneas, y consisten en la impermeabilización (con métodos de compactación o con tratamientos de arcilla, cal o bentonita) del fondo y las paredes, así como la construcción de diques y zanjas encausadoras del agua -

superficial.

En casos críticos se debe desconfiar del sistema de impermeabilización y aumentar un drenaje de seguridad. Para los lotes especiales el tratamiento se puede hacer forrando las paredes y el fondo con una capa de polietileno clorado protegida con arena.

- Drenaje del líquido percolado.

Este drenaje es con el fin de evitar contaminaciones del agua subterránea, y se hace mediante la construcción de drenes con tubos de concreto, barro o PVC perforados lateralmente o con drenes ciegos de piedra, los cuales deben de ser sobrediseñados previendo la colmatación de los mismos, además por la inexistencia de datos precisos sobre la producción de percolado que depende de factores climáticos, de la constitución y humedad de los residuos, del tipo de cobertura, métodos constructivos y experiencias del lugar. Como referencia se acepta el 30% de infiltración por lluvia, siendo significativa (la percolación) después que la masa de residuos quede saturada.

- Drenaje de gases.

Como se había mencionado anteriormente, un Relleno Sanitario se comporta como un Bioreactor donde la producción de gases y principalmente metano, se torna grande después de la fase aeróbica, es decir, durante la fase anaeróbica.

Es por lo anterior que se tenga que construir algún dispositivo para eliminarlo o para captarlo.

Conforme el Relleno se eleva se construyen chimeneas utilizando tubos perforados de PVC (diámetros 10-15 cm) confinados con piedra generalmente número 2 y 3 ó 2 a 4. En el caso anterior, las piedras se acomodan en el interior de un tubo guía que se eleva progresivamente con el Relleno Sanitario. El espaciamiento de las chimeneas o pozos dependiera de la producción de gases que se tenga en el lugar, pero para Rellenos Sanitarios convencionales se acostumbra espaciar las chimeneas de 30 a 50 mts.

Es conveniente insistir en que países como E.U. y Brasil, -- obtienen enormes beneficios del aprovechamiento del Biogás -- generado (metano) el cual tiene un poder calorífico medio de

6,300 Kcal/M³n. Por lo que es muy recomendable absorber los - costos de instalación de pozos de aprovechamiento y captación del Biogás, así como los costos de una vía de conducción del mismo a una planta de tratamiento para su distribución posterior a la red urbana, con los subsecuentes beneficios.

- Drenaje del líquido pluvial y accesos.

En toda obra de un RS deben construirse accesos y drenajes a los locales de control y operación, los cuales deberán ser re hechos y adecuados cada vez que progrese el Relleno. En la -- plaza de operación los drenes son provisionales, abiertos en el suelo o canales removibles.

Proyecto de construcción del Relleno:

Las partes constituyentes de un proyecto de construcción son las siguientes:

- Dimensionamiento de las celdas.

Las celdas se dimensionan con el objeto de economizar tierra sin perjuicio del recubrimiento además de proporcionar buena- estabilidad mecánica, su ancho y avance se calcularán a través del volumen diario de material depositado. Se recomienda que- la altura de la celda quede comprendida entre los 2.5 y 4.0 - metros, el volumen de tierra para recubrimiento se estima sea del 20 al 25% del volumen de la basura.

Como ejemplo calcularemos una celda para una población de -- 100,000 habitantes:

propondremos los valores de basura recolectada y de volumen- condensado el cual se explica más adelante.

- ° Basura recolectada 0.6Kg/hab.día X 100,000 hab.
 = 60,000 Kg/día
- ° Volumen condensado 60 T/día ÷ 0.6 T/M³
 = 100 M³/día
- ° Basura y tierra 100 M³/día X 1.25
 = 125 M³/día
- ° Plaza de trabajo 40 a 50 mts. de amplitud frontal
 (propuesta) (suficiente, no más que suficiente)
- ° Altura de celda 2.5 mts.
 (propuesta)

- ° Ancho X avance $125 \text{ M}^3/\text{día} \div 2.5 \text{ mts.}$
= $50 \text{ M}^2/\text{día}$
- °° Opción A : 4 celda/día de 10 mts. de ancho X 5 mts. de avance X 2.5 mts. de altura.
- °° Opción B : 2 celdas/día de 5 mts. de ancho X 5 mts. de avance X 2.5 mts. de altura.
- °° Conclusión : Se puede ver que las dos opciones cumplen el objetivo de cobertura, más la opción B será la mejor en tanto que muestra mayor estabilidad mecánica.

En la figura 6 se muestra un esquema para la ejecución de un Relleno Sanitario, el cual muestra la disposición de las celdas y su desarrollo a lo largo del tiempo.

- Método constructivo.

El método constructivo depende de dos factores importantes: las condiciones topográficas y características del suelo, y el nivel de aguas freáticas. Ya que este último puede ser -- determinante para imposibilitar o posibilitar la excavación-in "situ" del mismo - hipótesis más económica.

Son conocidas 3 denominaciones "Método de Area", "De Ruta", y "De Trinchera", las cuales son resultado de las condiciones locales referidas.

Es muy importante empezar el Relleno apoyando las celdas -- sobre alguna contención existente para proporcionar estabilidad al Relleno.

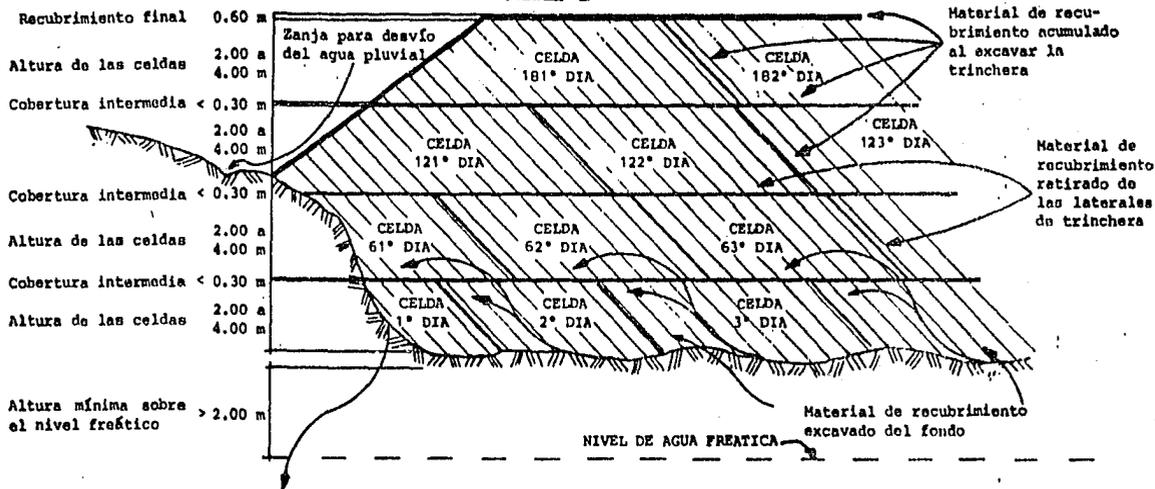
El proceso se define a continuación:

(una vez determinada la altura, ancho y avance de la celda)

Se esparce la basura en camadas de 20 a 30 cm. con un "Bull dozer" o compactador especial, para despedazar y compactar -- con relativa facilidad y uniformidad hasta alcanzar la altura de celda, todo lo anterior frecuentemente en camadas horizontales. Entre tanto, es recomendable colocar las camadas en pendiente de hasta 1:3 (altura:avance), lo cual proporciona mayor compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra, mejor contención y mayor estabilidad al Relleno, no obstante aumente el consumo de máquina.

ESQUEMA PARA LA EJECUCION DEL RELLENO SANITARIO

FIGURA 6



TRINCHERA EXCAVADA PARA ACUMULAR MATERIAL PARA EL RECUBRIMIENTO (EL MATERIAL PARA RECUBRIMIENTO CORRESPONDE AL 20% DEL VOLUMEN DE LA BASURA).

Las celdas las forma el tractor en camadas superpuestas, con pendiente de 1:3, cada una conteniendo la carga de uno a tres camiones recolectores, compactadas en tres a cinco pasajes del tractor, de abajo hacia arriba.

El recubrimiento debe ser diario, con una capa de espesor mínima (0.10 a 0.20 m), dejando un asentamiento para evitar la acumulación de aguas pluviales. La cobertura final, 60 días después de la conclusión del relleno, deberá tener por lo menos 0.60 m de espesor.

Fuente: CETESB. Limpeza pública - (LA-14). São Paulo, CETESB, 1979.

Mejor resultado se obtiene cuando la máquina empuja la basura de abajo hacia la cima, debido a la suma de los efectos de la tracción y peso de la máquina.

Para concluir, se recubre la celda con una capa de tierra -- (del orden de 15 cm.) esparcida y compactada de la misma forma que la basura. La tierra puede ser acumulada, previamente, sobre la cima de otra celda concluida y de ahí descender sobre la celda en conclusión.

En las figuras 7, 8 y 9 se muestran algunos métodos constructivos, los cuales dependen de la topografía, del nivel freático y de la disponibilidad de tierra en el lugar.

- Acabado Superficial.

El terreno del Relleno es cubierto con una capa de tierra -- que varía según las necesidades, tomando como espesores recomendables entre 40 a 60 cm. con el objeto de:

- . Soportar tráfico de vehículos
- . Permitir la instalación de drenes superficiales
- . Permitir sembrar vegetación
- . Permitir renivelaciones del Relleno Sanitario a lo largo -- del tiempo

La superficie final debe ser suave y armonizar con el entorno.

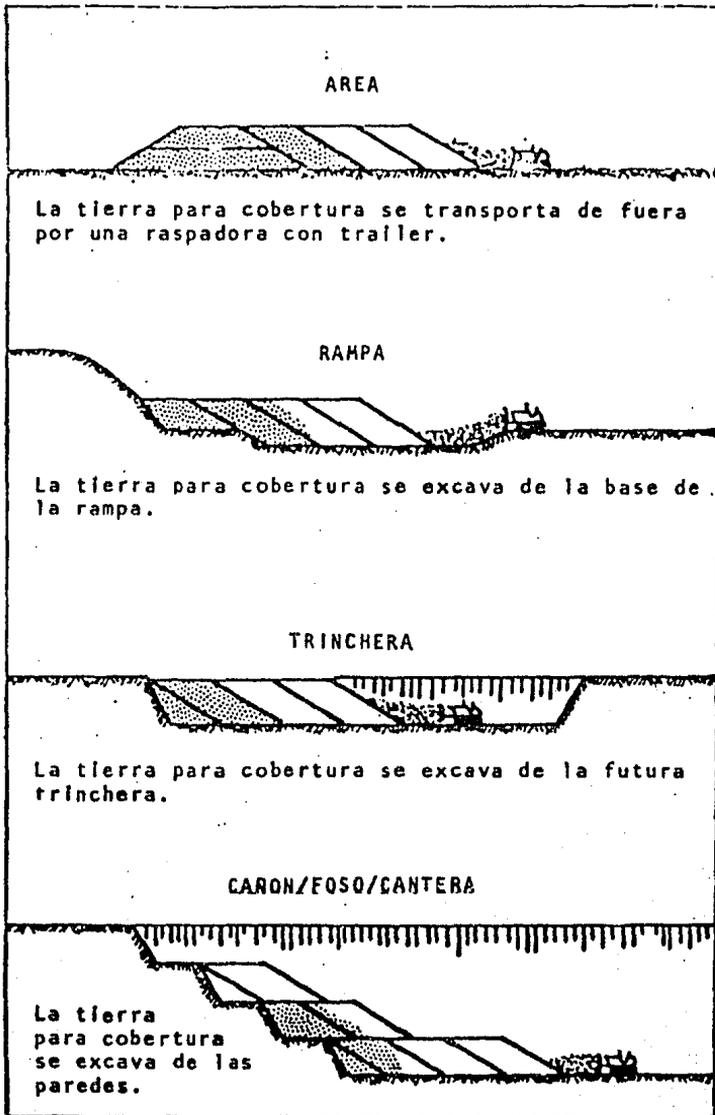
- Equipo Operacional.

El equipo más usado en un Relleno Sanitario es el rodovial -- convencional, a veces con la adaptación a manipulación de residuos sólidos. Máquinas más productivas (especiales), se --- justifican en un RS con más de 1000 T/día.

En las figuras 10 y 11 se muestran algunos de los equipos -- más utilizados en Rellenos Sanitarios, así como los accesorios necesarios para su operación.

CONSTRUCCION DEL RELLENO SANITARIO

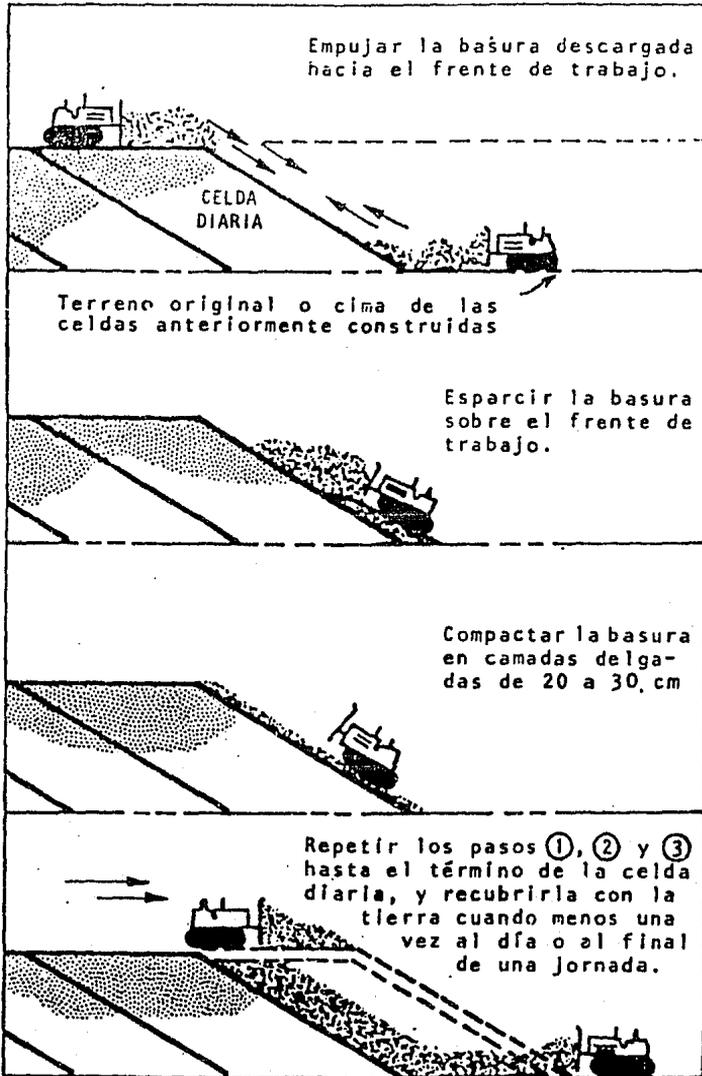
FIGURA 7



El método constructivo depende de la topografía, del nivel freático y de la disponibilidad de tierra, principalmente.

CONSTRUCCION DEL RELLENO SANITARIO

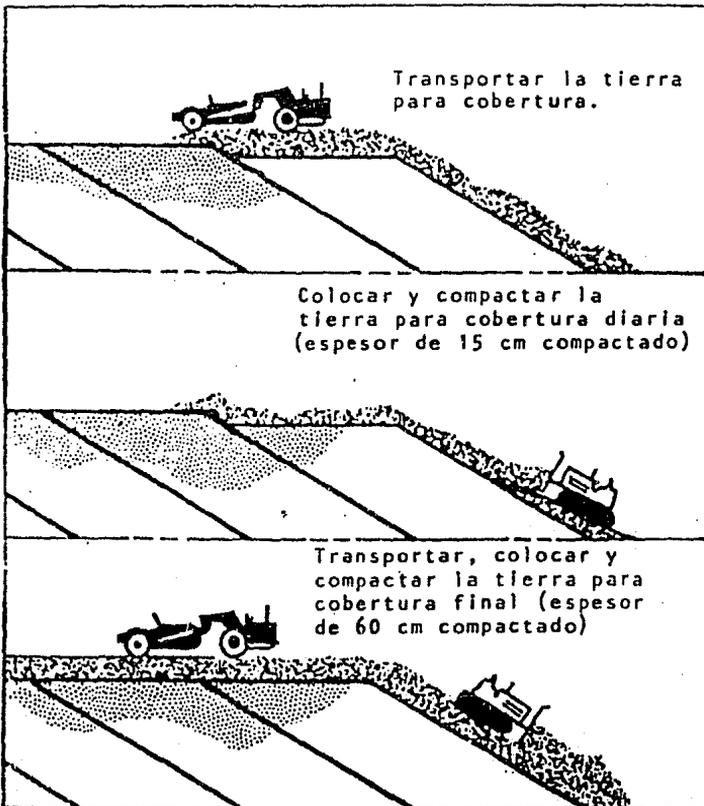
FIGURA 8



Españir y compactar los residuos.

CONSTRUCCION DEL RELLENO SANITARIO

FIGURA 9



Cubrir con tierra.

Proyecto de construcción de lotes especiales:

Estos lotes como ya se dijo son sitios que permiten acumular desechos peligrosos, además de permitir operaciones durante tiempo de lluvias. Estos lotes especiales son recomendables solo en el caso de que la producción de desechos sólidos peligrosos se torne grande. El tratamiento del suelo y paredes se hace la mayoría de veces con una capa de polietileno clorado, protegida con arena. En general, los residuos sólidos industriales pueden ser dispersados sobre el Relleno de basura urbana. Pero tal asunto no será tratado por nosotros.

Proyecto de tratamiento del efluente líquido:

El tratamiento esta destinado a reducir ciertos parámetros a los niveles aceptables para posibilitar su lanzamiento a la red o estación de tratamiento de desagüe o en curso de agua.

La recirculación del líquido por la masa rellena es el método más barato y suficiente en la mayoría de los casos.

En casos poco frecuentes es necesario un tratamiento en una laguna anaeróbica o facultativa, seguido de oxidación aeróbica o tratamiento químico.

Proyecto Paisajístico:

El Relleno Sanitario se debe integrar perfectamente al ambiente natural y adecuarse al uso futuro, considerando la entrada, contorno y superficie final. Por lo general el uso futuro de un Relleno Sanitario se destina a zonas de recreo.

Proyecto de construcciones auxiliares:

Las construcciones auxiliares deben de ser pequeñas y de bajo costo, compatible con la vida útil prevista, estas obras comprenden: cercas, portería, oficina, depósito, galpón y taller de máquinas, instalaciones sanitarias y de comodidad, iluminación, comunicaciones y seguridad.

Se recomienda usar un cerco vivo de árboles, de importancia estética y política pues oculta a los vecinos la visión de residuos sólidos, da buena apariencia y además ayuda a retener los papeles levantados por el viento.

La portería deberá contar con los medios suficientes para el control cuantitativo del material que ingresa.

D) Plan de Operación.

Este plan comprende un manual de operación, programa de entrenamiento y organigrama de administración de los proyectistas a los ejecutores de la obra, el cual deberá de traer las instrucciones suficientes para:

- Excavación, transporte y almacenamiento de tierra de cobertura.
- Construcción de las celdas (especificaciones).
- Actividades de control.
- Mantenimiento de las máquinas, equipo e instalaciones.
- Procedimientos de seguridad y emergencia.

Todo el plan operacional debe sistematizar, controlar y cuantificar las actividades, mano de obra y entrenamiento del personal que laborará en las instalaciones.

E) Plan de Implementación.

Coherente con la programación de inversiones, este plan debe enumerar las etapas de implementación y recomendar:

- Equipo para gerencia y control del Relleno Sanitario.
- Asesoría para evaluación y revisión del proyecto.
- Medidas de promoción y divulgación del proyecto.
- Medidas de prevención sanitaria para la desactivación del basural sustituido por el Relleno Sanitario.

4.4 OPERACION DEL RELLENO SANITARIO

Los trabajos de un Relleno Sanitario deben ser organizados y mantenidos con disciplina. Esta se logra a través de:

- Control del ingreso de residuos y tierra de cobertura (portería).
- Control del flujo de vehículos y personas (portería).
- Orientación del tráfico y de la descarga de residuos sólidos (plaza de operaciones).

Todas las instalaciones de acceso, iluminación, etc. deberán estar en buenas condiciones operativas. La plaza de operaciones debe ser organizada y limpia, llegando a ésta los camiones deben ser orientados hacia el sitio de descarga en el frente de trabajo.

Construcción del Relleno Sanitario:

Con motivo de aclarar los conceptos manejados en este capítulo, haremos una síntesis de las actividades constructivas revisando aquellas de mayor importancia.

Una parcela de residuos sólidos descargados y empujados por un "Bulldozer" hacia la celda en construcción se colocará en capas, esparciéndose hacia el frente y hacia atrás en forma homogénea con un espesor de 20 a 30 cm. Esta operación se repite, sobre cada capa el tractor debe pasar de 4 a 6 veces, en bandas paralelas a modo de aplastar toda la superficie.

Todas las superficies del Relleno (excepto la superficie superior, horizontal), formadas por las capas extendidas, deben estar en pendiente 1:3 (altura:avance), aproximadamente, para favorecer la compactación, drenaje y estabilidad del Relleno y economía de la tierra.

Para concluir una celda el tractor extiende una capa de tierra compactándola a modo de cubrir entera y uniformemente la basura. Basta una capa de 10 a 15 cm, salvo objetivos especiales.

Concluida una área significativa del Relleno, deberá recibir una nueva capa de tierra de 40 cm. como mínimo para nivelamiento y soporte de tráfico. Entre tanto, si esta no es la superficie final pero sí el soporte de una nueva celda de Relleno, la capa podrá ser reducida a 20 cm.

El suelo para la cobertura debe permitir buen soporte, se recomienda usar suelo arenoso-arcilloso en general. Se debe esperar entre 2 y 3 meses para construir nuevas celdas sobre las anteriores por dos razones interdependientes: La descomposición aeróbica se favorecerá y, por ser muy productiva, apresurará el asentamiento, mejorando el soporte para recibir la celda superior. Observamos que las afirmaciones de éste párrafo no se aplican a Rellenos Sanitarios con objetivos poco convencionales - para explotación de Metano, por ejemplo.

La altura de la celda es de 2.5 a 3.5 mts. generalmente y su ancho y avance dependen de la cantidad de basura diaria.

Los residuos sólidos así depositados adquieren una masa específica de entre 0.5 a 0.7 T/M³, conforme a la producción de papeles, materiales voluminosos y humedad que contengan.

Asentamiento y acabado final:

Con el pasar del tiempo el residuo sólido se descompone, parte se transforma en gas y parte en líquido, la tierra de la cobertura y humedad penetran en sus vacíos.

El asentamiento no es uniforme, sobre todo en Rellenos de varias capas de celdas, y ocasiona depresiones en la superficie del terreno, donde se acumula agua que luego es invadida por insectos y efluentes de residuos sólidos.

Para restablecer las condiciones sanitarias, el terreno debe sufrir nivelamientos periódicos, rehaciendo el drenaje.

Control de las aguas:

El control de las aguas se refiere a la conservación del drenaje pluvial periférico, superficial y de la plaza de operaciones.

El líquido contaminado del Relleno es recolectado por los drenes específicos, converge a un pozo de acumulación y es conducido al tratamiento proyectado.

El sistema será bueno si las aguas periféricas y el nivel freático no contienen contaminantes, lo cual se verificará tomando muestras de cursos de agua próximos, hasta 200 mts. siguiendo la pendiente de la capa freática.

Los puntos de recolección de muestras deberán ser indicados en el proyecto y revisarse en la práctica.

4.5 EQUIPOS

La selección de equipos será de tal manera, que se prevengan posibles descomposturas de las mismas, es decir, se escogerán máquinas convencionales, universales inclusive, porque es más probable que cuenten con mantenimiento y abastecimiento de piezas en cualquier lugar.

La determinación de tomar máquinas permanentes esta estrictamente ligada al volumen de desechos que se manejarán, siendo recomendable contar con equipo permanente en Rellenos con una

capacidad de 50 T/día o más.

En la selección de las máquinas se debe tomar en cuenta que la finalidad de las mismas, es el de triturar y compactar adecuadamente la basura, por los motivos anteriores es conveniente mostrar los equipos más utilizados en Rellenos Sanitarios actuales, (ver figuras 10 y 11).

Las especificaciones y mantenimiento de las máquinas así -- como sus rendimientos, deberán ser los adecuados para maximizar los objetivos del Relleno.

Dentro de los equipos están todos aquellos necesarios para la construcción, operación y mantenimiento de los accesos y sistemas drenantes.

4.6 CONTROL DEL RELLENO SANITARIO

El control del Relleno Sanitario es parte del sistema de -limpieza urbana y comprende:

- Operaciones
- Construcción
- Costos
- Medio Ambiente

El control se desarrolla en 3 fases: Recolección de datos, - procesamiento o síntesis informativa y análisis de las informaciones.

Control Operacional:

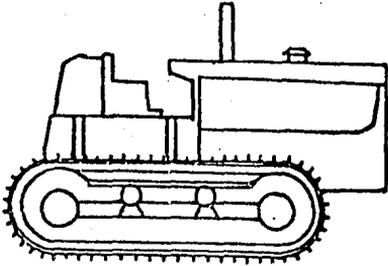
Se recolectarán los siguientes datos para la evaluación del desempeño, costos, mantenimiento e historia:

- Por menores de ingreso de materiales (basura, tierra, desechos industriales, etc), así como capacidades de los vehículos mismos.
- Flujo de vehículos y visitantes (portería).
- Registro del personal empleado (asistencia).
- Periodos de trabajo y oscioidad de las máquinas.
- Servicios de mantenimiento efectuados a cada máquina.
- Ocurrencias extraordinarias.

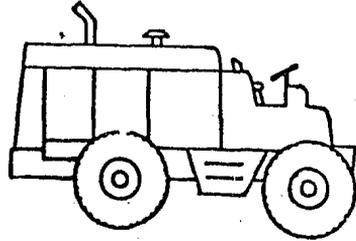
EQUIPOS MAS USADOS EN RELLENOS SANITARIOS

ACCESORIOS DELANTEROS

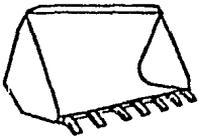
FIGURA 10



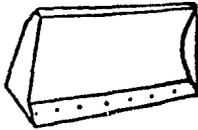
TRACTOR DE DRUGA



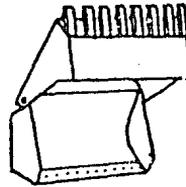
TRACTOR DE RUEDAS



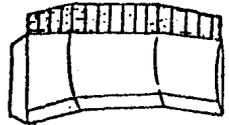
CUBETA



PLACA DE EMPUJE
(standard)



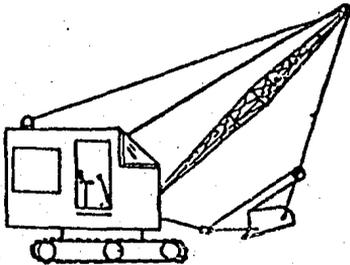
CUBETA DE USO
MÚLTIPLE



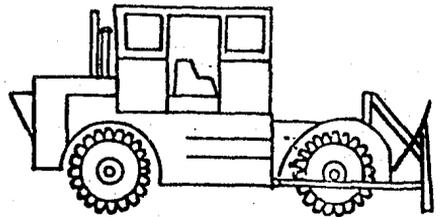
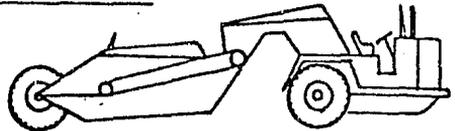
PLACA DE EMPUJE
DE BASURAS

EQUIPO ESPECIALIZADO

RASPADORA CON
TRAILLA



DRAGA
(PALA MECANICA)



TRACTOR CON RUEDAS COMPACTADORAS DE
ACERO Y PLACA DELANTERA PARA BASURAS

MAQUINAS RECOMENDADAS PARA OPERACION DE RS

FIGURA 11

BASURA (t/día)	CANTIDAD	TIPO	PESO (t)	ACCESORIOS (conforme a necesidad de RS)
hasta 40	1	tractor de oruga o de ruedas	5 a 15	Lámina frontal convencional Lámina frontal especial p/R.S. Cargador frontal (0.75 a 1.5 m ³)
40 a 140	1	tractor de oruga o de ruedas	15 a 30	Lámina frontal especial p/R.S. Cargador frontal (1.5 m ³ a 3.0 m ³) Balde de múltiples usos
140 a 280	1 a 2	tractor de oruga o de ruedas	15 ó más	Idem.
más de 280	2 ó más	tractor de oruga o de ruedas	20 ó más	Idem.

Fuente: "Relleno Sanitario" - Raúl Zaltzman - OPS - Costa Rica, (Adaptado).

Control de Construcción del RS:

Las referencias sobre levantamientos planimétricos y topográficos (anteriormente citadas), serán utilizadas para control de construcción del Relleno.

Periódicamente (cada 6 meses), se levantarán puntos de la superficie rellenada para poder trazar perfiles y confrontarlos con el proyecto.

Control de Costos:

La liquidación de cuentas y el análisis de costos se deberá efectuar profundamente y posteriormente hacer responsable de su control a la oficina de control central del RS, lo anterior a partir de las informaciones del Relleno.

La disposición de residuos sólidos en RS comunmente cuesta de 5% al 10% del total del sistema de limpieza.

Como referencia presentaré los costos apropiados para Río de Janeiro:

Relleno Metropolitano (RJ)	4,000T/día	US\$1.00/T	1983
Relleno Jacarepagua (RJ)	700T/día	US\$2.50/T	1983
Relleno (Sau Paulo Brasil)	1,000T/día	US\$0.61/T	1978
Relleno (Santiago de Chile)	120T/día	US\$6.00/T	1984
2 Rellenos (Santiago de Chile) con capacidad individual de	900T/día y		
	1,800T/día	US\$2.30/T	1984

Control del Medio Ambiente:

El control de las aguas freáticas y superficiales debe ser mensual en un inicio, y menos frecuente después de confirmada la no contaminación por el Relleno.

Deben recolectarse muestras en los puntos más bajos y más altos del RS, siguiendo la dirección de la capa freática, a distancias diversas hasta 200 mts. antes, durante y después de la construcción del Relleno.

Los parámetros a analizar son aquellos exigidos por la autoridad local que controla las aguas, (ver figura 12).

FIGURA 12
CALIDAD DEL AGUA POTABLE
Normas de la OMS (Internacional), 1963

SUSTANCIAS PRESENTES	LIMITES (*) (mg/l)		
	RECOMENDADO	ACEPTABLE	TOLERANCIA
ABS (sulfonato de alcohol-benceno)	0.5	1.0	--
Arsénico (As)	---	---	0.05
Bario (Ba)	---	---	1.0
Cadmio (Cd)	---	---	0.01
Calcio (Ca)	75	200	--
Extracto de carbono en cloroformo (CCE)	0.2	0.5(**)	--
Cloratos (Cl)	200	600	--
Cromo hexavalente (Cr ⁺⁶)	---	---	0.05
Cobre (Cu)	1.0	1.5	--
Cianatos (CN)	---	---	0.2
Fluoratos (F)	---	1.0/1.5	--
pH (concent. iones H ⁺)	7.0/8.5	6.5/9.2	--
Hierro (Fe)	0.3	1.5	--
Plomo (Pb)	---	---	0.05
Magnesio (Mg)	50	150	--
Sulfatos de Mg y Na	500	1,000	--
Manganeso (Mn)	0.1	0.5	--
Nitratos (NO ₃)	---	45	--
Compuestos fenólicos (en forma de fenol)	0.001	0.002	--
Selenio (Se)	---	---	0.01
Sulfatos (SO ₄)	200	400	--
Zinc (Zn)	5	15	--

Notas:

- (*) **Recomendados:** concentraciones satisfactorias para el consumo.
Aceptables: concentraciones arriba de las cuales la potabilidad del agua se perjudicaría "notablemente".
Tolerancia: concentraciones arriba de las cuales puede existir un riesgo real para la salud.
- (**) Concentraciones superiores a 0.2 mg/l exigen análisis adicional para determinar el agente causante.

Fuente: **PORRAS MARTIN, J. & THAUVIN, J.P.** Aguas subterráneas. Cuadernos del CIFCA. Madrid, 1978.

Con mayor frecuencia deben controlarse los líquidos que entran y salen del tratamiento proyectado, analizándose los -- parámetros exigidos para su lanzamiento en la red de alcan-- tarillado o en agua superficial conforme sea el grado de tra-- tamiento.

Será útil la medición y correlación de la precipitación con la producción de líquido percolado para recomendar el mejor-- método de tratamiento.

La emisión de gases por las chimeneas debe ser verificado -- por lo menos en las áreas donde se preveen edificaciones.

5. CONCLUSIONES

El primer paso consiste en frenar el uso inmoderado de energía y de recursos naturales. En el caso de los desechos sólidos, esto podría lograrse en parte mediante una legislación que regule la producción a modo de preservar los recursos, limitando esta a los bienes necesarios, eliminando lo superfluo. Así mismo podría proponerse algo semejante para la industria del empaçado, el uso de envases no retornables y otros. Por supuesto ésto deberá efectuarse de una manera paulatina y planeada, pues se está conciente que un cambio radical en este sentido significaría el colapso de la estructura económica de la sociedad de consumo. Aunada a lo anterior, deberá llevarse a cabo una política racional de rehuso y reciclo de materiales que también evitaría en mayor o menor proporción el agotamiento de los recursos naturales.

Otro aspecto de la solución es el de resolver el problema en sus aspectos técnicos, sanitarios y administrativos para diseñar métodos adecuados de almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de las basuras, teniendo como objetivos la conservación del medio ambiente, la salud del hombre y la eficiencia global del sistema.

Dentro de todo el análisis anterior, es muy importante resaltar la conveniencia económica del adecuado tratamiento de los residuos sólidos, ya que de ellos se pueden obtener fuentes de trabajo y enormes beneficios económicos como el que ofrece el aprovechamiento del Biógas producido en los Rellenos Sanitarios.

En nuestro análisis, no se mencionó cual sería el método o sistema de captación del gas, ya que en la actualidad en México todavía no se conoce con profundidad. Pero siendo un país eminentemente productor de petróleo, no hay duda que alguno de los métodos de captación de gas natural fuera aplicable a la captación del gas producido mediante Relleno Sanitario.

Posiblemente la inversión en un sistema de captación de gas sea elevada en un principio, pero debe de tenerse en mente que la rentabilidad de un Relleno Sanitario como productor de gas, será mucho mayor si consideráramos que el costo de extracción de gas natural cada día aumenta más, aunado a lo anterior esta el hecho del ahorro que significa el menor transporte del gas proveniente de un Relleno Sanitario.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- "SOLID WASTE MANAGEMENT STUDY 1968 AND 1970"
CALIFORNIA, E.U.
- "SOLID WASTE" TCHOBANGLIOUS G. Mc. GRAW HILL.
- "SOLID WASTES-ORIGIN, COLECTION, PROCESSING AND DISPOSAL"
MANTELL, WILLEY-INTERSCIENCE.
- PROYECTO NACIONAL DE DESECHOS SOLIDOS - LINEAMIENTOS
MEXICO.(SEDUE).
- EXPOSICION SOBRE METODOLOGIA Y SISTEMAS DE TRABAJO APLI-
CADOS EN LAS DIFERENTES AREAS DE SANEAMIENTO URBANO Y E-
LIMINACION DE RESIDUOS SOLIDOS.
MEXICO.(SEDUE).
- CURSO SOBRE MANEJO Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLI-
DOS MUNICIPALES.
MEXICO.(SEDUE).
TOMOS I Y II. 1984.
- PROYECTO Y PLANIFICACION DE INSTALACIONES SANITARIAS ---
MODERNAS.
LABRYGA, FRANZ
BARCELONA. ESPAÑA