

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA

**BASES DE DISEÑO DE RELLENO SANITARIO MANUALES**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**I N G E N I E R O C I V I L**  
P R E S E N T A :  
FRANCISCO JAVIER MENDOZA CADENA

DIRECTOR DE TESIS: M.C. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/186/2001

Señor  
**FRANCISCO JAVIER MENDOZA CADENA**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.C. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES"**

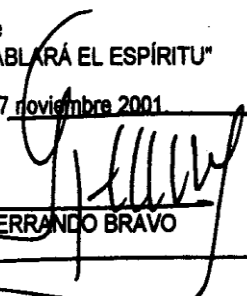
- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. BASES DE DISEÑO
- III. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE CELDAS
- IV. BASES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN
- V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 7 noviembre 2001  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg

A MIS PADRES :

Con todo mi cariño por su infatigable apoyo e infinita confianza:

OLIVIA CADENA DE MENDOZA

JOSE REFUGIO MENDOZA RAMÍREZ

A MI FAMILIA:

Con Amor:

ESPOSA: MARIA DE JESÚS VARGAS DE MENDOZA

Hijos: JOSE FCO. Y A. GUADALUPE

A MIS HERMANOS:

Con Afecto:

LUZ MARIA Y VICTOR J.

A MIS PROFESORES, COMPAÑEROS Y AMIGOS.

Mi mas sincero agradecimiento al M.C. Constantino Gutiérrez Palacios, que gracias a su apoyo, orientación y enseñanza hicieron posible este trabajo.

A todo el personal que directa e indirectamente hicieron posible este trabajo.

# INDICE

| TEMARIO                                                 | PAGINA |
|---------------------------------------------------------|--------|
| INTRODUCCIÓN                                            | 5      |
| 1 ANTECEDENTES                                          | 9      |
| 1.1 CONCEPTOS GENERALES                                 | 19     |
| 1.2 DESPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS                     | 25     |
| 1.3 RELLENOS SANITARIOS                                 | 32     |
| 1.4 NORMAS MEXICANAS (NOM-083 Y NOM-084)                | 36     |
| 1.5 PROYECTO EN AMERICA LATINA                          |        |
| 2 BASES DE DISEÑO                                       | 42     |
| 2.1.1 SELECCIÓN DEL SITIO                               | 44     |
| 2.1.2 ASPECTOS ECONOMICOS                               | 47     |
| 2.1.3 ASPECTOS SOCIALES                                 | 47     |
| 2.1.4 ASPECTOS TECNICO AMBIENTALES                      | 48     |
| 2.2 ESTUDIOS PREVIOS                                    | 51     |
| 2.2.1 ESTUDIOS HIDROLOGICOS                             | 51     |
| 2.2.2 ESTUDIOS TOPOGRAFICOS                             | 53     |
| 2.2.3 ESTUDIOS GEOLOGICOS                               | 53     |
| 2.2.4 ESTUDIOS CLIMATOLOGICOS                           | 57     |
| 2.2.5 ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL                     | 57     |
| 2.3 OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PERIFERICA                 | 62     |
| 2.3.1 VIAS DE ACCESO                                    | 62     |
| 2.3.2 DRENAJE PLUVIAL EXTERNO                           | 63     |
| 2.3.3 PROTECCION EXTERNA                                | 70     |
| 2.4 OBRAS DE INFRAESTRUCTURA INTERNA                    | 70     |
| 2.4.1 PROTECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS                  | 70     |
| 2.4.2 DRENAJE DE LIXIVIADOS                             | 72     |
| 2.4.3 DRENAJE DE GASES                                  | 76     |
| 2.4.4 OBRES COMPLEMENTARIAS                             | 83     |
| 3 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE CELDAS                   | 84     |
| 3.1.1 VIDA UTIL DE RELLENO                              | 84     |
| 3.1.2 USO FINAL DEL SITIO                               | 85     |
| 3.1.3 DESEÑO DE CELDAS                                  | 85     |
| 4 BASES DE CONSTRUCCION Y OPERACIÓN                     | 104    |
| 4.1.1 SECUENCIA OPERATIVA                               | 104    |
| 4.1.2 DEPOSITO, EXTENDIDO, RECUBRIMIENTO Y COMPACTACIÓN | 118    |
| 4.1.3 HORARIO DE OPERACIÓN Y PERSONAL REQUERIDO         | 119    |
| 4.1.4 ARÉA DE DESCARGA                                  | 124    |
| 4.1.5 CONTROL DE ENTRADAS, TRAFICO Y SEÑALIZACIÓN       | 125    |
| 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                        | 125    |
| BIBLIOGRAFIA                                            | 128    |

## INTRODUCCIÓN

A través de los tiempos, el problema de la disposición final de los desechos se ha venido agravando y exigiendo soluciones efectivas que no alteren el medio ambiente. Dicho problema ha sido ocasionado principalmente por las altas concentraciones urbanas; al mismo tiempo que el desarrollo industrial ha traído consigo mayor cantidad y variedad de productos que en su mayoría no consumimos, sino que sólo los usamos y los regresamos al medio ambiente en estado alterado. Por otra parte, la falta de conciencia y conocimiento para el aprovechamiento óptimo de productos perecederos como frutas y verduras, agudiza aún más los problemas actuales de la disposición final. El Relleno Sanitario Manual, la práctica de enterrar la basura es una medida sanitaria eficaz para disponer en forma segura de los desechos sólidos.

Dada la magnitud del problema, en varios países se han venido estudiando diferentes métodos de tratamiento y disposición final de los desechos sólidos que no afecten el medio ambiente, entre los cuales se destaca la incineración, el composteo, la compactación, la trituración, la recuperación, el relleno sanitario, así como los rellenos sanitarios manuales, siendo éstos últimos uno de los más económicos, seguros e higiénicos. Tomando en cuenta, que al realizarse bajo mecanismos manuales La Antigua, Colombia o en Porto Bello, Panamá, en donde se han llevado a cabo proyectos de este tipo, que sirven como base para realizar el proyecto de Relleno Sanitario Manuales en México, donde las características lo ameriten, según las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes. Al llevarse a cabo estos proyectos se reducirá la contaminación del medio ambiente, en tiempos que se pueden controlar sin tener que llegar a espacios extremos, como sucedió en regiones de América Latina, donde se agravó este problema por la falta de proyección adecuada.

En México, la disposición final de los desechos no recibe en la inmensa mayoría de los casos, la atención debida, ya que se recurre únicamente al tiradero a cielo abierto ocasionando impactos al medio ambiente, por todos conocidos como son, gran generación de humos por incendios espontáneos, malos olores, proliferación de insectos y roedores y contaminación del manto acuífero. En particular, durante varias décadas en el Distrito Federal, gran parte de los residuos sólidos fueron dispuesto en tiraderos a cielo abierto, contaminando en forma agresiva el medio ambiente.

Sin embargo, en los últimos años, las instituciones gubernamentales han tomado medidas para controlar la disposición final de los desechos, a través de la implementación de rellenos sanitarios en sitios apropiados y clausurando los tiraderos existentes, como es el caso del tiradero ubicado en Santa Cruz Meyehualco, clausurado por el Departamento del Distrito Federal en 1983, mediante el recubrimiento de los desechos con material limo arcilloso (tepetate), así como la perforación de pozos para el venteo de gas generado por la biodegradación de tipo anaeróbico que sufren los sólidos acumulados. Como producto de esas acciones, hoy en día se encuentra operando el relleno sanitario de Bordo Poniente, ubicado en la zona federal del ex lago de Texcoco, captando un 25% aproximadamente de las 10,000 toneladas de residuos generados en el Distrito Federal. Sin embargo, todos estos logros se han visto frenados debido principalmente a problemas sociales y políticos, así como por la carencia de una economía suficiente y una tecnología adecuada.

Citamos al Distrito federal como un antecedente, donde se ha comprobado que el proceso de enterrar la basura en depósitos sanitarios es la opción adecuada, que representa la solución a las ciudades como la de México, resultando un menor nivel de degradación ecológica.

Los depósitos sanitarios están regidos por las Normas Oficiales Mexicanas, NOM-83 y NOM-84, y en la Guía de Diseño, Construcción y Operación de Depósitos Sanitarios Manuales, se contempla sus restricciones como es la producción de desechos sólidos de 40,000 habitantes.

Cabe indicar que la principal razón que los municipios señalan al referirse al problema de la basura es la falta de recursos financieros; es aquí principalmente donde los rellenos sanitarios manuales, representan una alternativa eficaz para la disposición de los desechos, ya que, con un plan adecuado se minimizan los gastos de operación, siendo éstos representativamente bajos en comparación con los beneficios brindados.

El objetivo fundamental de este trabajo consiste en presentar la viabilidad de rellenos sanitarios manuales en donde se cumpla con las Normas Oficiales Mexicanas, NOM-83, NOM-84 y con la Guía de Diseño, Construcción y Operación de Depósitos Sanitarios Manuales, que contemplan restricciones como la producción de desechos sólidos de 40,000 habitantes, como es en el caso de pequeñas ciudades o comunidades, donde se considera que la organización sea tan óptima que permita la división de los desechos sólidos en orgánicos e inorgánicos. De esta forma presentará un gran avance en el proceso de realizarlo bajo mecanismos manuales y con esto la optimización de los recursos económicos que los municipios obtienen tan reducidamente. Es de

considerarse que el estudio presentado como antecedente, en el cual se recalca la participación de la ciudadanía, así como de las autoridades gubernamentales, con la colaboración de la iniciativa privada y de los medios de comunicación. De esta manera se puede llevar a cabo no solo en ciudades y/o comunidades donde la producción de desechos sólidos. Este en un rango de producción, como indica la Guía de diseño, obteniéndose con esto un margen más amplio en la producción de desechos sólidos y de esta manera se justifica la opción de llevar a cabo proyectos como los rellenos sanitarios manuales con rangos de diseño mayores a lo estipulado en las Normas Oficiales Mexicanas, NOM-83, NOM-84 y en la Guía de Diseño, Construcción y Operación de Depósitos Sanitarios Manuales.

Uno de los problemas más importantes en los países en desarrollo, como es el caso de México, América Latina y algunos casos de Europa misma, en que los gobiernos presentan una economía ajustada, aunado a la falta de educación de los habitantes, los cuales han estado viviendo en un espejismo, donde se considera que el gobierno es el único responsable de los problemas derivados por el destino final de los desechos sólidos (basura).

Se pueden proyectar depósitos sanitarios manuales en ciudades o municipios en que se amerite el diseño de un depósito sanitario manual y cumplan con especificaciones para el desarrollo de este proyecto así como en donde se realice la preselección de desechos sólidos como es el caso de desechos orgánicos y que forman a la postre los llamados composteos. Es de considerarse la perspectiva anterior, que este proyecto mantiene, donde la base fundamental de llevarse a cabo bajo mecanismos manuales y con maquinaria menor, da gran impulso a los recursos financieros que presta el gobierno estatal y/o Federal.

De esta forma se mantiene un equilibrio ambiental sin llegar a extremos críticos ecológicos.

Los depósitos sanitarios manuales, cumplen con diferentes fases como es la planeación, administración, estudios geológicos, topográficos e hidrológicos así como la etapa constructiva .

Para el adecuado desarrollo y conjugación de las fases mencionadas deberá contarse con una persona con conocimientos y experiencia en las mismas (Ingeniero Civil), además de una concientización adecuada sobre los objetivos generales que se buscan con la construcción de un relleno sanitario manual.

Así pues, en este trabajo se trata de resaltar la importancia del relleno sanitario manuales, como solución a los problemas de disposición final de la basura que se viven en la actualidad. Para ello el contenido se ha dividido en los siguientes temas: En el capítulo numero 1 se contemplan antecedentes realizados en el siglo pasado en Latinoamérica, así como conceptos generales de rellenos sanitarios, residuos sólidos y las NOM-083 y NOM-084: se ejemplifica el proyecto ambicioso llevado en Latinoamérica (Panamá) en el cual es primordial la organización y desarrollo que prestaron los Estados Unidos de Norteamérica (EUA) . En el capítulo segundo se indican las Bases de Diseño (selección del sitio y aspectos socioeconómicos y técnicos), los estudios previos así como las obras de infraestructura (internas y externas). En el capítulo tercero se contempla el diseño y dimensionamiento de celdas y la vida útil y el uso final del sitio. En el capítulo cuarto se consideran las bases de construcción y operación del depósito sanitario manual, así como una evaluación de los mismos para las diferentes labores dentro de un relleno sanitario manual, finalmente en el capítulo quinto las conclusiones y recomendaciones de este trabajo, haciendo énfasis en los problemas que ocasionan el disponer de la basura en forma no controlada así como las ventajas que brinda la utilización de un relleno sanitario manual. A pesar de los problemas económicos por los que atraviesan los países en desarrollo como es el caso de la República Mexicana en donde en el censo del año 2000, realizado por el gobierno Federal a través del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI), nos demuestra que existen varios municipios y ciudades que cuentan con las bases que se requiere para llevar a cabo el proyecto de Rellenos Sanitarios Manuales, como se mencionó anteriormente el factor económico es el elemento principal para desarrollar una obra de ingeniería de esta magnitud y que en la mayoría de los casos, no se cuenta con dicho factor económico, por parte de la administración municipal o estatal según sea el caso, estando sujetas al presupuesto federal reducido y exigido por los diferentes requerimientos que la sociedad demanda, como son el sector salud, educación , trabajo etc. Con estos antecedentes el gobierno estatal trata de cubrir los requerimientos esenciales de las comunidades dejando desprotegido al sector ambiental ecológico y con esto empezando la degradación del ambiente y la contaminación la cual en muchos de los casos, es un factor irreversible por la diversidad de desechos sólidos que se presentan en el ambiente de una manera desorganizada e incontrolable contemplándose desde desechos tóxicos y peligrosos. Citamos alguna experiencia que se presento en América Latina (Panamá), país que es muy pequeño comparativamente en extensión territorial con la República Mexicana, el cual presenta los problemas semejantes a los países en desarrollo como es la explosión demográfica y su economía

ajustada. Como se analiza, este problema ecológico es el resultado de mucho tiempo de descontrol y de la falta de concientización de los habitantes y considerando que la explosión demográfica (población) es analizada en período relativo, significa que en la actualidad la población ha aumentado considerablemente y con esto la producción de desechos sólidos de varios tipos.

## 1.- ANTECEDENTES

En la Republica Mexicana existen varias entidades en las que se podría contemplar la opción de construir un relleno sanitario manual, considerando las normas técnicas citadas. Citamos el siguiente antecedente en el cual se observa que la organización social es base principal para la obtención de resultados positivos, esto es con la cooperación de la ciudadanía y un proyecto definido se obtendrán resultados como el antecedente que citamos en la Republica de Panamá.

Panamá (nombre oficial de República de Panamá), situada en centroamericana, es el istmo que une a América del Sur con América Central. El país, dividido por el canal de Panamá, limita al norte con el mar Caribe, al este con Colombia, al sur con el océano Pacífico y al oeste con Costa Rica. La superficie total de la República es de 75.517 km<sup>2</sup>, incluidas la región del canal de Panamá y sus numerosas islas, como Coiba, Jicarón, Cébaco o las del archipiélago de las Perlas, entre otras. Su capital es la ciudad de Panamá.

Población. La República de Panamá presenta una población muy diversa. Según el censo de 1990, un 64% es mestiza, un 14% mulata y negra, un 10% descendientes de europeos, casi un 8% de indígenas —básicamente de las etnias kuna (kuna), guaymí y chocó— y un 4% descendientes de asiáticos, principalmente chinos. En 1998 el 57% de la población vivía en ciudades. Características de la población. Según estimaciones para 2000, Panamá contaba con una población de 2.821.085 habitantes, lo que daba al país una densidad de 37 hab/km<sup>2</sup>. La esperanza de vida era de 72 años para los hombres y 78 años para las mujeres (según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas). Casi una cuarta parte de los panameños viven en sólo dos áreas metropolitanas, Panamá y Colón.

Divisiones administrativas y ciudades principales Panamá se divide en nueve provincias - Bocas del Toro, Chiriquí, Coclé, Colón, Darién, Herrera, Los Santos, Panamá y Veraguas— y en cuatro comarcas, la Comarca de San Blas (Kuna Yaga), Kuna Madungandí, Emberá Wounaan y Ngöbe Buglé (Guaymí). La capital, Panamá (con una población de 668.927 habitantes, según estimaciones para 1996) es el principal centro comercial, industrial y cultural; San Miguelito (282.428 habitantes) es un distrito de la capital. Otras ciudades importantes son: Colón (158.935 habitantes),

puerto situado en la costa caribeña del istmo de Panamá y David (115.173 habitantes), centro agrícola y comercial situado cerca de la frontera con Costa Rica.

El sistema actual de manejo de los desechos en Panamá se encuentra virtualmente colapsado. Esta circunstancia ha obligado al Gobierno de la República a transferir la gestión de los desechos a los municipios. ¿Cuáles son los factores clave de la crisis?. En primer término, existe un gran déficit en la cobertura del servicio de recolección: el Área Metropolitana está generando diariamente alrededor de 1,200 toneladas métricas de desechos sólidos domiciliarios, institucionales, industriales, hospitalarios, tóxicos y peligrosos, no obstante, el Relleno Sanitario de Cerro Patacón está recibiendo un promedio de 850 (un 70%). Cerca de 350 ton/día terminan acumulándose en vertederos clandestinos, en las proximidades de ríos y acequias locales, dentro de las urbanizaciones y a la vera de caminos y carreteras.

Esta situación está provocando una mayor contaminación hídrica, un paulatino aumento de los niveles de insalubridad de la población y, a largo plazo, la disminución de la vida útil del Canal de Panamá, pues si continúa expandiéndose el crecimiento humano e industrial hacia las áreas ribereñas de la vía interoceánica, podría convertirla en el depósito de los desechos urbanísticos. ¿Cómo llegaron los panameños a esta situación de crisis ambiental?, ¿Cuáles son las alternativas viables para enfrentar el problema?. El presente artículo procura contribuir a responder a estas dos preguntas cruciales.

## LAS OPCIONES TECNOLÓGICAS Y LAS DIFICULTADES FINANCIERAS DURANTE LA ADMINISTRACIÓN NORTEAMERICANA (1903 - 1953)

Durante 100 años Panamá ha contado con dos modelos gestión de los desechos sólidos: Un modelo subsidiado y centralizado en la Administración del Canal y luego en Gobierno Central, con el objetivo primordial de garantizar el saneamiento del área canalera; y un modelo "municipal" en el resto del país, en donde la limpieza pública fue una tarea de los municipios, los cuales carecieron por regla general- del interés, la capacidad, los recursos y la voluntad para encontrar soluciones al problema. Desde el inicio de la construcción del Canal, se procuró disminuir los niveles de insalubridad de la Ciudad de Panamá. Se plantearon 3 objetivos primordiales:

1. Erradicar la costumbre en la población local de deshacerse de los desechos lanzándolos a la calle (mediante campañas educativas, vigilancia sanitaria y fuertes sanciones);

2. Establecer un sistema organizado de recolección de los desechos; y
3. Poner en práctica un método adecuado para la disposición final.

En 1905 la Comisión del Canal de Panamá, estableció en la Ciudad de Panamá la Oficina de Salubridad Pública (Health Office), la cual se encargó de la limpieza de calles y la recolección y disposición final de los desechos. El barrido de calles y la recolección y transporte de los desechos no planteó mayores problemas, pues se trata de operaciones sencillas que requieren de inversiones relativamente modestas. Primero la basura se recogió y transportó en carretas. En la década de los 30 se adaptaron carros de ferrocarril para trasladar los desechos hasta el sitio de disposición final y se introdujeron los camiones "Colecte", aparentemente de compactación hidráulica, con capacidad de 7 1/2 yardas cúbicas.

La dificultad, como ocurre actualmente, consistió en dar un adecuado tratamiento final a los desechos. Se exploraron 4 alternativas:

1. Botarla en el mar;
2. Depositarla y quemarla en botaderos a cielo abierto;
3. "Rellenar" pantanos, manglares y cursos de río; y
4. La incineración a gran escala o en hornos sencillos.

De todas, la única propuesta que no se puso en práctica fue botar la basura en el mar, aunque se intentó. Efectivamente, en agosto de 1930 se abrió una licitación con el propósito de contratar una compañía que construyera un muelle o rampa para poder cargar barcas con aproximadamente 333 yardas cúbicas diarias de basura. A pesar de que participaron 3 empresas, la licitación se declaró desierta porque las ofertas económicas fueron consideradas muy altas. La propuesta fue desechada por razones económicas, no ambientales.

Desde esa época hasta el presente, la solución al problema de los desechos ha dependido no de la oferta tecnológica existente, sino de su costo. La escasez de medios o recursos materiales y humanos para alcanzar un manejo adecuado fue una constante a lo largo del siglo XX.

Inicialmente la Oficina de Salubridad estableció que el presupuesto máximo del servicio de recolección, transporte y disposición final de la basura sería B/.48.000 anuales, financiado en un 79% (B/. 38,000) por el Gobierno panameño y en un 21% (B/ 10,000) por la administración norteamericana.

En la práctica el tope de los B/. 48,000 siempre fue excedido. Entre 1907 y 1913 el Gobierno de Panamá retomó brevemente el servicio, gastando entre B/. 60,000 y B/. 72,000 anuales. Esta fue la razón principal para que el servicio se devolviera a la Oficina de Salubridad.

Sin embargo, dicha Oficina también excedió el presupuesto, cuando decidió adquirir un incinerador "Decarier" a un costo de B/. 110,900, el cual fue instalado en la Isla Gavilán (1918-1920). Originalmente debía procesar 135 toneladas diarias de basura calculadas a B/ 0.52 la tonelada, pero finalmente aumentó a B/.1.16. Luego de dos años de operaciones, el gasto promedio mensual era alrededor de B/.2,700. Esta circunstancia, sumada a las continuas protestas por parte de los habitantes de Quarry Heights, Balboa y Albrook, afectados por las humaredas y los malos olores, condujeron a su cierre definitivo.

En cambio, un incinerador construido en Summit demostró mayor eficacia y aparentemente funcionó sin contratiempos durante la década de los 30 hasta que los costos elevados (B/. 0.72/tonelada en 1941) y el incremento de la población obligaron a abandonar este método.

El procedimiento "más barato" por excelencia consistió en depositar los desechos en basureros a cielo abierto y quemarlos. Se promovió también, incluso por científicos de la época, el relleno con basura de pantanos, manglares y cursos de los ríos que rodeaban la ciudad. Entre 1918 y 1920 este procedimiento costó B/. 600 mensuales, apenas una quinta parte de lo que se gastaba en incinerar la basura. Posiblemente nunca sepamos la verdadera magnitud del costo ambiental causado por los lixiviados.

## 2. NUEVA ADMINISTRACIÓN: VIEJOS DILEMAS (1953-1998)

En 1953, a raíz de los Tratados Remón - Einsenhower, el Gobierno panameño asumió la responsabilidad del aseo urbano. ¿Qué heredaron los panameños del período anterior?. Podemos mencionar tres herencias principales:

a) Una "cultura del no pago" fuertemente arraigada en la población. Durante 50 años nunca fue establecido el cobro de una tasa de aseo. Los panameños se acostumbraron a que el servicio era financiado por la Oficina de Salud y su Gobierno; desde la perspectiva del usuario el servicio debía ser gratuito.

b) El aseo urbano era responsabilidad de entidades centralizadas (Oficina de Salud, DAC, IDAAN, DIMA), sin ninguna participación de los municipios. Los que tomaban las decisiones estaban muy lejos del ciudadano común y de las comunidades, lo que reforzó la actitud desaprensiva y despreocupada de los panameños con relación al problema de la basura.

c) Completa despreocupación por los impactos ambientales. Una vez establecido en el presupuesto de la Nación el monto máximo que se emplearía en el rubro de aseo, el esfuerzo se orientaba a buscar los procedimientos más "baratos", sin medir las consecuencias ambientales.

En 1953 los panameños decidieron continuar por el camino trazado por la administración norteamericana, pero las circunstancias habían cambiado: se había iniciado el proceso de "urbanización desbordante", lo cual condujo al incremento acelerado de los volúmenes de los desechos y de la demanda de servicios de aseo urbano.

En este contexto, poco podía hacer el Departamento de Acueductos, Calles y Alcantarillados (DACA), adscrito al Ministerio de Trabajo, Previsión Social y Salud Pública, heredero de la antigua Oficina de Salubridad. Los presupuestos asignados al rubro de aseo urbano (cerca de los B/.400,000 anuales) eran insuficientes. Para disponer de liquidez se redujo drásticamente el gasto de mantenimiento y la reposición de los equipos; además, la disposición final se "abarató" aplicando un procedimiento harto conocido: el sitio se ubicó en los manglares al este de Panamá Viejo.

En 1961 el sistema de gestión de los desechos sólidos se encontraba colapsado: de 20 camiones recolectores solo operaban 4; la cobertura se redujo a un 30%; y el botadero de Panamá Viejo se había convertido en un peligroso foco de contaminación. Entonces la responsabilidad por el servicio empezó a dar tumbos: la DACA fue disuelta en 1962 y sustituida por un Patronato de Aseo que a su vez fue eliminado en 1967; las funciones se transfirieron a la Dirección General de Aseo del Municipio de la Ciudad de Panamá, y posteriormente al Ministerio de Obras Públicas.

La crisis estructural del aseo urbano en la Ciudad de Panamá tuvo un "respiro" a partir de 1968. En ese año se creó el Departamento de Aseo, bajo supervisión del Director Ejecutivo del IDAAN, pero esto no fue realmente lo importante. Ocurrieron dos circunstancias que pospusieron, pero no eliminaron, la crisis:

En la década de los 70's el estado panameño dispuso de importantes recursos económicos, lo que le permitió continuar subsidiando el servicio de aseo urbano y a partir de 1970 se inició el cobro de la tasa de aseo. La situación financiera mejoró de manera significativa, pero los problemas de fondo continuaron intactos.

En 1979, en un contexto de crisis financiera internacional, el problema de los desechos sólidos se agravó nuevamente. La tonelada métrica de basura pasó de B/. 15.00 en 1970 a B/.31.00 en 1980. Además, existía ya una mayor preocupación por los problemas ambientales: el basurero de Panamá Viejo fue declarado zona de emergencia sanitaria.

Se inició entonces un proceso paulatino en dirección a un nuevo modelo de gestión. En 1984 se creó la DIMA como entidad autónoma del Estado, el basurero de Panamá Viejo fue cerrado en 1986 y se construyó el relleno sanitario de Cerro Patacón.

La creación de la DIMA fue un paso adelante en la organización técnica del servicio, desde el barrido de calles hasta la disposición final. Pero dejó intacto el persistente problema a lo largo del siglo XX: La sostenibilidad del sistema. La integración del cobro de la tasa de aseo al sistema de facturación del IDAAN incorporó un mecanismo compulsivo indispensable para combatir la "cultura del no pago", pero el servicio de agua potable arrastra hasta el presente una elevada morosidad: No fue el mejor matrimonio.

A finales de los 90 resultó evidente que el modelo de gestión debía ser modificado sustancialmente.

### 3. LA "MUNICIPALIZACIÓN DEL SERVICIO" Y EL RETO DE LA SOSTENIBILIDAD

La "Municipalización" del servicio de aseo urbano en los Distritos de Panamá, San Miguelito y Colón llegó con 100 años de retraso. Esto puede ser una debilidad, si consideramos que los municipios carecen de experiencia e infraestructura, y heredan una cartera de clientes morosos; pero igualmente podría considerarse una fortaleza, pues no existen "resistencias al cambio" que obstaculicen una reestructuración sustancial del sistema.

El escenario histórico ha cambiado nuevamente y los métodos de gestión de los desechos sólidos no pueden responder como antes simplemente a la búsqueda del "método más barato" para "recolectar y rellenar". Este enfoque no es sostenible en términos ambientales ni financieros.

Podemos mencionar los siguientes cambios fundamentales:

- a) Hacia la fuente de generación; reducir al mínimo los desechos y preservar el ambiente. Esto significa tres cosas; promover la separación, recuperación y reutilización de materiales reciclables en el ámbito domiciliario.

Aumentar la eficacia de la utilización de los recursos, incluidos un aumento de la reutilización y del reciclado de los desechos y reducción de la cantidad de desechos por unidad de producto económico, en las instituciones públicas, las empresas y las industrias. Establecer un manejo adecuado de los desechos sólidos peligrosos. De esta forma se logran varios propósitos: Los usuarios abandonan el papel de simples "productores de desechos" y asumen responsabilidades prácticas orientadas a darles un aprovechamiento productivo; al mismo tiempo que se contribuye a disminuir los volúmenes en los sitios de disposición final.

- b) Reducción de costos en la fase de recolección y transporte de los desechos mediante la utilización de tecnologías apropiadas y el uso intensivo de mano de obra, especialmente en las áreas urbanas y rurales más pobres.

Seguramente el principal reto en América Latina es promover sistemas de manejo de desechos sólidos que atiendan a las áreas de mayor pobreza, donde prevalecen condiciones precarias, inaccesibilidad y renuencia al pago de la tasa de aseo. Esto tiene relación directa con el tipo de tecnología empleada. La elección de tecnologías apropiadas para la recolección de los residuos domésticos depende en gran medida de la accesibilidad (es decir, de la amplitud de las calles - anchas o angostas- y si son rectas o curvas), del tipo de terreno (plano o accidentados), del estado físico de las calles (asfaltado o no), de la cantidad de residuos y materiales a transportar, y de las distancias que deben recorrerse. Además, las formas de recolección primaria en muchos casos están condicionadas por la cultura de las comunidades (por ejemplo, la preferencia por la recolección puerta a puerta).

Un error frecuente (generalmente inducido por representantes de las empresas fabricantes) consiste en la adquisición de equipo de poca utilidad en las zonas urbanas más pobres. Incluso moderno equipo donado a los municipios, muchas veces terminó deteriorándose porque no logró financiarse el mantenimiento (ciertamente los repuestos no son donados) porque no pudo utilizarse en las áreas urbana marginales. Además, en virtud de las restricciones presupuestarias de los municipios, muchas veces estos equipos no reciben el mantenimiento adecuado, a tal punto que ocasionalmente causan serios accidentes.

Al respecto, el señor Carl Bartone ha indicado lo siguiente; "Mientras los problemas descritos continúan ocasionando dolores de cabeza a los gobiernos locales, algunas soluciones innovadoras y viables son ya ejecutadas dentro de muchas comunidades de bajos ingresos por microempresas individuales y cooperativas, o por iniciativas comunales. Las microempresas recolectan la basura en sus comunidades, en donde, a pesar de ser pobres, las poblaciones se encuentran dispuestas a pagar por el servicio, y las microempresas son comprometidas por las comunidades - y algunas veces por los gobiernos locales - a transportar la basura hasta los lugares donde se realiza la disposición final; inclusive, algunas de ellas operan pequeños rellenos. En otros casos, los recuperadores han sido animados a organizar cooperativas o asociaciones de reciclaje para brindar servicios más seguros y eficientes.

Mediante el acceso a oportunidades, educación y asistencia financiera, ha sido posible incrementar el estatus, las ganancias y las condiciones de trabajo de los recuperadores y recicladores" No existe, por lo tanto, un único patrón tecnológico ni de gestión empresarial para organizar el aseo urbano de nuestras ciudades. Lo que enseña la experiencia latinoamericana y panameña es que las microempresas poseen ventajas competitivas que las convierten en la mejor opción para prestar los servicios de recolección y transporte de los desechos sólidos en las áreas urbanas pobres y de clase media baja, densamente poblados.

Estas ventajas pueden resumirse de la siguiente forma:

- Emplear la tecnología adecuada a las necesidades de la población y a su alcance; además, de que se complementen con otras tecnologías (pueden ser complementarias con los sistemas convencionales).

- Utilizar un modelo de gestión empresarial sencillo (se trata principalmente de unidades económicas familiares).
- Realizar un servicio de claro sentido y contenido ambiental.
- Operar con bajos costos lo que les permite establecer tasas de aseo al alcance de sus usuarios.

**a) La autogestión comunitaria.**

No basta que el Gobierno central y los municipios tengan una actitud favorable con respecto a la solución definitiva del problema de la limpieza pública. Es indispensable una decidida participación de las comunidades. El concepto de "autogestión comunitaria" puede entenderse también como empoderamiento del servicio o sea;

La posibilidad de que las comunidades puedan organizar sus propias empresas para atender los servicios de recolección primaria de los desechos, articuladas al tren de aseo, cuando no existe del todo o se está brindando de manera ineficiente.

La incorporación de los moradores a las prácticas de separación y reutilización de los desechos domiciliarios, es factible, incluso para el surgimiento de microempresas comunitarias de recuperación de materiales.

Establecer tasas de aseo ajustadas a la capacidad de pago de los usuarios y erradicar de manera definitiva la "cultura del no pago". La población debe asumir la necesidad de cubrir el "costo de un servicio" y no el pago de una tasa o tributo.

**b) Un nuevo enfoque a la disposición final.**

Los rellenos sanitarios se han convertido en la técnica por excelencia para disponer de los desechos sólidos. En el interior del país posiblemente lo más indicado sea promover la construcción de rellenos sanitarios mecanizados "mancomunados", que brinden servicio a dos o más municipios. En las pequeñas poblaciones rurales es factible construir rellenos sanitarios manuales. En el Área Metropolitana todo indica que será necesario disponer de una Red de Estaciones de transferencia.

Pero el tradicional "relleno" está cambiando hacia un enfoque de Planta de Tratamiento que incluye el segregado, la recuperación y el reciclaje a gran escala. Obviamente, esto es posible con un sistema organizado para tal fin desde la fuente de generación.

En Costa Rica y Guatemala, al menos, se ha impulsado en los últimos años "Plantas Integrales de Tratamiento" (Alameda Norte, Ciudad de Guatemala) o sitios de disposición final con un enfoque "biotecnológico" (Costa Rica). La propuesta consiste en recuperar y vender los materiales inorgánicos como el plástico y la lata; elaborar abono o composta con los desechos orgánicos y "enterrar" únicamente los materiales "rechazados". Las experiencias en este campo son pocas, pero señalan nuevos caminos para resolver el problema de la disposición final dándole un aprovechamiento productivo a los desechos.

El objetivo principal de citar estos antecedentes es principalmente ilustrativo, ya que las condiciones que presenta la República de Panamá no se asemejan a las de la República Mexicana. Esto es elocuente a simple vista, ya que sus características estadísticas poblacionales y extensiones territoriales son cuantitativa y culturalmente muy diferentes, por ejemplo con la alfabetización de su población en donde debido a su explosión demográfica es bastante diferente teniendo la República de Panamá el 98% de alfabetización. La cual es bastante diferencial para poder realizar semejanzas cualitativas en relación con el antecedente propuesto.

En la república Mexicana no se a presentado este tipo de experiencias debido, porque no, a su extensión territorial la cual no enfoca como punto critico la contaminación y los trastornos ambientales críticos que se suscitaron en la República de Panamá, pero es elocuente la diversidad de contaminación ambiental que se encuentra en la República Mexicana, en donde parte de esta contaminación es producida por los desechos sólidos esparcidos en el medio ambiente, ( mares, montañas, río y lagos). Es de considerarse que proyectos bien programados evitarían continuar con la degradación del medio ambiente, que afecta mantos acuíferos y con esto la salud del ser humano, base esencial de la vida.

El antecedente nos muestra la organización óptima para evitar los trastornos ecológicos ambientales que requiere un país en desarrollo con un apoyo técnico administrativo de Estados Unidos de Norteamérica que se considera elemental en el antecedente. En la República Mexicana, la buena programación y la técnica mexicana en la ingeniería civil permitirían llevar a cabo estas obras (Depósitos Sanitarios Manuales) con la eficiencia y economía que se requiere, evitando la degradación del medio ambiente. Se contempla en el antecedente que el tiempo del proyecto es bastante largo, lo que permitiría concientizar a la ciudadanía del país, instalando los depósitos

sanitarios manuales en lugares donde sea viable la privatización de este rubro y la participación ciudadana.

## 1.1 Conceptos Generales.

### Residuos sólidos.

En la actualidad, el ser humano ha perdido la capacidad de manejar sus residuos sólidos sin generar alteraciones ambientales, habilidad que identifica a las sociedades primitivas. Por lo anterior, es vital que, al igual que el hombre de las primeras civilizaciones alcanza un amplio conocimiento de su medio, de manera tal que le permita llevar una convivencia más racional e inteligente con la naturaleza, y evite el deterioro ambiental causado por el manejo inadecuado de residuos sólidos, sobre todo en lo que se refiere a la disposición final de los mismos, dada su directa incidencia con la afectación de la salud pública y deterioro de la estética, cuando la disposición final de tales residuos se hace sin cumplir con los requerimientos que les permita controlarlos sanitariamente.

De acuerdo con lo mencionado, se debe señalar que, no obstante los importantes logros alcanzado en las últimas fechas en el medio mexicano con respecto al manejo de los residuos sólidos, desafortunadamente el método mas generalizado para llevar acabo su disposición final sigue siendo el tiradero a cielo abierto, práctica que consiste en depositar sin ningún control los residuos sólidos sobre el suelo, lo que ocasiona una serie de efectos adversos sobre el ambiente, principalmente contaminación del suelo y del agua.

### El ciclo de los residuos sólidos.

El término “residuos sólidos” conlleva a los siguientes conceptos:

- Son materiales que en el tiempo y en el espacio no tienen ningún valor para quienes los generan.
- Son materiales con un cierto riesgo de afectación a la salud pública.
- Son materiales que requieren un manejo lo suficientemente seguro para evitar daños al ambiente.

- Son materiales que, al no ser lo suficientemente atendidos, generan problemas de inquietud social y de afectación a la estética.
- Son materiales cuyo manejo requiere de un determinado costo, el cual se incrementa en función del riesgo que representa dicho manejo.
- Son materiales que tienen un cierto valor intrínseco, así como una cierta vocación para su aprovechamiento.

Por lo anterior, es importante fomentar el empleo del relleno sanitario como método de disposición final de los residuos sólidos municipales, con el fin de confinarlos adecuadamente sin deteriorar el entorno ambiental; por lo mismo deben incluirse dentro de su conceptualización aquellas medidas y mecanismos que, tanto en la etapa de construcción como en la de operación, eviten la generación de impactantes ambientales, como son principalmente el biogas y los líquidos percolados.

Ahora bien. Por su origen, los residuos sólidos municipales se pueden definir como todos aquellos materiales derivados de las actividades urbanas; como son los de domicilios, comercios y establecimientos de servicios, así como los generados por la infraestructura urbana como la red vial, el transporte y las redes de drenaje. En términos generales, se puede decir que las principales fuentes de generación de residuos sólidos municipales, son las que se listan a continuación:

- \*Domiciliarios
- \*Comercios
- \*Servicios
- \*Especiales
- \*Otros.

Por otro lado, los residuos sólidos conforman un ciclo compuesto de varias etapas estrechamente vinculadas, para que, a partir de la misma producción de los artículos de consumo, se inicie la generación de tales residuos sólidos, pasando al almacenamiento, colecta, transferencia, transporte primario y secundario, tratamiento y disposición final de los mismos, por lo que cualquier cambio o modificación que sufra alguna de estas etapas, habrá de generar un efecto directo sobre las demás. La interrelación de las etapas antes mencionadas se ilustra en la fig.1 mientras que la descripción genérica que identifica y caracteriza a cada una de las etapas mencionadas, serian las siguientes:

Colecta con separación simultánea.

Es el proceso por el cual se lleva a cabo la colecta de los residuos sólidos de manera separada, pero en un mismo vehículo. También se identifica con la actividad de coleccionar los residuos de manera integrada, pero separándolos en ruta.

Transporte primario.

Se refiere a la acción de trasladar los residuos sólidos, colectados en las fuentes de generación, a los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final.

Transferencia.

Es la acción de transferir los residuos sólidos, de las unidades vehiculares de recolección a las unidades vehiculares de transferencia, con el propósito de transportar una mayor cantidad de los mismos a un menor costo, eficientando por tanto el sistema.

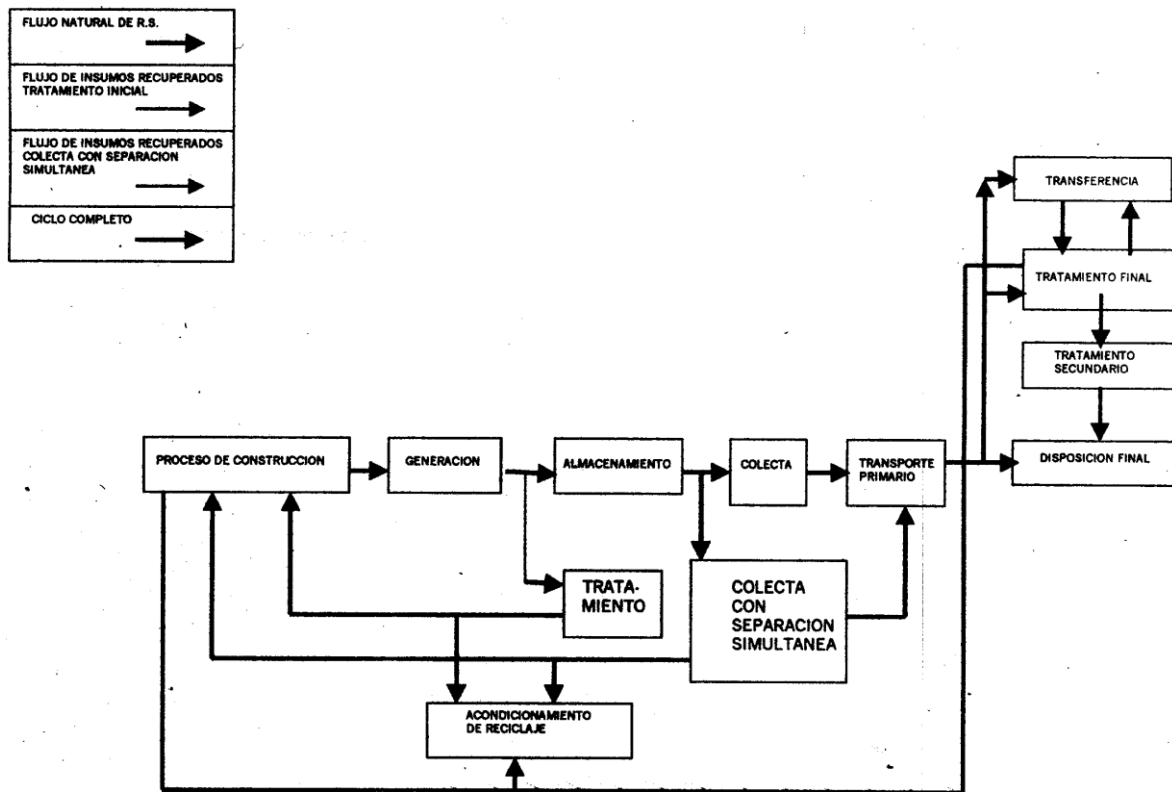


Figura 1. CICLO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

Fig. 1

#### Tratamiento final.

Es el proceso que sufre los residuos sólidos para hacerlos reutilizables y/o eliminar su peligrosidad, antes de su destino final. Esta transformación puede implicar una simple separación de subproductos reciclables, o bien un cambio de las propiedades físicas y/o químicas de los residuos

#### Generación

Se refiere a la acción de producir cierta cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos en un cierto intervalo de tiempo.

#### Almacenamiento.

Se refiere a la acción de retener temporalmente a los residuos sólidos, en tanto se colocan para su posterior transporte a los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final.

#### Tratamiento inicial.

Es el proceso de transformación que sufren los residuos sólidos en las mismas fuentes generadoras, antes de ser almacenados. Esta transformación puede involucrar desde una simple separación de subproductos reciclables hasta un cambio de las propiedades físicas y/o químicas de los residuos.

#### Colecta.

Es la acción de tomar los residuos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos dentro de los equipos destinados a conducirlos a los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final.

Es clara entonces la necesidad de atender sobre manera la disposición final de los residuos sólidos, ya que, según indicadores de la OPS/OMS, válidos para la región de América Latina, es paradójicamente, la actividad a la que por un lado se destinan menos recursos humanos y económicos, mientras que por otro lado, es la que implica un mayor daño a la salud pública y un alto riesgo ambiental.

#### Listado de los impactos ambientales.

- Afectación de la infraestructura vial
- Deterioro de la infraestructura hidráulica.
- Incremento del mantenimiento de la infraestructura urbana.

- Afectación de la estética urbana.
- Aparición de problemas de queja urbana.
- Incremento de inquietud social
- Incremento de inquietud ecológica.
- Afectación de la calidad de vida.
- Emisión de impactantes ambientales hacia el espacio urbano.
- Contaminación del aire, suelo, acuíferos, escurrimiento y embalses.
- Afectación de la salud pública.
- Riesgo de eventualidades ambientales y situaciones de emergencia.

Del listado anterior se puede observar que los impactos potenciales al espacio urbano pueden generar implicaciones sobre la infraestructura vial, sobre el bienestar de la población y sobre el ambiente, amén de la afectación potencial a la salud y seguridad de la población en general. Agrupando los impactos potenciales listados anteriormente, con base en los elementos del espacio urbano que resultan afectados, se obtiene el siguiente cuadro de interrelaciones entre los impactos potenciales debidos a la prestación de los servicios de aseo urbano que pueden verse afectados.

De acuerdo con lo anterior se puede concluir que la evaluación del grado de desarrollo y el nivel de eficiencia de los servicios de aseo urbano pueden medirse valorando la afectación real que los elementos del espacio urbano sufren por la presentación de tales servicios.

De lo anterior resulta que cada una de las actividades que componen los servicios de aseo urbano (barrido, recolección y disposición final) generan un cierto impacto sobre los elementos del espacio urbano antes mencionados. Sin embargo, también es claro que tales actividades tienen un cierto peso específico de impacto sobre dichos elementos, de manera tal que casi se relacionan de manera directa entre sí, como a continuación se indica en el siguiente cuadro, donde también se reportan estadísticas de la OMS/OPS en la última columna. Tabla 1

Tabla 1

| SERVICIO DE ASEO URBANO | INDICADOR                 | % COSTO | REQUERIMIENTO     |
|-------------------------|---------------------------|---------|-------------------|
| BARRIDO Y LIMPIEZA      | INFRA ESTRUCTURA E IMAGEN | 30-15   | 5 EMP/10000 HABS. |
|                         |                           |         |                   |

|                    |                          |       |                          |
|--------------------|--------------------------|-------|--------------------------|
| BARRIDO Y LIMPIEZA | BIENESTAR POBLACIONAL    | 55-75 | 5 EMP/ 10000 ..<br>HABS. |
| DISPOSICIÓN FINAL  | AMBIENTE Y SALUD PUBLICA | 15-10 |                          |

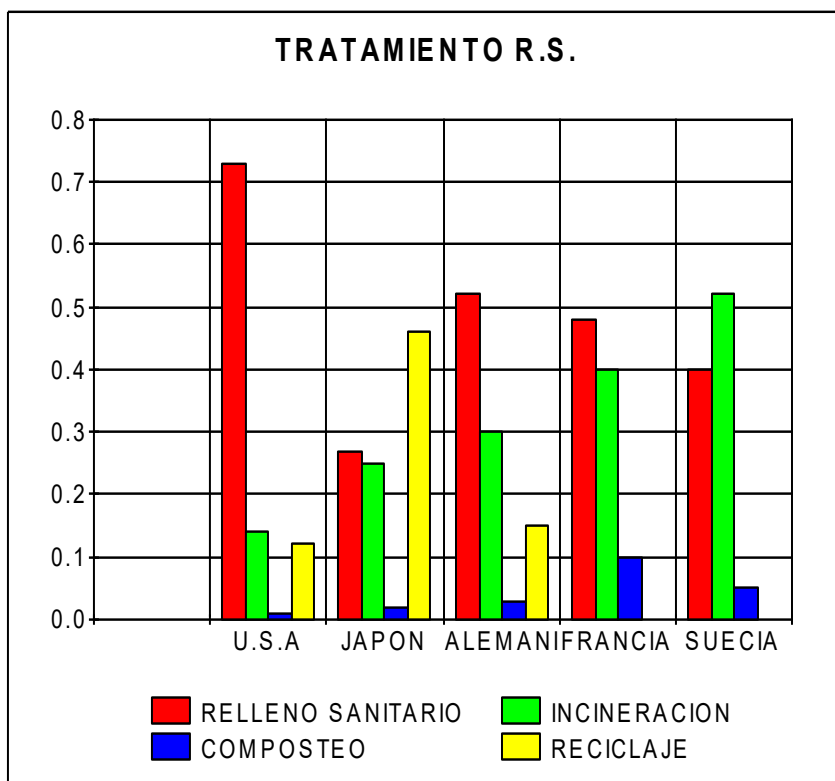
De lo anterior se puede ver claramente que la disposición final de los residuos sólidos incide básicamente en la afectación ambiental, de ahí su importancia para la preservación de la salud pública. Esta situación adquiere mayor importancia si, como se muestra en el cuadro anterior, se considera que el monto que se destina a esta actividad representa del 10 % al 15 % del costo.

Tendencia de utilización del relleno sanitario y de las técnicas de aprovechamiento de residuos sólidos más comunes en países con alto desarrollo en el control de los residuos sólidos.

TABLA 2.

TABLA 2

| PAIS     | RELLENO SANITARIO | INCINERACION | COMPOSTEO | RECICLAJE | COMENTARIOS                        |
|----------|-------------------|--------------|-----------|-----------|------------------------------------|
| U.S.A    | 73%               | 14%          | 1%        | 12%       | ALTA DEMANDA DE RELLENO            |
| Japón    | 27%               | 25%          | 2%        | 46%       | GRAN% DE REC.SE INCINERA           |
| Alemania | 52%               | 30%          | 3%        | 15%       | UTILIZACION DE RELL.SANT.Y REC.    |
| Francia  | 48%               | 40%          | 10%       | <3%       | IMPORTANTE UTIL.COMPOSTA E         |
| Suecia   | 40%               | 52%          | 5%        | <4%       | INCINERACION.                      |
|          |                   |              |           |           | EXTENSIVA UTILIZACION INCINERACION |



Gráfica 1

## 1.2 Disposición de residuos sólidos.

No obstante la importancia que en todo el mundo han cobrado los asuntos ecológico- ambientales y a pesar de la mayor utilización que en la última década el relleno sanitario ha tenido en América Latina como método de disposición final de residuos sólidos, el tiradero a cielo abierto, sigue siendo la forma más común de disponer los residuos sólidos, como ya se comentó anteriormente y como informa la Oficina Panamericana Sanitaria dependiente de la Organización Mundial de la salud (OPS/OMS), la cual reporta que únicamente el 30 % de la basura generada en América Latina se dispone sanitariamente ( alrededor de 75000 ton. /día ). Asimismo, un estudio realizado en 17 ciudades de esta región, con más de un millón de habitantes, señala que tan sólo el 35% de la basura generada se dispone en rellenos sanitarios de buena calidad, el resto se dispone en sitios controlados y en tiraderos a cielo abierto (1). Sin embargo, a pesar de cifras tan poco alentadoras se debe mencionar que para la misma región de Latinoamérica, dicho organismo reporta para la década 1980-1990 un avance sustancial en la utilización del relleno sanitario (2), aun cuando se haya dado mayormente en las grandes concentraciones urbanas.

Por otro lado, en países con mayores recursos, con problemáticas ambientales diferentes y con niveles tecnológicos mucho más desarrollados, el relleno sanitario sigue siendo un elemento fundamental en sus sistemas de control de residuos sólidos, como lo demuestran las cifras de la tabla 1, donde se observan las tendencias de utilización que en países con alto grado de desarrollo en el manejo de los residuos sólidos, tienen las diferentes alternativas de tratamientos para el aprovechamiento de estos residuos sólidos, en relación con el uso del relleno sanitario.

Con base en las cifras de la tabla 1 se pueden establecer los siguientes comentarios:

A) El relleno sanitario es todavía utilizado en Francia, único país donde el composteo ha encontrado su mejor y más importante utilización, y en donde la incineración es una práctica importante para el tratamiento de los residuos.

B) En Japón y Suecia, países líderes en el empleo de la incineración de residuos sólidos para la generación de energía eléctrica, el relleno sanitario es todavía utilizado.

C) En países considerados “campeones del reciclaje”, como son los E.U.A., Alemania, es curiosamente donde el relleno sanitario tiene un altísimo porcentaje de utilización. Considerando los comentarios antes señalados, queda claro que un relleno sanitario es una obra de Ingeniería no exclusiva de países altamente tecnificados, ni dependientes de economías bien desarrolladas; por otro lado, es posible conjugando, sin ningún problema, con las diferentes alternativas de tratamiento que existen en la actualidad. Por consiguiente, es posible concluir que, lejos de que la utilización del relleno sanitario haya entrado en decadencia o que este siendo sustituido por las distintas alternativas de tratamiento empleadas en la actualidad, se debe considerar como una infraestructura que puede ser compatible con cualquier esquema de control de residuos sólidos, propia de países en vías de desarrollo, o con un alto nivel de tecnificación y desarrollo. Ahora bien, considerando la variación de las características que presentan los residuos sólidos según sea la fuente que los genera, a partir de su composición se definirá la vocación o el tipo de aprovechamiento que debe dárseles. Es decir, sería muy costoso y poco racional incinerar la basura de mercados mientras que los residuos generados en tiendas de autoservicio, donde abunda el plástico, el papel, el cartón, no son los más adecuados para la fabricación de composta. Lo anterior invita a establecer un sistema integral para el adecuado control de los residuos sólidos donde se conjuguen las alternativas de tratamiento más adecuadas para los tipos de basura que se generen, puesto que es racionalmente imposible que una sola opción de tratamiento se aplique por igual a los diferentes tipos de residuos sólidos. Partiendo de este concepto, se puede afirmar que el relleno sanitario viene a ser la columna vertebral de cualquier sistema, ya que, por cuestiones de

diversa índole, no siempre es viable la implementación de todas las alternativas de tratamiento que se requieren, por lo que :

Con lo que se deberá contar es con un sitio, que reciba aquellos excedentes de residuos, a los que no sea posible dar algún tratamiento para su aprovechamiento, amén de que las propias opciones de tratamiento que se apliquen siempre generaran un cierto rechazo, que también deberá ser considerado . El contar con un relleno sanitario permitirá ordenar paulatinamente los sistemas de control de residuos, hasta el nivel de organización que se pretenda obtener.

Tomando en cuenta todo lo antes comentado, en el futuro, el relleno sanitario será vital para el ordenamiento de los sistemas de control de residuos sólidos; por lo que para su aceptación plena por la población en general y las agrupaciones civiles, quienes normalmente son sus principales detractores, debe contemplársele, no como un sitio que genere problemas de contaminación ambiental, sino como una instalación controlada que confine tanto al biogás, como a los lixiviados, para que no puedan migrar mas allá de su vecindad, buscando siempre mejorar su funcionalidad operativa y aprovechar el combustible que se genera acelerando su estabilidad . Es por todo esto que cualquier relleno sanitario deberá contar con los sistemas operacionales y con los mecanismos y dispositivos de control que le permitan operar en forma segura y adecuada, evitando alterar su entorno, contaminar el ambiente o dañar la salud publica en general; amén de crear entre la población una percepción favorable y, por ende, una buena opinión de la función que cumple un relleno sanitario.

Implicación ambiental de la disposición final de residuos sólidos.

El relleno sanitario siempre ha sido considerado una obra de ingeniería necesaria para llevar a cabo, de manera controlada, la disposición final de residuos sólidos no peligrosos, la cual pareciera estar siempre en construcción, aunque su verdadera peculiaridad es la combinación de una operación permanente con eventuales procesos constructivos, los cuales se acentúan cuando se abren nuevos frentes de tiro, se concluyen etapas de trabajo, o se rehabilitan zonas clausuradas una vez estabilizadas.

De acuerdo con lo anterior, es claro entonces que un relleno sanitario puede generar impactantes ambientales en sus diferentes etapas constructivas, los que normalmente son temporales y fáciles de mitigar mediante obras y sistemas de control simples y sin muchas complicaciones; son, en su mayoría, originados por agentes externos al propio relleno. Ejemplo de ello, es el ruido y los gases no combustionados generados por los equipos y maquinas en continuo movimiento; o bien los

polvos y partículas generadas por no aplicar medidas precautorias, por lo menos en las zonas de mayor movimiento de materiales. Durante la operación de un relleno sanitario, aunque también están permanentemente presentes los impactantes propios de las etapas constructivas, los impactantes verdaderamente sustantivos y de mayor riesgo, son tanto los lixiviados como el Biogás, los cuales se originan a partir de los procesos de estabilización y transformación que sufren los residuos sólidos dentro del relleno sanitario; proceso inicialmente del tipo aeróbico de muy poca duración, que amén de propiciar una elevación de la temperatura, generan bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3$ ), como productos característicos de esta fase aerobia. A medida que el oxígeno disponible se va agotando, organismos facultativos y anaeróbicos empiezan a predominar, prosiguiendo en forma mas lenta con la descomposición de los residuos orgánicos, la cual se da en condiciones anaerobias, generando como elementos típicos de esta fase los siguientes: carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), y en mucho menor proporción ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Con base en todo lo antes comentado, es menester señalar que en relación al Biogás, se puede concluir que es una mezcla de los elementos generados por la descomposición anaeróbica de los residuos sólidos, de entre los cuales, los de mayor significado son el metano y el bióxido de carbono. Al respecto, se debe mencionar que según experiencias realizadas en América Latina, se ha logrado acelerar la estabilización biológica de los rellenos sanitarios, recirculando en época de sequía los propios lixiviados que generan, con lo cual se han podido disminuir los tiempos de producción a 6 años en promedio, acelerando por tanto las tasa de producción de “Biogás”.

Referente a los lixiviados, es importante mencionar que la producción de estos líquidos percolados, se debe principalmente al paso del agua de lluvia a través de los estratos de residuos sólidos que se hallan en fase de descomposición anaerobia, arrastrando a su paso componentes disueltos, en suspensión fijos y/o volátiles. Estos elementos son los que dan las características contaminantes a los lixiviados, haciéndolos altamente agresivos al ambiente por las elevadas cargas orgánicas y catiónicas que entre otras cosas presentan.

Es evidente que, por su composición, los lixiviados y el Biogás se consideran como los impactantes de mayor importancia que puede generar un relleno sanitario; ya que entre los principales riesgos de afectación ambientales, esta la contaminación de los mantos acuíferos por lixiviados, los cuales aportan no solamente cargas orgánicas importantes, sino también metales pesados y compuestos peligrosos que, pese a la disolución que tiene al penetrar a los acuíferos, las concentraciones resultantes pueden rebasar los estándares permisibles establecidos para sus diferentes

aprovechamientos, amén de que las aguas subterráneas se mueven muy lentamente, por lo que tienen una capacidad de auto purificación limitada . Así mismo, no hay que olvidar que siempre existirá la posibilidad de que el Biogás migre fuera de los sitios donde se genera, dando pauta a que alcance entre un 5% y un 15% del volumen del aire, además que en combinación con agua puede haber producción de ácido carbónico, el cual es altamente corrosivo.

#### Diseño de envases con énfasis en reducción de residuos y reciclaje

- Eliminación de componentes tóxicos.
- Diseño de envases reutilizables.
- Utilización de un solo material.
- Uso de materiales compatibles o separables fácilmente.
- Uso de materiales reciclados.

#### Envase apropiado desde el punto de vista ambiental.

- Contenedor rehusable o apto para ser reprocesado.
- Integrado por componentes sencillos. Reciclables.
- Tamaño y forma estandarizados: Simplifica manejo
- Hecho con materiales libres de sustancias dañinas.
- Su disposición no debe causar problemas de manejo, procesamiento o contaminación.

### Generación de residuos sólidos

| País                       | Kg/Día/persona. |
|----------------------------|-----------------|
| Estados Unidos De América. | 2.1             |
| Canadá                     | 1.7             |
| Alemania                   | 1.5             |
| Suiza                      | 1.4             |
| Inglaterra                 | 1.1             |
| México                     | 0.7             |
| Distrito Federal           | 1.0             |

Fuente DDF 1995

***Residuos Sólidos municipales. (RSM) en el Distrito Federal.***

| SUBPRODUCTO                             | DOMICILIARIA % PESO | MUNICIPALES % PESO |
|-----------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Cartón                                  | 4.11                | 4.02               |
| Envases de cartón                       | 2.20                | 1.57               |
| Papel (Periódico, bond etc.)            | 11.76               | 12.91              |
| Lata de aluminio                        | 1.58                | 1.26               |
| Materiales ferrosos (inc. Hoja de lata) | 1.63                | 0.95               |
| Material no ferroso                     | 0.08                | 0.58               |
| Plástico en Película                    | 4.97                | 3.77               |
| Plástico rígido                         | 3.06                | 2.16               |
| Poliuretano                             | 0.13                | 0.86               |
| Poli estireno expandido                 | 0.67                | 0.25               |
| Vidrio de color                         | 1.26                | 2.15               |
| Vidrio transparente                     | 3.65                | 4.79               |
| Residuos de alimentos                   | 40.69               | 40.01              |
| Residuos de jardinería                  | 5.83                | 6.61               |
| Algodón                                 | 2.66                | 0.28               |
| Fibra dura Vegetal                      | 0.10                | 3.05               |
| Fibra sintética                         | 1.74                | 0.31               |
| Cuero                                   | 0.15                | 0.46               |
| Hueso                                   | 0.10                | 0.68               |
| Hule                                    | 0.24                | 0.34               |
| Loza y cerámica                         | 0.48                | 0.45               |
| Madera                                  | 1.06                | 0.48               |
| Materiales de construcción              | 0.58                | 0.43               |
| Pañal desechable                        | 3.76                | 1.99               |
| Trapo                                   | 0.67                | 1.56               |
| Otros                                   | 6.82                | 10.06              |

### 1.3 Rellenos sanitarios.

Es uno de los métodos más simples y generalmente menos costoso, utilizado actualmente para la disposición final de los residuos sólidos. Consiste básicamente en el esparcido y en la compactación de los residuos en capas sobre el suelo que posteriormente se recubren con tierra. Se puede colocar una nueva capa de basura, formando así celdas sucesivas de residuos y material de recubrimiento.

El relleno sanitario es definido por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles como: El método de depositar los desechos sólidos en la tierra sin crear molestias o peligros a la salud y seguridad pública, utilizando los principios de la Ingeniería para confinar los desechos en una pequeña y práctica área, reduciendo éstos en pequeños volúmenes y cubriéndolos con capas de tierra a la terminación de cada día de operación ó con más frecuencia si se hace necesario.

La aplicación inmediata del material inerte sobre la basura elimina la proliferación de moscas e insectos, así como la emanación de los malos olores, evitando incendios y gran cantidad de humos. Impide la presencia de animales para alimentarse con los restos de comida y, finalmente, mejora las condiciones estéticas del área.

El relleno sanitario es un sistema de destino final altamente empleado, pues aún en las instalaciones de procesamiento, como el reciclaje, la incineración o la compostificación se generan residuos que requieren un lugar para ser descartados en forma sanitaria.

Es fundamental generar mecanismos de concientización a la comunidad en general, ya que se han llevado estudios donde se analiza a las comunidades por su economía y se observa que no son factores determinantes. De la misma manera se han analizado otras variables, pero se llega a la conclusión de que depende de la cultura que se adquiera con relación a la vida de cada ciudadano, con lo que podemos visualizar a gran escala que el apoyo por parte del gobierno es esencial para estos proyectos, ya que no se trata de fuertes inversiones si comparanmos con los beneficios a obtener, sino más bien a razones de cultura de los ciudadanos. Esto sólo se puede llevar a cabo con mecanismos de comunicación que se pueden manejar por la t.v. , radio, videos, etc.

En la actualidad, algunos medios de comunicación han hecho énfasis en que los desechos sólidos en un futuro serán procesados por la iniciativa privada y de esta manera también podría ser viable los depósitos sanitarios manuales por las características que estos requieren para su operación, como es el empleo de la mano de obra para su proceso y como se indicó, en lugares donde sean viables por el volumen de generación.

El relleno sanitario manual.

Se presenta como una alternativa técnica y económica, tanto para las poblaciones urbanas y rurales menores de 40,000 habitantes, como para las áreas marginales de algunas ciudades que generan menos de 20 toneladas de basura diarias.

Si el costo del transporte lo permite, puede resultar ventajosa la utilización de un mismo relleno sanitario manual para mas de dos poblaciones.

Mediante la técnica de la operación manual, sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas, y excavaciones de zanjas o material de cobertura, de acuerdo con el avance y método de relleno.

En cuanto a los demás trabajos, todos pueden realizarse manualmente, lo cual permite a estas poblaciones de bajos recursos, incapacitadas de adquirir y mantener equipos pesados permanentes, disponer adecuadamente sus basuras y utilizar la mano de obra que en los países en desarrollo es bastante abundante.

Se estima que es posible llevar acabo un relleno sanitario manual hasta llegar a la cantidad de 20 toneladas /día. Sin embargo, se precisa de un análisis minucioso de las condiciones locales de cada región, puesto que según sea el costo de la mano de obra, el tipo de relleno sanitario, será en forma parcial o permanente.

Basados en experiencias previas, podemos afirmar que es preferible la utilización de estos equipos cuando la producción diaria de desechos es de 40 toneladas o más.

Actualmente en la región de Antiqua (Colombia), se encuentra en proceso de experimentación y evaluación la utilización del sistema tractor agrícola con remolque (volteo hidráulico ) y tractor agrícola con caja compactadora para prestar el servicio de aseo urbano en las pequeñas poblaciones .

Este sistema ofrece los servicios de recolección y transporte, sirviendo además de apoyo en la disposición final de la basuras.

El tractor agrícola puede operar como unidad independiente y emplearse en el relleno sanitario con la adaptación de accesorios, tales como: cuchilla topadora, cargador frontal, retroexcavadora y rodillo para compactar los desechos sólidos, permitiendo lograr unos rendimientos más altos en la operación del relleno sanitario, lo que implica poder manejar también una mayor cantidad de basuras diariamente. De este modo, se dispone de un equipo mucho mas versátil , dado que trae beneficios de tipo técnico y económico para todo el sistema de aseo urbano, pudiendo además servir en casos especiales, para desempeñar algunas labores de obras publicas en el municipio con lo que se aprovecha al máximo la inversión hecha en el mismo.

También en México, luego de 18 meses de pruebas y experimentos efectuados con los prototipos que se construyeron, la Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología, dictaminó que el tracto adaptado de 31 HP, en 8 Hrs de trabajo y con un peón de ayuda, puede confinar sanitariamente los residuos de poblaciones de hasta 80 toneladas / habitante, es decir, aproximadamente 40 ton/día de basura.

Requisitos que debe satisfacer un relleno sanitario.

Criterios rectores para un diseño adecuado y una racional funcionalidad del relleno sanitario.

La buena o mala operación de un relleno sanitario, depende de las medidas de control que se estén aplicando, amén de ser en muchos casos el indicador del nivel de afectación ambiental con el que se este deteriorando la vecindad del sitio. Por tanto, para evitar o disminuir la alteración que los impactantes generados en un relleno sanitario puedan tener sobre su entorno, es imprescindible

aplicar en las diferentes etapas que demanda el emplazamiento de este tipo de obras, una serie de criterios rectores cuyo objetivo principal es el de prevenir la contaminación por residuos sólidos. Estos criterios deben establecer el sendero por donde debe dirigirse el diseño, la funcionalidad conceptual y los programas de control y monitoreo que necesita un relleno sanitario, para operar adecuadamente. Para ello, los criterios mínimos que se deben considerar para una de las fases que requiere la implementación de una obra de este tipo, se establecen a continuación;

Criterios rectores para el diseño de un relleno sanitario.

- Definición de las secciones más adecuadas para la preparación del sitio, que aseguren una mínima estabilidad en zonas más críticas.
- Considerar en el diseño el tipo de impermeabilidad mas adecuado para la base y las paredes del sitio.
- Determinación de la capacidad de campo de los residuos sólidos a disponer.
- Cálculo de la producción de lixiviados (potencial y real)
- Cálculo de las necesidades de agua para la estabilización vía anaerobia de los residuos.
- Estimación de la producción de biogás.
- Determinación de los gastos de diseño de los escurrimientos pluviales, para el dimensionamiento de la infraestructura hidráulica necesaria para su manejo.

Criterios rectores para la funcionalidad conceptual de un relleno sanitario.

- Impermeabilizar con membranas naturales o artificiales, tanto en las paredes como en el piso del sitio para el relleno sanitario.
- Evitar al máximo, la filtración del agua de lluvia al relleno sanitario.
- Operar el sitio, tratando de alcanzar en el menor tiempo posible niveles de piso terminado. Esto implica que el avance del relleno, sea preferentemente vertical más que horizontal.

#### 1.4 NORMAS MEXICANAS. NOM-083-ECOL - NOM-084-ECOL

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en los artículos 32 Bis fracciones I, II, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracciones I y VIII, 6o. fracción XIII y último párrafo, 36, 37, 137, 160 y 171 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 44, 45, 46 y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

#### CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el 22 de junio de 1994 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, con carácter de Proyecto, la presente Norma Oficial Mexicana bajo la denominación de **NOM-083-ECOL-1994**, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales, a fin de que los interesados, en un plazo de 90 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en río Elba número 20, colonia Cuauhtémoc, código postal 06500, México, D.F.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado en el párrafo anterior, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes, entre las cuales, y para mayor, entendimiento, se encuentra el título de la presente Norma y publicadas en el Diario Oficial de la Federación de fecha 1 de diciembre de 1995 las respuestas a los comentarios recibidos en el plazo de ley, así como la aclaración correspondiente a las mismas el 30 de mayo de 1996, en el referido Organó Informativo.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 12 de junio de 1995 aprobó la presente Norma Oficial Mexicana bajo la denominación de NOM-083-ECOL-1996, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales; por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

#### 1.5.- PROYECTO EN AMERICA LATINA.

##### EL PROYECTO PILOTO DE PORTOBELLO

A partir del 1 de noviembre de 2000 se puso en marcha, el Proyecto: Manejo Adecuado de los Desechos Sólidos en el Distrito de Portobello, Provincia de Colón. El Proyecto es financiado por el Fondo Mixto Hispano Panameño, constituido con aportes (70%) de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), y recursos del Gobierno de Panamá (30%), por medio del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). El Proyecto es ejecutado por la Asociación para la Promoción de Nuevas Alternativas de Desarrollo (APRONAD) y la Municipalidad de Portobello.

##### a) Características generales del Distrito

El distrito de Portobello está localizado en la vertiente caribeña del istmo de Panamá, en la provincia de Colón. Administrativamente está dividido en 5 corregimientos: Portobello, Cacique, Garrote, Isla Grande y María Chiquita. Cuenta con 1.902 viviendas ocupadas y una población total de 7.788 personas, la mitad de las cuales vive en el corregimiento cabecera (datos preliminares del censo de 2000). El distrito cuenta con una superficie total de 518 Km<sup>2</sup>, de la cual una gran porción forma parte

del Parque Nacional Portobelo, un área destinada a la protección de la naturaleza y de los monumentos históricos de interés cultural y turístico .

El Parque está integrado al Sistema de Áreas Silvestres Protegidas de la República de Panamá y tiene una extensión de 359,29 Km<sup>2</sup> (35.929 has.), de los cuales el 22,37% es área marina. Posee más de 70 Km de costa, de configuración muy sinuosa y rica en bahías, ensenadas y pequeñas islas. En algunas de las playas se produce con relativa frecuencia el desove de tortugas. Prácticamente toda la costa está cubierta por arrecifes de coral, del tipo de franja, que construyen sus estructuras desde el nivel del mar hasta una profundidad media de unos 10 metros. El arrecife, uno de los sistemas planetarios con mayor biodiversidad, se enriquece en esta zona con la presencia del único ejemplar conocido en Panamá de coral pilar (*Dendrogira cylindrus*) y con buenas poblaciones de otras especies.

El pueblo de Portobelo y sus edificaciones coloniales de carácter militar y religioso fueron declarados como Conjunto Monumental Histórico por la Ley 91 de 1976. En 1980, la UNESCO declaró las fortificaciones de este conjunto - junto a las de San Lorenzo - como Sitio de Patrimonio Mundial.

#### b) Los problemas a resolver

Entre 1991 y 2000 la población del distrito de Portobelo aumentó en un 20%, al pasar de 6.214 habitantes a 7.788; un incremento superior al promedio nacional (13,25%). En este mismo período la actividad turística experimentó un gran desarrollo, con las mejoras realizadas a la carretera de acceso. Ambos factores, junto al crecimiento urbano caótico, han incrementado las presiones sobre los recursos naturales del Parque Nacional y han generado una mayor contaminación ambiental, principalmente como resultado del manejo inadecuado de los desechos sólidos y la inexistencia de un sistema de tratamiento de las aguas negras. Otro factor que produce un impacto significativo sobre los recursos naturales del área es el desarrollo de prácticas agrícolas y ganaderas agresivas con el entorno.

Para hacer frente al servicio de aseo, el Municipio de Portobelo sólo dispone de un vehículo y de un pequeño grupo de trabajadores (de número variable), con los que se recolecta la basura dos veces por semana en algunas áreas del distrito. El sistema municipal de aseo carece de niveles adecuados de organización, administración y supervisión. No cuenta, por ejemplo, con un fondo específico dentro del presupuesto para el manejo de los desechos y tampoco existen registros contables ni técnicos. El Municipio no cuenta con facilidades para el mantenimiento y reparación del vehículo que utiliza para la recogida de la basura, por lo que tiene que contratar este servicio con empresas privadas de la ciudad de Colón.

Por otra parte, no se utilizan tecnologías especializadas para procesar los desechos, aunque un pequeño esfuerzo es realizado por recolectores informales para recuperar latas. La disposición final se realiza en dos depósitos de basura a cielo abierto: uno en la ciudad de Portobelo y otro en María Chiquita. El vertedero de Portobelo está situado en la parte este del pueblo, adyacente a un campo de juego y a una escuela. Allí la basura amontonada ha ido rellenando poco a poco un terreno pantanoso, contiguo a un área de manglar. El depósito de María Chiquita es relativamente nuevo y se encuentra ubicado en las cercanías del pueblo, al sur, adyacente a la carretera principal.

Como consecuencia de todo ello, se ha configurado una situación crítica caracterizada por:

Una amenaza latente a la salud de la población por la existencia de vertederos clandestinos a cielo abierto; la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas; la contaminación del aire debido a la incineración a cielo abierto; y la obstrucción de los drenajes como consecuencia de las acumulaciones de basura en acequias, ríos y tragantes.

El vertedero municipal a cielo abierto provoca una grave contaminación en las áreas de manglares contiguas y genera un creciente malestar en los moradores, lo cual puede conducir a serios conflictos entre éstos y el Municipio. La aparición en 1999 de una plaga de moscas verdes provocó un gran descontento ciudadano y protestas dirigidas a la Alcaldía. Una queja constante de los habitantes del poblado de Portobelo es la ubicación del vertedero dentro del mismo pueblo, al que vienen a parar los desechos de todas las comunidades del distrito. El vertedero provoca la presencia constante en el pueblo de cientos de aves que se alimentan de la basura (gallinazos).

Contaminación visual de las áreas turísticas de Portobelo, el deterioro estético de la ciudad y los posibles riesgos sanitarios para los visitantes, que podrían desalentar a los operadores turísticos y suponer un freno al desarrollo de este sector. Se espera que a partir de los últimos meses de 2000 aumente considerablemente el número de turistas que visitan el distrito, puesto que Portobelo ha sido elegido como uno de los destinos para los cruceros que comienzan a llegar a la zona, atraídos por el inicio de operaciones del proyecto Colón 2000, un puerto de cruceros y centro comercial en la cercana ciudad de Colón.

Las dificultades para encontrar una solución al problema de los desechos sólidos refuerza una actitud ciudadana poco colaboradora en relación con el tema. El Municipio no logra recuperar los costos por el servicio de aseo que presta, dada la actitud de una gran parte de la población del pueblo de Portobelo, que se niega a pagar la tasa de aseo debido al descontento existente. La escasez de recursos financieros no le permite a las autoridades municipales dar una solución integral al problema.

### c) Objetivos del Proyecto

El objetivo general del proyecto se plantea como una mejora de la calidad de vida de los habitantes de Portobelo y de las condiciones locales para el desarrollo turístico, mediante la promoción de una situación de saneamiento ambiental adecuada.

Las acciones del proyecto tendrán un impacto directo sobre las condiciones locales de salubridad y con ello, contribuirán a sentar las bases para un desarrollo turístico sostenible que genere nuevas fuentes de ingresos para a la población, en un área de gran potencial turístico, pero con una situación de pobreza generalizada.

También puede decirse que las actividades contribuirán -a mediano plazo- a reducir el impacto negativo sobre los recursos naturales marinos y terrestres del Parque Nacional de Portobelo, que se produce actualmente por el inadecuado manejo de los desechos sólidos en el distrito.

El objetivo específico del proyecto se ha establecido como el logro de un manejo adecuado de los desechos sólidos en el distrito de Portobelo.

Las acciones del proyecto deberán conseguir concienciar y motivar a la población sobre las ventajas de un manejo adecuado de los desechos, tanto en el hogar, como en la escuela, el lugar de trabajo y en los lugares públicos; y comprometer a los ciudadanos en la buena marcha del servicio de aseo municipal.

De igual forma, el proyecto deberá lograr dejar establecida una microempresa que, mediante un contrato de concesión con el Municipio, se encargue de prestar el servicio de aseo en el distrito de Portobelo de forma eficaz y económicamente viable, basándose en un plan de operaciones adecuado a las necesidades de la zona, que contemple el aprovechamiento productivo de los residuos para su reciclaje y para la preparación de composta.

### d) Avances del Proyecto (Noviembre/2000 - marzo/2001)

Concretamente, durante el periodo se obtuvieron los siguientes resultados:

El diagnóstico comunitario participativo ha permitido comprobar la existencia de una opinión mayoritariamente favorable a pagar una tasa de aseo a cambio de un servicio eficiente, así como a participar en programas de separación y reciclaje de desechos. Por otra parte se han identificado las principales dificultades que tendrá que afrontar el proyecto, localizadas en dos áreas críticas, que son los corregimientos de La Guaira e Isla Grande en donde una prolongada gestión "clientelista" de

las autoridades locales ha creado serios obstáculos para el establecimiento de un sistema de aseo sostenido con el pago de la tasa de aseo.

Adicionalmente, la voluntad y capacidad de pago de la tasa de aseo manifestadas por los encuestados muestran significativas diferencias (de u\$s 1,50 hasta u\$s 5,5 por mes en usuarios domiciliarios), lo que no sólo tiene que ver con la situación socio-económica de cada familia, sino también con tradiciones culturales y con el factor político antes mencionado.

Los resultados del diagnóstico guiaron la estrategia comunicacional y de sensibilización ambiental. Luego de dos meses de operaciones de la Microempresa de Gestión Ambiental "SARBISA", 600 usuarios habían formalizado contratos de servicio de recolección de los residuos sólidos, pagando una tasa de aseo de u\$s 4 vivienda/mes. Considérese que a lo largo de toda su historia, la Municipalidad nunca logró alcanzar la meta de 100 usuarios pagando mensualmente una tasa de aseo de u\$s 1 vivienda/mes.

Se han realizado dos estudios de caracterización de los desechos sólidos, uno en Isla Grande y otro en el resto del distrito (Resultado 2). Dichos estudios permitieron estimar el número de microempresarios necesarios para realizar las labores de recolección y transporte: 1 conductor, 3 recolectores en ruta, 1 recolector en Isla Grande, 2 cobradoras y una secretaria, sumando en total 8 personas. El número se elevará una vez se construya e inicie operaciones el relleno sanitario (previsto en la segunda fase). De acuerdo a la producción diaria (4,5 toneladas métricas), se estimó que un camión tipo volquete de 16/18 yardas cúbicas es suficiente para el acarreo de la basura, con una frecuencia de 3 veces por semana. Además, dichos estudios demuestran que el relleno sanitario manual es la técnica más indicada para la disposición final de los desechos en Portobelo.

La creación la Microempresa de Gestión Ambiental "SARBVISA" fue integrada luego de un riguroso procedimiento de selección al que concurrieron 60 aspirantes. Se desarrolló un proceso transparente y participativo, evitando sesgos de índole político, mediante la creación de un Comité de Selección, integrado por representantes del Municipio, entidades gubernamentales y dirigentes de la comunidad.

Igualmente se han logrado avances significativos con relación a la concienciación y organización de la comunidad en torno al tema de la gestión de los desechos sólidos. Especial relevancia adquiere la coordinación inter-institucional alcanzada con la creación del Comité Ambiental de Portobelo, constituido a partir del Comité de Selección antes mencionado. Algunos representantes y corregidores han realizado una activa labor en las comunidades, promoviendo el proyecto. Los representantes de entidades como el Instituto Panameño de Turismo (IPAT), la Autoridad Nacional

del Ambiente (ANAM) y el Ministerio de Salud (MINSA) han sumado esfuerzos con la Asociación de Microempresarios Turísticos de Portobelo (AMTP), en las tareas de concienciación ambiental.

La principal hipótesis que se estableció en la formulación del proyecto fue que el Municipio y la Alcaldía de Portobelo mantendrían el nivel de interés y compromiso con el proyecto mostrado durante las fases de identificación y formulación y participarían activamente en la ejecución del mismo. Igualmente, la hipótesis establecida requería que la población mostrara interés en el proyecto, participara activamente en las actividades y estuviera abierta a los cambios de hábitos y actitudes necesarios para el logro de los objetivos. Hasta el momento puede decirse que la hipótesis prevista se ha verificado, puesto que se ha dado una activa participación de los actores involucrados en el proceso de selección de los microempresarios y han apoyado las acciones iniciales de concienciación ambiental de la ciudadanía en Portobelo.

## Reflexiones Finales

El problema de la contaminación ambiental urbana, y más concretamente el de la inadecuada gestión de los desechos sólidos urbanos, ha dejado de ser un asunto que compete sólo a los especialistas y técnicos. Hoy preocupa cada vez más al ciudadano común y por esta circunstancia se ha convertido en un tema "político". De ahora en adelante todos aquellos que se dedican a la función pública deberán incluir dentro de su agenda de trabajo la forma en que se proponen resolver la "crisis de la basura". Este es un reclamo permanente de las comunidades.

La transferencia de los servicios municipales de aseo en favor de cooperativas o microempresas representa una iniciativa de autogestión orientada a la transformación del aparato público. Esta iniciativa, además, está orientada a generar empleo, a mejorar los ingresos familiares y el consumo popular, a elevar la rentabilidad y la eficiencia de los servicios municipales urbanos, propiciando una estrecha relación entre participación y descentralización.

El Proyecto Piloto de Portobelo está demostrando que si se parte de las necesidades, aspiraciones, demandas y proyectos locales, dicha transferencia representa no solamente la posibilidad de ordenamiento de los servicios públicos, sino también una alternativa para que los propios beneficiarios garanticen su control configurando una forma de recuperación de la racionalidad en la toma de decisiones locales. En este sentido, coincide con la intervención social y popular que puede estar vinculada al fortalecimiento del poder local e incluso a un nuevo desarrollo local.

## RESUMEN

El proyecto de Portobelo es una propuesta donde se están consiguiendo beneficios cualitativos a muy corto plazo. Aquí en la Republica Mexicana, se pueden considerar algunos proyectos pilotos en lugares donde ambiciosa y estratégicamente sirvan de modelos a futuro. Cabe hacer mención que se ha citado a los Depósitos Sanitarios Manuales como una alternativa muy viable en las economías mundiales, en países con economías en desarrollo y más aún en países donde gran parte de su territorio es provincia con una población dentro del parámetro, donde es recomendable realizar los depósitos sanitarios manuales y proyectándolo más eficientes a medida que lo amerite, esto con el apoyo de más equipo por parte del gobierno y/o iniciativa privada. Es necesario recordar las recomendaciones en torno a la selección de los desechos sólidos .

Haremos un listado de datos del censo general de población y vivienda 2000 llevado acabo por INEGI en los cuales son viables los criterios para establecer proyectos de depósitos sanitarios manuales

## 2.- BASES DE DISEÑO.

Pasos para el diseño, construcción y operación

- Identificación del sitio a rellenar y sus alrededores.
- Análisis de las condiciones Hidrogeológicas.
- Levantamientos topográficos.
- Elaboración del diseño.
- Análisis de costos.
- Presentación del proyecto a las autoridades.

Preparación del terreno y construcción de obras .

- Limpieza y desmonte.

- Construcción de las vía de acceso interna.
- Encerramiento del terreno y/o cerca.
- Siembra de árboles a nivel perimetral.
- Construcción del drenaje periférico
- Preparación del suelo de soporte.
- Construcción de drenajes internos.
- Preparación de ventanillas de gases.
- Construcción de la caseta e instalaciones sanitarias.
- Excavación de posos de monitoreo.
- Diseño y ubicación del cartel de identificación.

Operación y mantenimiento.

- Adquisición de herramientas.
- Adquisición de elementos de protección de los trabajadores.
- Inicio de la operación del relleno.
- Clausura del botadero.
- Mantenimiento permanente.
- Preparación del presupuesto anual.

### 2.1.1 SELECCIÓN DEL SITIO.

Como obra de ingeniería, el relleno deberá ser construido mediante un proyecto para atender un determinado objetivo general , y siempre que sea posible, objetivos específicos. El objetivo general siempre será disponer la basura urbana en forma sanitaria y a bajo costo. Dentro de los objetivos específicos se pueden nombrar la recuperación de áreas inúndales, la habilitación de áreas de recreación, la producción económica de biogás, etc.

De la misma forma que otras obras de ingeniería, un relleno sanitario manual se construye, en base a un proyecto, obedeciendo leyes y reglamentos para prevenir y controlar la contaminación ambiental y por otra parte siguiendo normas de diseño y métodos de construcción y operación propios .

Para la selección del sitio deberán considerarse, de preferencia, aquellos lugares donde la operación del relleno sanitario conduzca a mejorar el terreno. La selección apropiada del lugar destinado para la construcción del relleno sanitario, eliminará en el futuro muchos problemas operacionales.

La participación comunitaria.

Autoridades locales .- La elección del sitio debe hacerse en consulta con las autoridades locales de planificación, salud y protección del agua.

En muy pocas ocasiones, el terreno reunirá las condiciones ideales del sitio para la construcción de un relleno sanitario.

Por lo tanto, se deben clasificar aquellos que presenten buenas características, analizando sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles .

Es recomendable seguir los siguientes pasos :

Primero. El tecnólogo o promotor de saneamiento y un delegado de la administración local ( Jefe de planeación, obras publicas etc.) responsable del servicio de aseo determinaran cuales son las áreas adecuadas y disponibles como sitios para el relleno sanitario señalando en lo posible varias alternativas.

Segundo. El ingeniero de la oficina regional, o en su defecto, de la oficina central debe tomar la decisión preliminar para la selección del sitio ( estableciendo un orden de preferencias) realizar los cálculos respectivos y diseño rápido de la configuración final del los terrenos y, en lo posible, estimar costos y vida útil.

Tercero. La decisión final estará supeditada a razones administrativas y políticas, teniendo en cuenta a la opinión publica . Por lo tanto, se debe presentar el proyecto ante el consejo municipal, para que este apruebe el acuerdo respectivo y, si el terreno no es propiedad del municipio, efectúe la negociación y autorice al alcalde a realizar las transferencias presupuestarias que se necesiten para la adquisición y construcción del depósito sanitario con todas las obras complementarias.(Anexo 1V).

Cuarto. Elaborar los cálculos y diseños definitivos del relleno sanitario, evaluar costos , buscar financiamiento y proceder a su ejecución .

Metodología para la selección del sitio.

Análisis preliminar.

Las visitas de campo se realizarán conjuntamente con las autoridades locales y con el responsables de la protección de las aguas y del ambiente. En estas visitas es conveniente contar con planos topográficos de la región en escala de 1:10000—1:25000, con el propósito de ubicar los posibles sitios con respecto a las vías de acceso y salidas de áreas urbana, las corrientes de agua más próximas y la distribución de los suelos típicos.

Una vez en la oficina de planeación local, con ayuda del plan regulador, se consultan los usos del suelo y sus restricciones, así como el área urbana para analizar la compatibilidad o no para ubicar el relleno sanitario en estos sitios .

Es de tomar en cuenta algunos factores primordiales como:

- Fácil acceso para los carros recolectores o de transferencia en su caso.
- Amplia vida útil (10 años como mínimo).
- Tener características que protejan los recursos naturales, la vida animal y vegetal en sus cercanías..
- Localizado de manera que no sea rechazado por la población.
- Contar con bancos de material (tierra) para cubierta de calidad y cantidad apropiada y en sitio lo mas cercano posible.
- La dirección del viento deberá estar en sentido opuesto a la población de manera que aleje los malos olores.
- El sitio deberá ser compatible con el desarrollo a futuro de la población.

Investigación de campo.

Entre los mejores sitios visitados se investigarán mayores detalles, siendo los más importantes la probabilidad o no de contaminar pozos de abastecimiento de agua para consumo, las características

del suelo y el nivel freático, además de identificar puntos de referencia, accidentes topográficos, nacimientos de agua en el terreno, caminos y construcciones.

Con el apoyo de un plano urbanístico en escala 1:2000- 1:5000 se podrán apreciar todos los detalles, las ventajas y desventajas de cada uno, así como los cálculos preliminares sobre la vida útil y costos. Esta información será sometida a consideración de las autoridades locales para que sean ellas las que tomen la decisión final.

Las relaciones públicas son las actividades que las autoridades municipales y los técnicos descuidan con mayor frecuencia durante la selección del sitio . Desde el inicio del proceso de selección, el público debe tener la oportunidad de participar, comentar y objetar las propuestas realizadas. En todos los casos, es esencial asegurar el apoyo de los distintos sectores de la comunidad , durante todas las fases de selección, diseño, construcción, operación, mantenimiento, y uso futuro del relleno sanitario.

Este aspecto es muy importante dada la confusión que existe por parte de la comunidad, originada por la creencia de que un relleno sanitario es un botadero a cielo abierto. Se recomienda entonces efectuar una campaña de educación e información a través de las escuelas y colegios, asociaciones, casa de cultura, clubes etc. Haciendo uso de medios de comunicación local.

#### 2.1.2 Aspectos Económicos.

Debido a que en la construcción de un relleno sanitario manual se tienen inversiones relativamente fuertes incluyendo la aportación federal, es necesario considerar la variedad de requerimientos que presentan las comunidades pequeñas, en donde al parecer sería de mayor importancia la pavimentación de vías de comunicación o la creación de centros públicos, de servicios de salud, etc. Se requiere tomar en cuenta la afectación ambiental y con ello la salud humana, que se vería afectada por falta de proyección de estos depósitos sanitarios.

De esta manera es importante el economizar tanto en el proyecto como en la construcción y operación, minimizando en lo posible los costos.

#### 2.1.3 Aspectos sociales.

La operación de un relleno sanitario manual sin duda tiende a devaluar zonas urbanizadas o ricas por diversos factores, ya que aunque su objetivo principal es evitar el problema de la contaminación ambiental esto no se logra al 100 %, debido a que se crean problemas estéticos desagradables, esto aunados a las molestias ocasionadas a los vecinos con el constante tránsito de vehículos recolectores hacia el relleno. Sin embargo al finalizar la vida útil del relleno sanitario se proyectará una cubierta final que renueve el ambiente, convirtiéndolo la zona en reserva ecológica, estéticamente agradable para las personas que frecuenten el lugar o que vivan cerca de éste. Por otra parte la construcción de un relleno sanitario acarrea beneficios como es la recuperación de zonas inundables, habilitación de áreas recreativas como parques, campos deportivos etc.

Por tal razón se deben elegir los mecanismos de información adecuados, con el fin de no producir problemáticas sociales.

Una vez realizados los mecanismos de información es muy remoto que algunos grupos sociales se opongan a la construcción del relleno sanitario manual ya que conociendo los beneficios que tendrán a raíz de este proyecto no se opondrán, concientes de los beneficios ambientales que a la postre traerá.

En ocasiones, la falta de comunicación, como se mencionó anteriormente, puede ser factor primordial para que se ocasionen problemas sociales, politizando el proyecto y olvidando sus beneficios.

Es primordial la organización del municipio para realizar estas campañas de comunicación en centros donde la población se concentre, informando de manera amena y elaborando mecanismos para llegar a los lugares convenientes y con personal capacitado y manteniendo la información que requiere la ciudadanía respecto al proyecto, para que este no se vea involucrado en cuestiones ajenas a su objetivo. Estas campañas pueden llevarse a cabo en las escuelas, parques, plazas, en zonas contiguas a templos religiosos, empleando material y equipo didáctico como puede ser videos, proyectores, audiovisuales pc. Etc. Además de los medios de comunicación locales (radio, periódico etc.)

#### 2.1.4. Aspectos técnicos y ambientales.

Localización.- La ubicación del terreno juega un papel importante en la explotación del sistema, por cuanto la distancia y más aún, el tiempo al centro urbano de gravedad( plaza principal) repercute en el costo de transporte de los desechos sólidos, debiéndose proponer el uso económico de los

vehículos recolectores, por lo que se recomienda que esté cerca ( no más de 30 minutos de ida y de regreso). Esto además de disminuir los costos de transporte, permite tener una mayor vigilancia y supervisión permanente por parte la comunidad, que estará atenta para que el relleno sea operado y mantenido en las mejores condiciones posibles.

Es de notar que no existen reglas fijas. Mucho dependerá de la disponibilidad de terrenos, de su topografía, de la vida útil del relleno y del número de establecimientos vecinos. Se recomienda que los límites del relleno, estén trazados a una distancia mayor de 200 mts. del área urbana más cercana.

Las vías de acceso ,- El terreno debe estar cerca de una vía principal, para que su acceso sea fácil y resulte mas económico el transporte de os desechos sólidos y la construcción de vías internas de penetración. Estas deben permitir el ingreso fácil, seguro y rápido de los vehículos recolectores hasta el frente de trabajo en todas las épocas del año.

Vida útil del relleno.- La capacidad del sitio debe ser suficientemente grande para permitir su utilización a largo plazo (mas de 5 años) a fin de que su vida útil sea compatible con la gestión, los costos de adecuación y las obras de infraestructura. Obviamente, todo depende de su disponibilidad.

Material de cobertura.- El terreno debe tener suficiente material de cobertura, ser fácil de extraer y, en lo posible, con buen contenido de arcilla por su baja permeabilidad y elevada capacidad de absorción de contaminantes. Cuando sea escaso en el propio sitio, se debe garantizar su adquisición en forma permanente y suficiente, teniendo en cuenta su disponibilidad en lugares vecinos y los costos de transporte. De no ser así, es preferible desechar el lugar antes de inicio da cualquier trabajo, puesto que se corre el riesgo de convertirlo en un botadero a cielo abierto.

Condiciones hidrogeológicas.- Cabe destacar aquí que además de observar la existencia de nacimientos de agua en el terreno, que habrá que drenar bajando su nivel, es necesario evaluar la profundidad del manto freático o aguas subterráneas, dado que es necesario mantener por lo menos una distancia de 1 a 2 mts. entre éstas y los desechos sólidos. Así mismo, es preciso identificar las características del suelo, en cuanto a su permeabilidad y capacidad de absorción.

Conservación de recursos naturales- El relleno sanitario debe de estar suficientemente alejado de las fuentes destinadas a abastecimiento de aguas. Idealmente, debería estar localizado en un área

aislada, de poco valor comercial y bajo potencial de contaminantes de aguas superficiales y subterráneas . en otra palabra, debe de estar en condiciones de proteger tanto los recursos naturales como la vida vegetal y animal.

Condiciones climatológicas.- La dirección del viento predominante es importante, debido a las molestias que puede causar tanto en la operación, por el polvo y papeles que se levantan, como en el posible transporte de malos olores a las áreas vecinas. Por lo tanto, la ubicación del relleno sanitario, en lo posible, deberá estar ubicado de tal manera que el viento circule desde el área urbana hacia él. En caso contrario, deberán proveerse algunas medidas para contrarrestar este aspecto, como es la siembra de árboles y vegetación espesa en toda la periferia del relleno.

Propiedades del terreno.- Un proyecto de relleno sanitario debe iniciarse solamente cuando la entidad responsable (generalmente el municipio) tenga en su poder el documento legal que acredite la propiedad sobre el terreno y autorice (acuerdo municipal), a construirlo con sus obras complementarias, estipulando también la utilización a futuro, ya que es posible que el uso pueda facilitar algún desarrollo, por ejemplo, de áreas recreativas o zonas de reforestación.

Plan regulador. – Es importante consultar con la oficina de planeación local el plan de desarrollo o plan regulador, a fin de conocer la delimitación del perímetro urbano y los usos del suelo actuales y planes futuros, para así evaluar su compatividad con el relleno. Se recomienda que la dirección o sentido de crecimiento de la urbanización se efectúe en dirección al sitio. Mas esto no debe realizarse de inmediato, a fin de que una vez concluida la vida útil del relleno sanitario, el terreno pueda ser usufructuado por la comunidad.

Uso futuro.- En todo proyecto de construcción de un relleno sanitario se debe tener en mente la probabilidad de su utilización futura, a fin de integrarlo perfectamente al ambiente natural. Una vez terminada su vida útil, el relleno sanitario manual puede ser transformado en un parque, área deportiva, jardín, vivero o un pequeño bosque.

## 2.2 Estudios previos.

### 2.2.1 Estudios hidrológicos.

Debido a la complejidad de los fenómenos hidrológicos es difícil analizarlos mediante un razonamiento deductivo lógico, pues no siempre es aplicable una ley física para obtener resultados. En general, se partirá de una serie de datos observados, se analizará en forma estadística y posteriormente se establecerá una norma. El ciclo hidrológico es una alternativa apropiada para delimitar en forma aproximada el campo de la hidrología como la parte comprendida entre la precipitación sobre el terreno y el retorno de dicha agua a la atmósfera. A continuación describiremos las fases del ciclo hidrológico y su influencia en el diseño y operación de un relleno sanitario.

**Precipitación.-** Para el hidrólogo la precipitación es el término general que incluye todas las formas de humedad que emanan de la atmósfera. Juega un papel importante en el diseño de un relleno sanitario. La cantidad de agua precipitada se puede conocer por medio de la estación pluviométrica más cercana, es decir, el área que escurrirá hacia nuestro relleno podrá definir el tipo y las dimensiones de los drenajes exteriores; la lluvia que se precipitara directamente sobre la basura nos determinará la generación potencial de lixiviados. Por lo que respecta a la operación del relleno en tiempo de lluvia, será más difícil el manejo de la basura y material de cubierta tanto en la excavación como en la compactación. Otro problema que se genera con las lluvias es la dificultad del tránsito en los caminos de terracería dentro del sitio de relleno, por lo que se debe seleccionar el equipo adecuado para todo tipo de maniobras en zonas lluviosas. Esto en relación con los vehículos recolectores al momento de llevar los residuos sólidos al relleno.

**Escurremientos.** La hidrología clasifica los escurremientos en 3 tipos, todos ellos importantes para el diseño del relleno sanitario.

a).- **Escurremientos superficiales:** Proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre por la superficie. La cantidad de agua escurrida está en función de diferentes factores como intensidad de la precipitación, permeabilidad de la superficie del suelo, duración de la precipitación, tipo de vegetación, área de la cuenca, distribución de la precipitación y pendiente de la superficie. Como ya

se dijo con anterioridad, el conocimiento del agua escurrida hacia el relleno nos será muy útil para el diseño del drenaje, dimensiones y ubicación del mismo.

b) Escurrimiento subsuperficial: Se produce como consecuencia de la lluvia infiltrada y se mueve lateralmente sobre el horizonte superior del suelo debido a la presencia de un estrato impermeable; es importante analizar su efecto sobre el relleno, ya que es agua que no se ve y sin embargo puede afectar la operación del relleno o viceversa el relleno puede contaminar dichas aguas superficiales. Este tipo de escurrimientos se pueden conocer mediante la excavación de pozos, y conocidas las características de las corrientes consideradas en el diseño del relleno, mediante métodos de protección de aguas subterráneas, las cuales se describirán posteriormente

**b) Escurrimientos subterráneos:**

Proviene de la precipitación infiltrada, la cual recarga los acuíferos una vez que el suelo ha sido saturado. Al igual que el escurrimiento subsuperficial debe de ser considerada en el diseño de relleno debido a su posible contaminación.

### **Infiltración.**

Es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos del suelo y se mueve hacia el acuífero. Durante este proceso el agua satisface primero la deficiencia de humedad del suelo y el excedente pasa a formar parte del agua subterránea. A la rapidez con que el suelo permite el ingreso del agua al subsuelo se le denomina capacidad de infiltración y se determinará de acuerdo con los siguientes factores:

a). Estructuras del suelo: Esta varía a medida que se va saturada. Inicialmente, cuando se encuentra seco o poco húmedo, presenta alta capacidad de infiltración; conforme aumenta la humedad las partículas finas se expanden, se cierran grietas y por lo tanto decrece la conductividad hidráulica. Sobre de un terreno altamente impermeable, la mayoría del agua precipitada escurre y, a la inversa, el escurrimiento se vuelve casi nulo en los terrenos muy permeables.

b). La influencia del clima : En zonas áridas las lluvias fuertes y de corta duración no tienen tiempo de penetrar lo suficiente en el suelo. La mayor parte de esta agua se evapora.

c). Cobertura vegetal: Esta favorece la infiltración al proteger el suelo del impacto directo de la lluvia, evitando la compactación del suelo y atenuando los efectos de evaporación.

El conocimiento de la capacidad de infiltración se utilizará principalmente en el estudio del material de cubierta, ya que éste debe de ser semi-impermeable para minimizar el agua de escurrimiento que se pueda infiltrar a los estratos de desechos sólidos.

### 2.2.2 Estudios topográficos.

La topografía del sitio debe ser representada por curvas de nivel trazadas a cada metro, o medio metro en la escala adecuada, siendo recomendable utilizar 1:2000.

Todos los accidentes importantes como riachuelos, lechos de drenaje, pozos, rocas, caminos y construcciones deberán ser localizados con exactitud: igualmente serán localizadas las referencias de niveles oficiales.

También se dibujarán diferentes secciones en corte que nos servirán para estudiar la forma de atacar el relleno, así como para el cálculo de la capacidad del relleno.

Los diferentes tipos de topografía que podemos encontrar son terrenos planos, oquedades, valles o cañadas, etc.

### 2.2.3 Estudios geológicos.

El estudio adecuado del sitio en el que se realizará un relleno sanitario debe incluir un estudio geológico apropiado, que deberá de ser tan profundo o superficial, según la cantidad de desechos por disponer, así como de la cercanía y usos del manto freático. En rellenos muy pequeños, quizá baste con excavar unos cuantos pozos a cielo abierto para ver el tipo de suelo y si el manto freático es superficial. En los grandes puede ser necesaria la contratación de un equipo especialista en geología para hacer un estudio más completo..

Clasificación de suelos. Fig. 2.



De modo muy general, puede decirse que un suelo que contenga un mínimo de 15 a 20% de arcilla y el resto de arena y limo, ya constituye un material aceptable, se puede hacer mezclas graduadas de diferentes materiales.

Por otra parte, el único material de cubierta que no se acepta, es aquel que contiene un 20% o más del suelo orgánico.

El suelo como cubierta. Tabla 3 y tabla 4

Debemos considerar que el relleno sanitario tiene casi siempre como objetivo minimizar la descomposición de la parte orgánica de las basuras para evitar la formación de lixiviados contaminantes. Para esto hay que limitarles a las bacterias algunos de los elementos necesarios para su proceso metabólico, que son 3 principales : Sustrato, oxígeno y humedad. El sustrato es la basura, el oxígeno está limitado, y la humedad será mínima si se tiene cuidado en el diseño del relleno en cuanto al suelo como recipiente y a la cubierta como tapa.

La cubierta ideal deberá cumplir al máximo los siguientes factores:

- Prevención de moscas
- Prevención de roedores y aves.
- Minimización de entrada de agua.
- Difusión o concentración de los gases
- Prevenir incendios.
- Dar un aspecto estético agradable.
- Si se desea, permitir el crecimiento de la vegetación.

En realidad, si comparamos un tiradero a cielo abierto con un relleno sanitario, cubierto con cualquier tipo de material, ya se ve una ventaja enorme, es decir, se desearía un material ideal que cumpliera con todos los objetivos de la cubierta, pero como esto es difícil, se debe adaptar a las condiciones existentes en el lugar aunque sólo cumpla con alguno de los propósitos, a menos que se requiera ya sea por ordenamientos legales o por necesidad, reducir al máximo los riesgos de contaminación. Se muestran algunas de las propiedades de la cubierta, según el material usado.

Tabla 3  
LOS SUELOS COMO  
CUBIERTA

| FUNCION                       | GRAVA               |                       |                 |                            |      |             |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------|------|-------------|
|                               | GRAV<br>A<br>LIMPIA | LIMO<br>ARCILLOS<br>A | ARENA<br>LIMPIA | ARENA<br>LIMO<br>ARCILLOSA | LIMO | ARCILL<br>A |
| PREVENCION DE ROEDORES        | B                   | R/B                   | B               | M                          | M    | M           |
| SALIDA DE MOSCAS              | M                   | R                     | M               | B                          | B    | E           |
| MINIMIZAR ENTRADA HUMEDAD     | M                   | R/B                   | M               | B/E                        | B/E  | E           |
| MINIMIZAR SALIDA DE GASES     | M                   | R/B                   | M               | B/E                        | B/E  | E           |
| APARIENCIA Y CONTROL DE PAPEL | E                   | E                     | M               | E                          | E    | E           |
| VEGETACION                    | M                   | B                     | E               | E                          | B/E  | R/B         |
| PERMITIR SALIDA DE GASES      | E                   | M                     | M/R             | M                          | M    | M           |

E:EXCELENTE  
B:BUENO  
R:REGULAR  
M:MALO

Tabla 4

| Material de la zanja | Agua clara                               | Vel. M/seg<br>Agua con<br>sedimentos |
|----------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|
| Arena fina           | 0.45                                     | 0.45                                 |
| Material de la zanja | Agua clara                               | Vel. M/seg<br>Agua con<br>sedimentos |
| Arena fina           | 0.45                                     | 0.45                                 |
| Migajón limoso       | 0.60                                     | 0.60                                 |
| Grava fina           | 0.75                                     | 1.03                                 |
| Arcilla rígida       | 1.20                                     | 0.90                                 |
| Grava gruesa         | 1.20                                     | 1.80                                 |
| Pizarra tepetate     | 1.80                                     | 1.50                                 |
| Acero                | *                                        | 2.4                                  |
| Madera               | 6.00                                     | 3.00                                 |
| concreto             | 12.00                                    | 3.60                                 |
|                      | * limitada únicamente por<br>cavitación. |                                      |

El suelo como depósito.

Como ya se ha explicado, el suelo como depósito puede tener cualquier forma topográfica, y la geología aceptable será aquella que evite al máximo el paso de lixiviados hacia los mantos acuíferos. Así, mientras se tenga mayor impermeabilidad, el sitio será más adecuado. La aceptación o rechazo de un lugar propuesto para relleno sanitario no depende únicamente de la geología, sino que también de la calidad de las aguas que puedan contaminarse y del uso actual o futuro que éstas tengan; por ejemplo; no habría de qué preocuparse si el sitio escogido como relleno estuviera en una zona pantanosa. Por otra parte, un sitio con suelo muy permeable, minas de grava, por ejemplo, puede impermeabilizarse con métodos que se verán más adelante .

#### 2.2.4 Estudios climatológicos.

El viento, la lluvia y la temperatura afectan directamente el diseño y la operación de un relleno sanitario. El viento arrastra la basura y produce polvos, problemas que deben ser evitados mediante la colocación de cercas de malla de alambre, cortinas de árboles o de arbustos, riegos para evitar polvos, etc.. En el caso de fríos muy intensos, habrá que acumular material de cubierta para el invierno, ya que el suelo se hace muy duro, aunque en nuestro país esto no ocurre con frecuencia. Del mismo modo, cuando hay periodos de lluvia muy intensos, habrá que prever en el diseño un frente de trabajo de fácil acceso para la época de secas. En general se puede decir que una

precipitación menor de 300 mm/año no requiere, para su control, de muchos cálculos y cuidados. Una lluvia de 300 a 1000 mm/año ya puede producir daños severos si no se toman precauciones adecuadas. En cambio una precipitación mayor de 1000 mm/año necesita cuidadosos cálculos y obras de control.

#### 2.2.5 Estudios de impacto ambiental

Los residuos sólidos municipales y peligrosos son causas de problemas ambientales importantes, especialmente en áreas urbanas y en las zonas industrializadas de América Latina y del Caribe . El impacto de la generación y manejo de los residuos sólidos también amenaza la sustentabilidad ambiental . El consumo y la contaminación fueron símbolos de la industrialización y, a partir de la década de 1970, los cambios en el ambiente comenzaron a adquirir visibilidad y preocupación por la preservación del futuro

La conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo, en 1992, no sólo reconoció esa preocupación por el ambiente sino que propuso un nuevo modelo de desarrollo mediante el uso racional de los recursos naturales. Reconoció también que los principales desafíos son reducir la pobreza y preservar el ambiente . Transcurridos 5 años de la Conferencia, América Latina y el Caribe enfrentan la necesidad del desarrollo y la preservación ambiental, sin que el desarrollo sustentable haya ganado intensidad.

En América Latina y el Caribe, el impacto ambiental negativo ocasionado por el inadecuado manejo de residuos sólidos municipales, especiales y peligrosos se presenta en el siguiente orden decreciente de riesgo durante su gestión de los desechos sólidos.

- En los sitios de disposición final ( vaciadores abiertos y clandestinos en barrancos y márgenes de caminos; vertidos en ríos y lagunas , pantanos, esteros y el mar; rellenos controlados y rellenos sanitarios .
- En sitios de almacenamiento, incluidos los patios traseros de las industrias, terrenos baldíos y contenedores defectuosos.
- En las estaciones de transferencia y en las plantas de tratamiento y recuperación .

- En el proceso de recolección y transporte.

## El impacto ambiental asociado a los residuos sólidos

Los problemas del manejo inadecuado de los residuos sólidos en ALC no sólo están afectando la salud humana, sino que están relacionados con la contaminación atmosférica, del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas. Además, el inadecuado manejo está generando el deterioro estético de los centros urbanos y del paisaje natural de muchas ciudades de la región. Lo anterior se agrava cuando se constata que en la mayoría de las ciudades, la disposición final de los residuos sólidos municipales, especiales y peligrosos se hace en forma conjunta e indiscriminada.

### a.) Recursos hídricos superficiales.

Uno de los efectos ambientales mas serios provocados por el manejo inadecuado de los residuos sólidos es la contaminación de las aguas superficiales, que muchas veces son fuentes de abastecimiento de aguas potables. Por una parte, la materia orgánica de los residuos disminuye el oxígeno disuelto y aumenta los nutrientes N y P, lo que ocasiona el aumento descontrolado de algas y genera procesos de eutrofización. Por otra parte, los residuos sólidos municipales frecuentemente están mezclados con residuos peligrosos industriales, lo que origina contaminación química. Como consecuencia, se produce la perdida del recurso para consumo humano o para recreación, se destruye la fauna acuática y también se deteriora el paisaje. Además implica altas inversiones si se quiere recuperar el recurso.

En Colombia, el 3 % de los RMS de Cali y de la mayoría de los municipios del departamento del Cauca son vertidos al río Cauca; 100 % de los municipios por los que pasa el río Magdalena disponen sus basuras en la riberas; y en el río Tunjuelito en Bogotá se contaminan por la afluencia de lixiviados sin tratamiento procedentes del relleno sanitario “ Doña Juana “ .

En Uruguay, donde 14% de los recursos hídricos superficiales se destinan al consumo humano y las aguas superficiales satisfacen el total de la demanda de agua potable de Montevideo y 80% del interior del país, el vaciado de RSM y RP en su red hidrográfica tiene consecuencias graves. En Montevideo, el Lixiviado sin tratamiento procedente del relleno descarga en un afluente del arroyo Carrasco, lo que compromete el uso de este recurso para consumo humano.

Estudios hechos en México indican que la demanda bioquímica de oxígeno de la basura es 8 veces mayor que la producida por las aguas negras .

En general, en todos los países de la Región hay contaminación de las aguas superficiales por vertimiento de RSM.

#### b.) Recursos hídricos subterráneos.

Los acuíferos confinados o libres, pueden contaminarse inadvertidamente por la inadecuada disposición final de los RSM, pero en la mayoría de las situaciones se subestima el problema, aun cuando la contaminación por nitróidos y otras sustancias químicas en aguas subterráneas para consumo humano son peligrosas para la salud.

En Uruguay, donde 58000 viviendas se abastecen de pozos surgentes, la inadecuada disposición de RS reviste especial impacto ambiental negativo. En Bogotá, los lixiviados generados en los vaciadores de el cortijo y Gibraltar contaminaron las aguas subterráneas con plomo, cromo y mercurio.

#### c.) Costas marinas .

La disposición de RS en las orillas del mar ha causado problemas de deterioro ambiental de costas y playas, del paisaje natural, así como de la fauna marina; Todo esto afecta el turismo. Problemas de este tipo se han presentado en el Caribe, Perú, Brasil, Colombia y otros países.

#### d.) Aire.

En los botaderos a cielo abierto, es evidente la contaminación atmosférica por la presencia de malos olores y la generación de humos, gases y partículas en suspensión, producto de la quema provocada o espontánea y de arrastre de vientos. Los incineradores de edificios multifamiliares fueron prohibidos en ciudades tales como México y Buenos Aires por incrementar la contaminación atmosférica. La quema de basura es y los incineradores sin sistema de control de la contaminación

presenta un riesgo mayor debido a la presencia de plásticos, compuestos organoclorados y otros productos químicos de significativa peligrosidad.

Todos los países de América Latina y el Caribe tienen problemas de contaminación atmosférica por estas causas.

Otros impactos negativos asociados al aire son los malos olores por el inadecuado manejo de contenedores, el deficiente almacenamiento de los RS, el poco cuidado en su recolección y transporte y la gestión ineficiente de estaciones de transferencia y plantas de tratamiento y recuperación para reciclaje. Este problema está generalizado en todos los países de América Latina y el Caribe.

#### e.) Impactos sobre el paisaje.

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

El creciente desarrollo urbano de América Latina y el Caribe ha generado un continuo deterioro del paisaje, que es el que en última instancia recibe todos los desechos de todas las actividades del ser humano y, por lo tanto, un muy inadecuado manejo no sólo afecta la salud y el ambiente, sino que disminuye la calidad de vida en términos del espacio y en horizonte. No es raro ver que por falta de planificación y ordenamiento del uso de suelo, se haya localizado un botadero municipal en la cima de una montaña que define los límites de la ciudad como en Pasto, Colombia.

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

#### f.) Impacto sobre el suelo.

El crecimiento de las áreas urbanas incide directamente sobre el recurso suelo, tanto por la pérdida de tierras productivas como por la contaminación del suelo por RSM, especiales y peligrosos . Se hace uso inapropiado del suelo y se vierten los residuos sobre depresiones de terreno, muchas de ellas derivadas de la erosión, siendo actualmente la solución adoptada por muchos municipios de la Región . El enterramiento de residuos industriales no se ha identificado aún como un problema significativo, posiblemente por carencia de control al no existir normas precisas sobre esta materia. En general, en todos los países de la Región se practica el vaciado de los residuos sólidos en botaderos abiertos.

## 2.3.- OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PERIFERICA.

### 2.3.1 Vías de acceso

El terreno debe de estar cerca de una vía principal de uso permanente para que su acceso sea fácil y resulte mas económico el transporte de los desechos sólidos y la construcción de las vías internas de penetración . Estas deben permitir el ingreso fácil, seguro y rápido a los vehículos recolectores hasta el frente de trabajo en todas las épocas del año.

Es necesario destacar que el tiempo empleado en el acarreo de basuras hasta y desde el sitio del relleno sanitario, es más importante que la distancia.

Aunque el relleno sanitario se encuentre a cierta distancia de la población a servir, se debe prever caminos adecuados para el acceso de los camiones recolectores . Para el diseño de los caminos se deben tomar en cuenta las características de los vehículos a utilizar, sus dimensiones, el peso total cuando van cargados, las pendientes permisibles etc.

De acuerdo a la generación de desechos la población se puede calcular en numero de viajes de los camiones hacia el relleno, entre mayor sea el número de viajes se justificará la construcción de un camino pavimentado que cumpla con las especificaciones de diseño de una carretera. De esta forma se logra el rápido acceso de los camiones hacia el relleno, minimizando los tiempos muertos de recolección y costos de transporte.

Si el número de viajes de los camiones hacia el relleno es muy bajo, resulta inconveniente la construcción de un camino pavimentado que nos elevaría los costos del relleno; en este caso, un camino nivelado y compactado es suficiente; los suelos con alto contenido de grava proveerán una buena alternativa ya que presentan una buena cubierta de la superficie y tienen excelentes características de drenaje.

Los caminos, sean estos pavimentados o de terracería, deben ser generalmente de dos carriles o sea entre 6 y 7 metros de ancho con pendientes que no excedan las limitaciones de operación del equipo. En general se recomienda :

Subidas para vehículos cargados      7% máx.

Bajadas para vehículos cargados      10% máx.

Curvas dependiendo del tipo de vehículo.

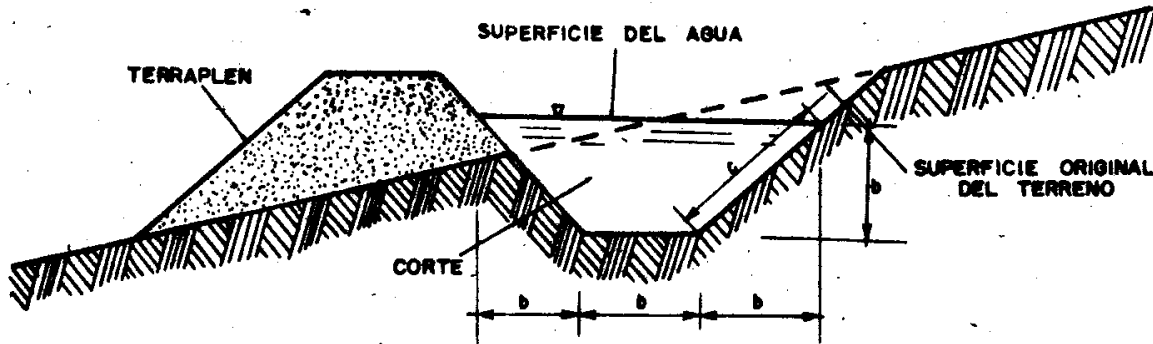
### 2.3.2. Drenaje pluvial externo.

Es importante estudiar la precipitación pluvial del lugar para prever las características de los drenajes y las obras que se vayan a necesitar a fin de atenuar la producción de lixiviados. Así se evitará también la contaminación de las aguas y se lograra definir las áreas de operación e instalaciones para los trabajadores.

Las aguas de lluvia caen sobre las áreas vecinas al relleno sanitario y muchas veces escurren hasta éste, causando serias dificultades de operación. Interceptar y desviar el escurrimiento del agua de lluvia fuera del relleno sanitario contribuye significativamente a reducir el volumen del líquido percolado y también a mejorar las condiciones de operación. Por lo tanto es necesario construir un canal en tierra o suelo-cemento de forma trapezoidal y dimensionarlo de acuerdo con las condiciones de precipitación local, área tributaria, características del suelo, vegetación y topografía.

.Para una pequeña cuenca se recomienda usar un canal con las dimensiones que presenta la fig. 3 2.3.2.A. No obstante, si así lo estima el ingeniero y si debido a las características del lugar se requiere de mayor precisión, se puede calcular el caudal aportante mediante el método racional y las dimensiones del canal.

FIG. 3 2.3.2. A



El agua de lluvia representa uno de los problemas más críticos en la operación de un relleno sanitario, por los potenciales problemas de contaminación que se pudieran presentar al mezclarse dicha agua con los desechos. Es importante evitar que esta agua escurra y penetre en el relleno sanitario. Para lograr este objetivo se diseñan obras de drenaje que interceptan dichos escurrimientos, evitando la entrada de agua al sitio de operación.

Las obras de drenaje más comunes que se utilizan para la protección de un relleno son las siguientes : a) Canales. B) Bordos C) Barreras impermeables.

Para el diseño de las obras de drenaje es factible la utilización de métodos empleados en el calculo de redes de alcantarillado pluvial como el método racional, cuya formula se puede expresar como :

$Q = K I A$  Donde : K = Coeficiente de escurrimiento.

I = Intensidad de la lluvia. (mm/hr)

A = Área de aportación.

Q = Caudal portante o máximo. Escurrimiento.

Mediante esta fórmula se conocerá el gasto de agua que escurrirá hacia el relleno y utilizando la formula de MANNING y la ecuación de continuidad se puede diseñar las dimensiones del canal para desviar dichas aguas .

Formula de MANNING  $V = 1/n S^{.5} R^{.66}$  donde : N = rugosidad ; S = Pendiente

Radio Hidráulico  $R = A/P$  donde : P = Perímetro mojado ; A = Área

Ecuación de continuidad  $Q = AV$  donde : Q = Gasto ; A = Área

V = Velocidad

Un método práctico y eficiente para la construcción de canales es mediante la utilización de tambos de 200 litros partidos a la mitad y distribuidos en forma longitudinal.

A continuación se ejemplifica la secuencia general para el diseño de un canal de intercepción de aguas superficiales para un relleno sanitario.

1.- Hacer una investigación en el campo analizando la topografía , las características del suelo , la vegetación , etc. Ver fig. 4 2.3.2. B

2 .- Estudiar en un plano el sitio a escala conveniente, por ejemplo 1: 1000 seleccionando la curva de nivel que sea adecuada para colocar la zanja. Esta siempre debe ser trasladada en la curva de nivel para garantizar una velocidad máxima que no provoque erosión excesiva.

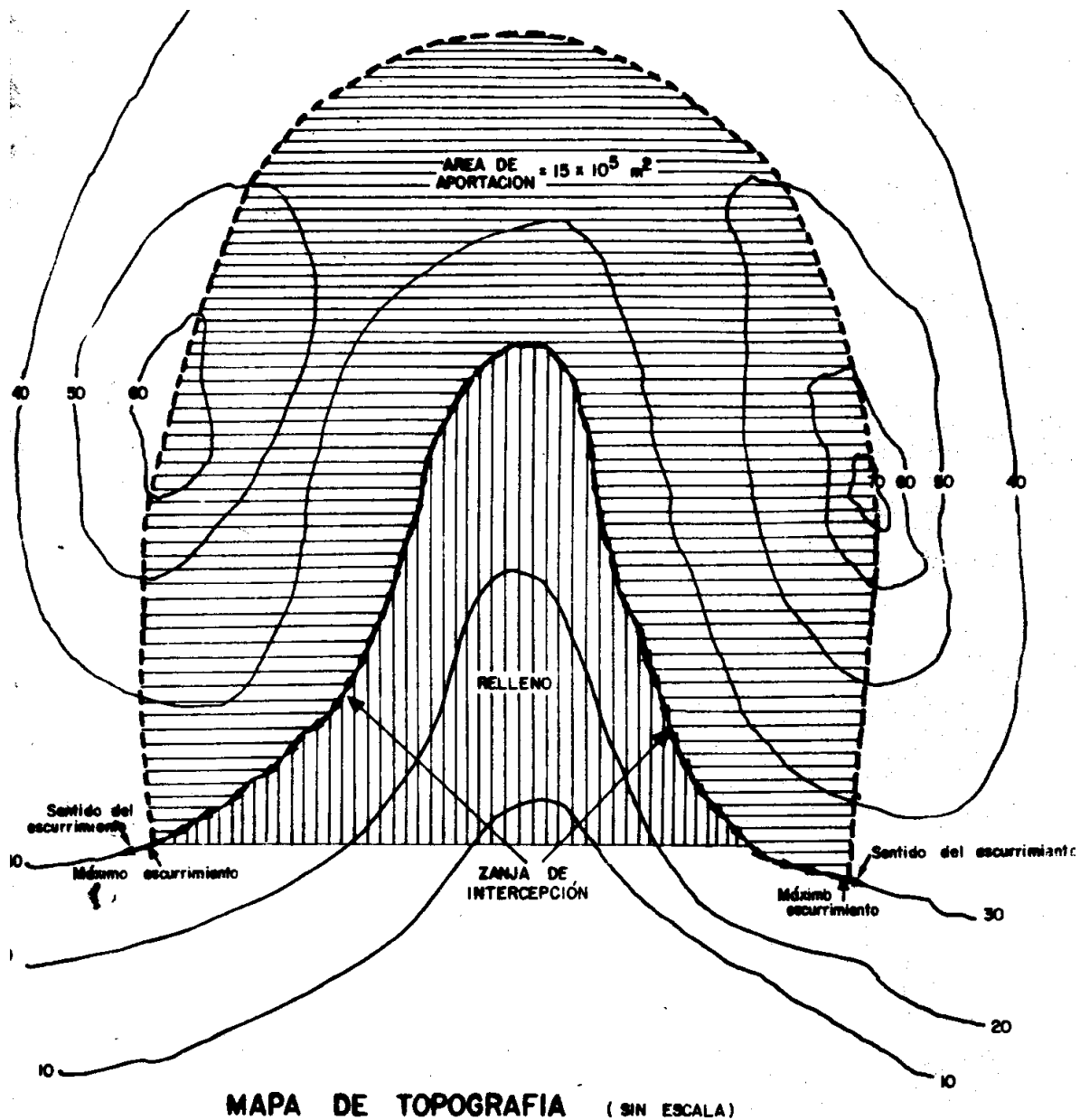


FIG. 4 2.3.2.B

3.- Determinar la velocidad de diseño en la zanja, dentro de las limitaciones impuestas por la topografía. La ruta exacta de una zanja queda definida por la pendiente que puede tolerarse o admitirse. La pendiente excesiva puede producir una velocidad suficiente para causar erosión en la plantilla de la zanja. La velocidad con la cual se iniciará la erosión depende del material del lecho. A continuación se presenta la tabla de velocidades máximas permisibles en zanjas.

También es necesario asegurar una velocidad mínima que impida la sedimentación, debido a que el material en suspensión en el agua puede depositarse si la velocidad es muy baja. Por lo tanto, las velocidades de diseño deben ser ligeramente menores que las velocidades máximas permisibles si la topografía lo permite.

Para el ejemplo se supone que el material donde se construirá es limoso.

Velocidad máxima permisible 0.60 m/s

Se utilizará como velocidad de diseño 0.50 m/s -- 30.00 m/min.

4). Estimar el coeficiente de escurrimiento (K) para la cuenca, utilizado en la siguiente tabla.

Valores empíricos para obtener el coeficiente de escurrimiento K.

#### 1- TOPOGRAFÍA (K')

|                                           |                 |      |
|-------------------------------------------|-----------------|------|
| Terreno plano con pendiente del orden de  | 0.2 - 0.6 m/km. | 0.30 |
| Terreno con inclinación leve del orden de | 3 - 4 m/km...   | 0.20 |
| Terreno con inclinación fuerte            | 30 - 40 m/km... | 0.10 |

#### 2- SUELO (K'')

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Arcilla .....             | 0.10 |
| Arcilla con migajón ..... | 0.20 |
| Migajón arenoso .....     | 0.10 |

#### 3.-COBERTURA (K''')

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| Terrenos agrícolas y pastizales ..... | 0.10 |
| Áreas boscosas .....                  | 0.20 |

El coeficiente K se obtiene de la siguiente manera :

$$K' = 1 - (K' + K'' + K''')$$

En este caso, a nivel de ejemplo, se supone que el terreno tiene inclinación fuerte (0.10), suelo de migajón limoso (0.25) y la cobertura es una mezcla de pastizal y área boscosa 0.15, por lo que K será igual a:

$$K = 1 - (0.10 + 0.25 + 0.15) = 0.50$$

$$K = 0.50$$

5.-Determinación de la intensidad de la lluvia (1).

Para el conocimiento de este valor se analizan los datos meteorológicos del sitio, para nuestro ejemplo 1= 22.3 mm/hora.

6.-Cálculo del máximo escurrimiento en la zanja (Q) en metros cúbicos por segundo, usando la siguiente ecuación, conocida comúnmente como fórmula racional.

$$Q = \frac{K I A}{100} \quad \text{1 - mm/hora x 10}$$

$$Q = (.5 \times 22.3 \times 7.5 \times 10 (5)) / (3.6 \times 10 (6)) = 2.32 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

7.-Cálculo del área transversal de la zanja.

$$A = \frac{Q}{V} \quad Q = 2.32 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 0.50 \text{ m/s}$$

$$A = 2.32 / 0.5 = 4.64 \text{ m}^2$$

La determinación del tipo de sección a emplear estará en función de la estabilidad del material en el que se excavará la zanja, estas secciones normalmente son de sección trapezoidal. La siguiente tabla enumera las pendientes típicas de taludes para zanjas revestidas en diversos materiales.

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

| Material de Excavación | Taludes    |          |
|------------------------|------------|----------|
|                        | Horizontal | Vertical |
| Roca Firme             | 0.25       | : 1      |
| Roca Fracturada        | 0.5        | : 1      |
| Suelo Firme            | 1.0        | : 1      |
| Migajón gravoso        | 1.5        | : 1      |
| Suelo arenoso          | 2.5        | : 1      |

Tabla 5 2.3.2.(2)

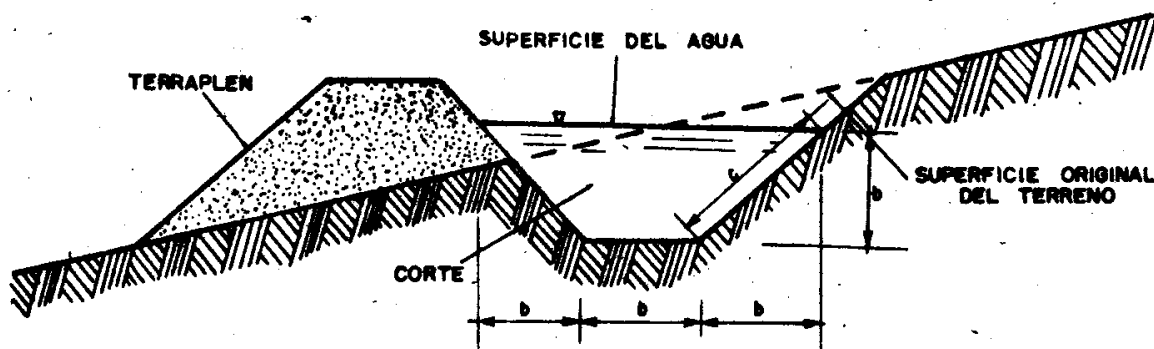


FIG. 5 2.3.2-C

$$A = 2b^2 \quad A=4.64$$

$$B = (4.64 / 2)^{.5} = 1.52 \text{ m}$$

$$C = (2)^{.5} b = 2.15 \text{ m}$$

Cálculo del radio hidráulico

$R = A / P$       Área entre perímetro mojado

$$R = 4.64 / 1.52 + 2.15 + 2.15 = 0.797$$

Cálculo de la pendiente de la plantilla mediante la fórmula de Manning.

$$V = 1/n \cdot R^{0.66} \cdot S^{.5} \quad n = \text{Coeficiente de rugosidad}$$

Se supone una corriente natural con piedras y hierbas  $n = 0.035$  por lo que la pendiente será igual a:

$$S = (n^2 / R^2) = (0.035^2 \cdot 0.5 / 0.79) = 41.4 \text{ cm de desnivel por kilómetro.}$$

TABLA 6 232 (D)

TABLA DE VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (n)

| MATERIALES DE LA ZANJA                          | n     |
|-------------------------------------------------|-------|
| PLASTICO, VIDRIO, TUBERIA ESTIRADA.             | 0.009 |
| CEMENTO PURO, METAL LISO                        | 0.01  |
| MADERA CEPILLADA, TUBERIA ASBESTO               | 0.011 |
| HIERRO FORJADO, ACERO SOLDADO, LONA             | 0.012 |
| CONCRETO ORDINARIO, HIERRO COLADO ASFALTICO     | 0.013 |
| MADERA NO CEPILLADA, BARRO VITRIFICADO          | 0.014 |
| TUBERIA DE HIERRO COLADO                        | 0.015 |
| ACERO REMACHAD. TABIQUE                         | 0.016 |
| MAMPOSTERIA DE PEDACERIA                        | 0.017 |
| TIERRA EMPAREJADA                               | 0.018 |
| GRAVA FIRME                                     | 0.02  |
| TUBERIA DE METAL CORRUGADO                      | 0.022 |
| CORRIENTES NATURALES EN BUENA CONDICION         | 0.025 |
| CORRIENTES NATURALES CON PIEDRA Y HIERBA        | 0.035 |
| CORRIENTES NATURALES, EN MUY MALAS CONDICIONES. | 0.06  |

### 2.3.3. Protección externa. ( Muro, barda y/o malla perimetral )

Se debe construir una cerca de alambre de púas de cuatro hiladas, con un portón de entrada para darle seguridad y disciplina a la obra. Es importante también para impedir el libre acceso del ganado al interior del relleno, dado que aquel no sólo entorpece la operación, sino también destruye las celdas, especialmente cuando se retiran los trabajadores al fin de la jornada diaria.

Es también necesaria la conformación de un cerco vivo de árboles y arbustos como aislamiento visual, pues oculta de los vecinos y transeúntes la vista de los desechos sólidos; da buena apariencia estética al contorno del terreno y puede servir para retener papeles y plásticos levantados por el viento. Se recomienda sembrar plantas y árboles de rápido crecimiento ( pino, eucalipto, laurel, bambú etc.) .

Es de considerarse que también se puede construir una barda, muro o malla perimetral que realice las funciones descritas anteriormente, pero en estos casos se gastaría un poco mas del presupuesto destinado y se tendría que contemplar de esta manera si la función principal es de guardar un punto estético al lugar, sin extremar los factores económicos presupuestados.

## 2.4 Obras de infraestructura interna.

### 2.4.1. Protección de aguas subterráneas.

Las características del suelo en que se realizará un relleno sanitario son de suma importancia ya que un suelo permeable facilitaría la infiltración de lixiviados hacia los mantos freáticos. Para evitarse esto se utilizan diferentes técnicas de protección algunas de las cuales se describen a continuación.

#### a).-Arcillas compactadas :

Este método consiste en colocar sobre el terreno una capa de arcilla altamente impermeable, compactada. El espesor de esta capa varía de 20 a 30 cms. dependiendo de los siguientes parámetros:

- Características de la arcilla a utilizar.
- Características y cantidades de lixiviados que se generarán.
- Profundidad de los mantos acuíferos

b).-Materiales sintéticos.

Cuando en las cercanías del relleno no existen bancos de arcilla u otro material impermeable resulta costoso el acarreo de dicho material de lugares muy lejanos; por tal motivo, últimamente se ha generalizado la utilización de materiales sintéticos obteniéndose buenos resultados. Entre los materiales factibles de utilizar se pueden nombrar los siguientes:

- Hule sintético
- Polietileno
- Impermeabilizaciones de asfalto.

La colocación de estas membranas sintéticas debe hacerse bajo un estricto control, ya que las uniones deben de ser perfectamente impermeables, y evitar además la perforaciones durante su colocación. Estas membranas regularmente se asientan sobre una base de arena nivelada cubriéndola con otra igual del mismo material.

Otro de los factores a considerar en el diseño de obras de protección de aguas subterráneas, es la distancia que debe existir entre la base del relleno y el nivel de aguas freáticas. A esta distancia se le denomina interfase. Con esta información se determina el espesor de suelo necesario para renovar el lixiviado que pudiera infiltrarse .

El diseño de la interfase esta íntimamente ligado a las características de los lixiviados producidos y con los principales mecanismos de renovación que se enumeran a continuación:

- Filtración
- Absorción
- Precipitación química
- Acción bacteriológica.

Se supone que al contemplarse la selección del sitio se optó por el lugar más favorable, en relación con las corrientes de agua mas próximas. De esta manera hay más posibilidades de no contaminar pozos de abastecimiento de agua de consumo y tomando la consideración en lo relacionado con los niveles de aguas freáticas. Si sólo se cuenta terrenos cenagosos o pantanosos, éstos pueden

aprovecharse para construir un relleno sanitario manual bajando el nivel freático permanente, mediante procesos que se describen a continuación:

Excavar una zanja o varias zanjas de drenaje en la parte inferior del terreno a la profundidad que se requiera en cada caso, hasta determinar que las primeras capas de basura del relleno estén como mínimo de 0.60 m a 1.00 m sobre el nivel más alto del agua.

Colocar una tubería perforada de concreto y llenar con piedra de zanja, a manera de filtro, a todo lo largo de la misma.

Cubrir con tela de ingeniería ( geotextil) o material similar el drenaje de piedra para evitar que se colmate .

Colocar una capa de 0.60 – 1.00 m de material arcilloso sobre la tela para alcanzar el aislamiento entre la superficie del drenaje y los desechos sólidos, a fin de evitar una posible contaminación del agua.

Se debe tener cuidado de no cruzar los drenajes del líquido percolados con la zanja de drenaje para abatir el nivel de agua.

#### 2.4.2. Drenaje de lixiviados.

El manejo de líquidos percolados en uno de los mayores problemas que se presentan en un relleno sanitario. En algunos casos a pesar de contar con los canales periféricos para interceptar y desviar aguas de escorrentía, la lluvia que cae directamente sobre la superficie del relleno aumenta significativamente el volumen de lixiviados. Por lo tanto es de vital importancia construir un sistema de drenaje en el terreno que servirá de base al relleno sanitario antes del depósito de las basuras . En lo posible, este sistema debe retener el percolado en el interior del relleno, para dar lugar a un mayor tiempo de infiltración y disminuir su aparición a nivel superficial. Lo anterior tiene el propósito de evitar al máximo su tratamiento, el cual es demasiado complejo y económicamente poco factible para estas localidades, dado sus altos costos.

Para obtener una mayor eficiencia, se recomienda construir también estos drenajes en todas las bases de taludes interiores y exteriores de las terrazas o niveles que conforman el relleno sanitario , a fin de evitar el escurrimiento por la superficie de los taludes inferiores y además interconectarlos con el drenaje vertical de gases.

Construcción del sistema de drenaje.

El sistema de drenaje consiste en una red horizontal de zanjas en piedra, interrumpiendo el flujo continuo del percolado por medio de pantallas en tapia o madera o incluso del mismo terreno.

Los drenes se pueden construir de la siguiente manera.

- Se prepara el trazo por donde se ubicará el drenaje en el terreno, el cual puede ser similar al de un sistema de alcantarillado ( por ejemplo, espina de pescado ). FIG:10 242-A
- Se excavan las zanjas y se construyen las pantallas cada 5 a 10 mts. con un ancho de 0.20 a 0.30 mts. o simplemente se dejan intactos en la zanja estos pequeños espacios del suelo. Para que el percolado pueda escurrir sin rebosar las zanjas, se le dará en el fondo una pendiente del 2% y un borde libre de unos 0.30 mts. entre la pantalla y el nivel de la superficie.
- Se llenan zanjas con piedras de 4" ó 6", de manera que permitan más espacios libres, para evitar su rápida colmatación . Una vez que se tengan las zanjas llenas con piedra , se recomienda colocar sobre ellas un material que permita infiltrar los líquidos y retener las partículas finas que lo puedan colmatar. Este efecto se consigue con varas secas de helechos, pasto e incluso hierba, que remplazan el geotextil. . FIG: 11 242-B

Otra manera de construir este drenaje en la base del terreno, es utilizando las llantas desechadas de los automotores, con lo cual se aprovecha un material voluminoso de difícil manejo en el relleno, obteniendo una mayor capacidad de almacenamiento para el líquido percolado. Una vez enterradas las llantas en sentido vertical- una junto a otra- se coloca encima una capa de 0.20 a 0.30 mts. de piedra y las ramas secas como el caso anterior . Es importante de que la zanja tenga una conformación especial para recibir llantas. FIG: 11 242-B

Cuando ocurran periodos de lluvia fuertes y la cantidad de lixiviados sea tal que exceda la capacidad de los drenajes en el interior del relleno, se recomienda prolongar y orientar el sistema de drenaje de las mismas características y conformar por fuera del relleno un campo de infiltración que permita por lo menos almacenar este liquido durante estos días de lluvia. FIG: 12 242-C.

En este drenaje fuera del relleno pueden dejarse algunos tramos alternos entre pantalla y pantalla sin efectuar el llenado de piedras. Esto se hace con varios propósitos, entre ellos:

- Estimar el volumen del percolado que sale del relleno.
- Verificar la cantidad de material sólido que se ha sedimentado, lo que nos puede indicar el momento de efectuar la limpieza del drenaje exterior del relleno.

Sin embargo, existen regiones que presentan condiciones extremas de precipitación pluvial (más de 3,000 mm/año), en las que la lluvia que cae directamente sobre el área rellena puede generar una gran cantidad de lixiviado difícil de manejar. En estos casos, de acuerdo con los cálculos, el volumen de lixiviado que se espera puede ser tal que incluso el terreno disponible para el sistema de drenaje que permita su almacenamiento e infiltración sea insuficiente y/o que su construcción resulte económicamente poco factible.

Para manejar y controlar la producción de lixiviado en estos casos, se recomienda:

- Sobredimensionar el sistema de drenaje a construir en el terreno
- Construir el relleno de manera que se tengan áreas estrechas de trabajo, es decir, es preferible superponer las celdas, apoyándolas sobre el talud del terreno o de las celdas ya terminadas; en otras palabras, el avance se hace más en altura que en área
- Introducir a las operaciones de rutina diaria el cubrimiento de las celdas y áreas terminadas temporalmente con material plástico, a fin de impedir la infiltración del agua de lluvias a través de las basuras. Mediante esta práctica se podrá reducir significativamente el volumen

de lixiviado. Conviene recordar que la cantidad de material plástico que se requiere es reducida, si se tiene en cuenta la poca extensión del relleno y el método de trabajo.

- Se puede utilizar el material plástico que ha sido desechado de los invernaderos de grandes cultivos.
- Proceder a aplicar la cobertura final e inmediatamente sembrar grama sobre las áreas terminadas del relleno.

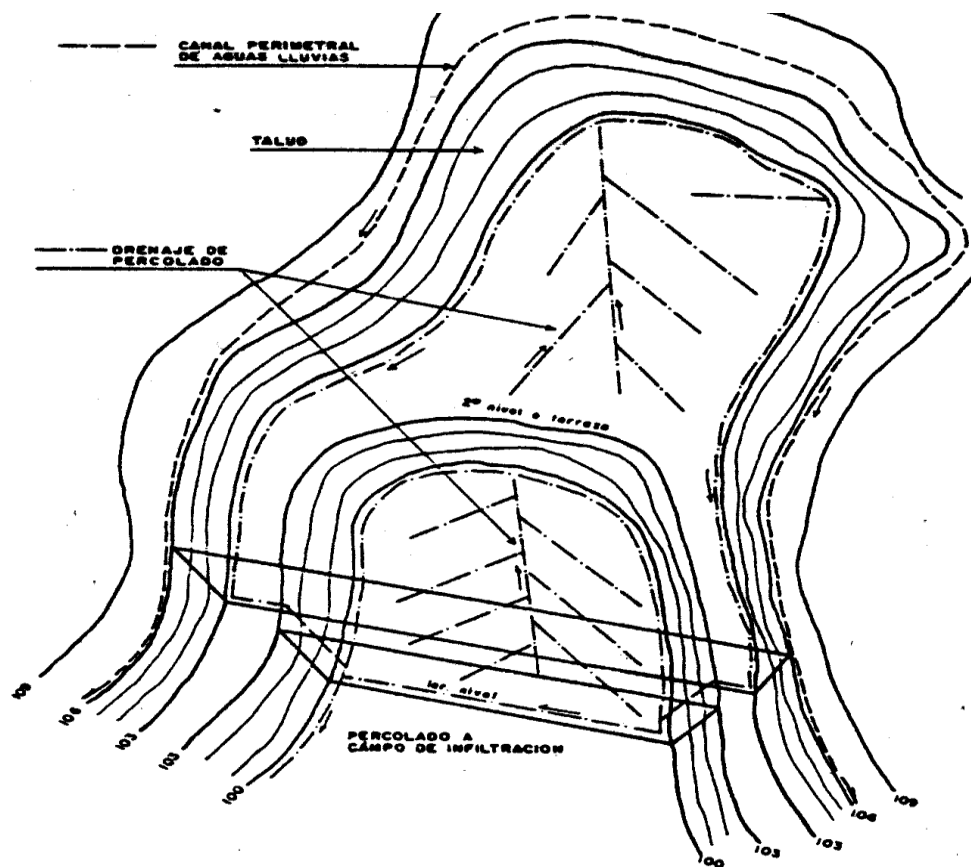


Fig. 10

DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL PERCOLADO.

Generalmente, en las regiones donde la precipitación anual no exceda los 300 mm y se cuente con un canal apropiado para interceptar y desviar las aguas de lluvia, se espera que no se presenten problemas significativos con el lixiviado.

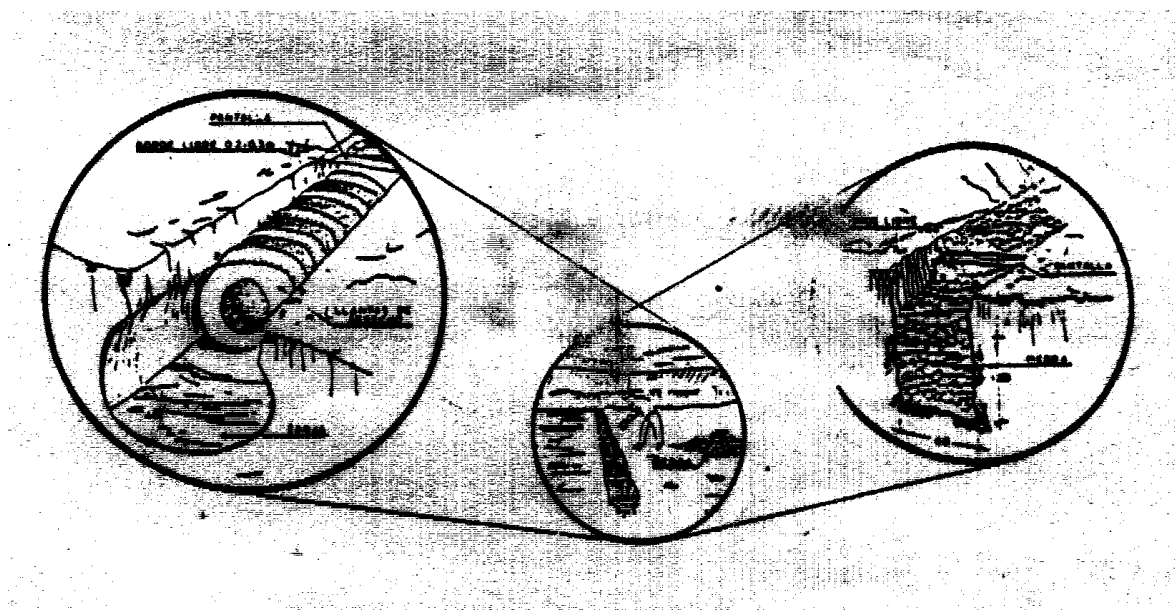


Fig. 11

#### DETALLE DE DRENAJE DE PERCOLADO.

#### 2.4.3. Drenaje de gases

El drenaje de gases está constituido por un sistema de ventilación en piedra sobre tubería perforada de concreto ( revestida en piedra ), que funcionará a manera de chimenea o ventilas , las cuales atraviesan en sentido vertical todo el relleno desde el fondo hasta la superficie . Estas chimeneas se construyen verticalmente a medida que avanza el relleno, procurando siempre una buena compactación a su alrededor; se recomienda instalarlas cada 20 ó 50 metros , con un diámetro entre 0.30 y 0.50 mts. Cada una, de acuerdo con el criterio del ingeniero.

Se deben interconectar los drenes, a fin de lograr una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases en el relleno sanitario.

Luego de tenerse prevista la conclusión de la última celda, se colocan dos tubos de concreto: el primero, perforado para facilitar la captación y salida de gases, además para que los desechos sólidos o la tierra de cobertura no obstruyan los orificios del tubo, se reviste con piedra o cascajo a manera de camisa de protección. El segundo tubo, en cambio, no será perforado, a fin de coleccionar el gas y quemarlo, eliminando los olores producidos por los gases .

Control y aprovechamiento de gas. Fig. 13-14-15-16-17

A partir de la descomposición de la materia orgánica se generan gran cantidad de gases, producto de la actividad química y biológica, que regularmente siguen un patrón definido; inicialmente los organismos aerobios son los encargados de la descomposición, hasta que casi todo el oxígeno es utilizado. Posteriormente serán los microorganismos facultativos y anaerobios los que realizarán dicha labor.

Los principales gases que se producen en un relleno sanitario son nitrógeno, bióxido de carbono y metano; la cantidad de éstos variará conforme a la edad del relleno sanitario. Como ejemplo en la tabla 7 2.4.3-A se presentan los porcentajes promedio de producción de gases desde el término del relleno hasta 48 meses después.

TABLA 7 2.4.3-A

| Porcentajes          |                |                 |                 |
|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Intervalos de tiempo | nitrógeno      | bióxido de      | metano          |
| Apartir del recubri- | n <sup>2</sup> | carbono         | ch <sup>4</sup> |
| miento de la celda   |                | co <sup>2</sup> |                 |
| (meses)              |                |                 |                 |
| 0-3                  | 5.2            | 88              | 5               |
| 3-6                  | 3.8            | 76              | 21              |
| 6-12                 | 0.4            | 65              | 29              |
| 12-18                | 1.1            | 52              | 40              |
| 18-24                | 0.4            | 53              | 47              |
| 24-30                | 0.2            | 52              | 48              |
| 30-36                | 1.3            | 46              | 51              |
| 36-42                | 0.9            | 50              | 47              |
| 42-48                | 0.4            | 51              | 48              |

De los gases producidos en un relleno se pondrá especial atención en el metano y en el bióxido de carbono de acuerdo a las características que a continuación se describen:

METANO CH<sub>4</sub> – gas incoloro, altamente explosivo en concentraciones del 5 al 15%. En presencia de oxígeno ataca a algunas especies vegetales.

BIÓXIDO DE CARBONO CO<sub>2</sub> – gas incoloro e inodoro que puede disolverse y formar ácido carbónico y ácido sulfhídrico que presenta condiciones agresivas de olor hacia la población.

Para el control de los gases se diseñan obras, las cuales pueden ser tuberías ó simplemente zanjas rellenas de grava.

El método de ventilas o zanjas rellenas de grava ha sido utilizado con éxito ya que evita el flujo lateral del gas dándole una salida fácil y accesible. Para lograr esto la superficie superior de la zanja

debe estar libre de vegetación o tierra, ya que retienen la humedad y dificultan la ventilación. También debe evitarse que los escurrimientos superficiales penetren por la zanja, ya que esto aumentaría la cantidad de lixiviado generado en el relleno, para evitar lo anterior la zanja se construirá en forma de bordo, para que únicamente penetrará a través de ella el agua que se precipite directamente sobre la misma.

Otro método de ventilación consiste en la colocación de tubos perforados en el interior del relleno. Por medio de este método es posible el aprovechamiento del gas producido, dicho gas se someterá a un proceso de lavado para eliminar impurezas ya que este gas bruto contiene aproximadamente 55% de metano 41% de bióxido de carbono y 4% de agua. El gas es recolectado mediante una red de tuberías y extraído mediante bombas de vacío, para posteriormente ser purificado al 99% de gas metano, altamente combustible.

Fig. 13, 14

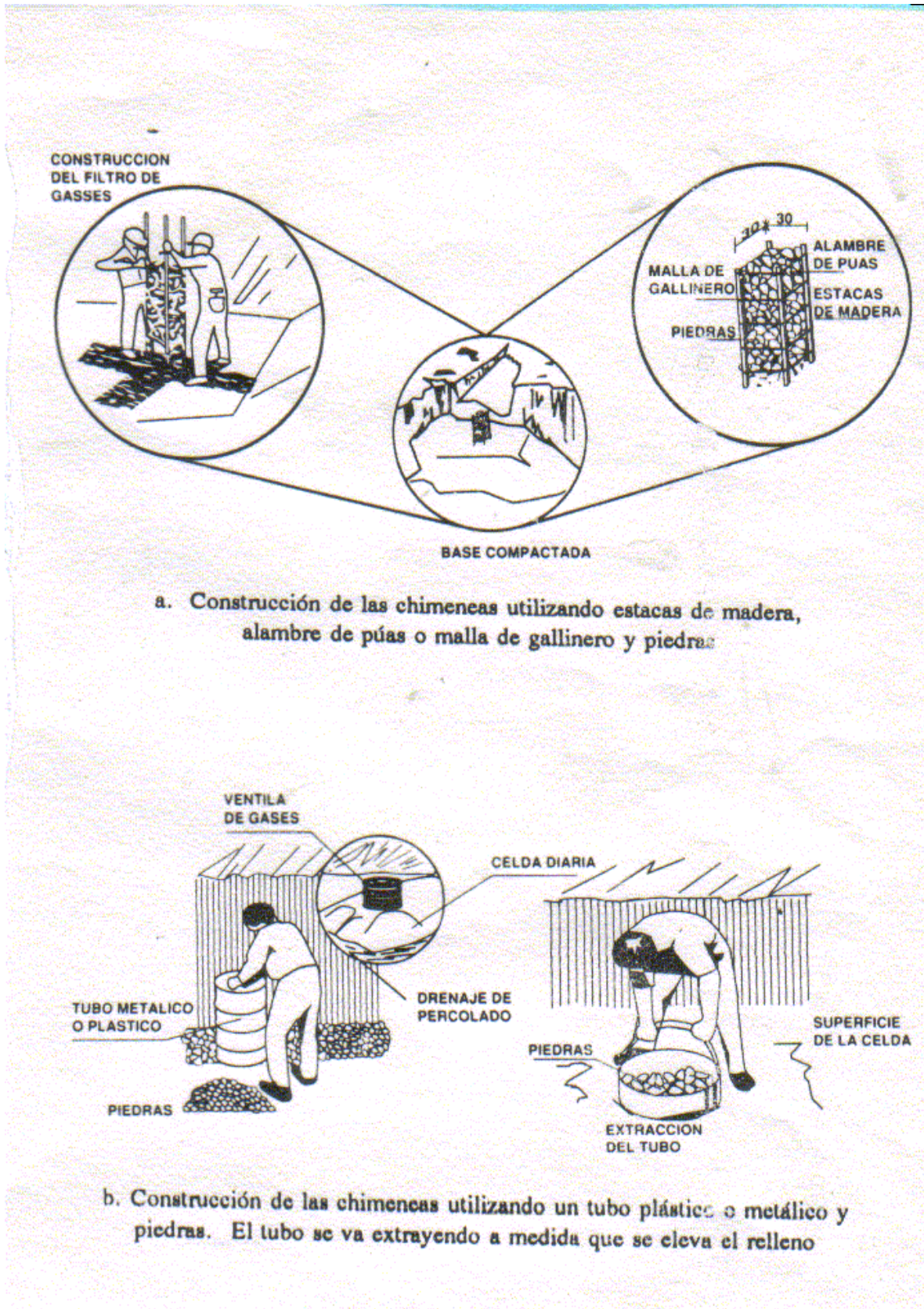
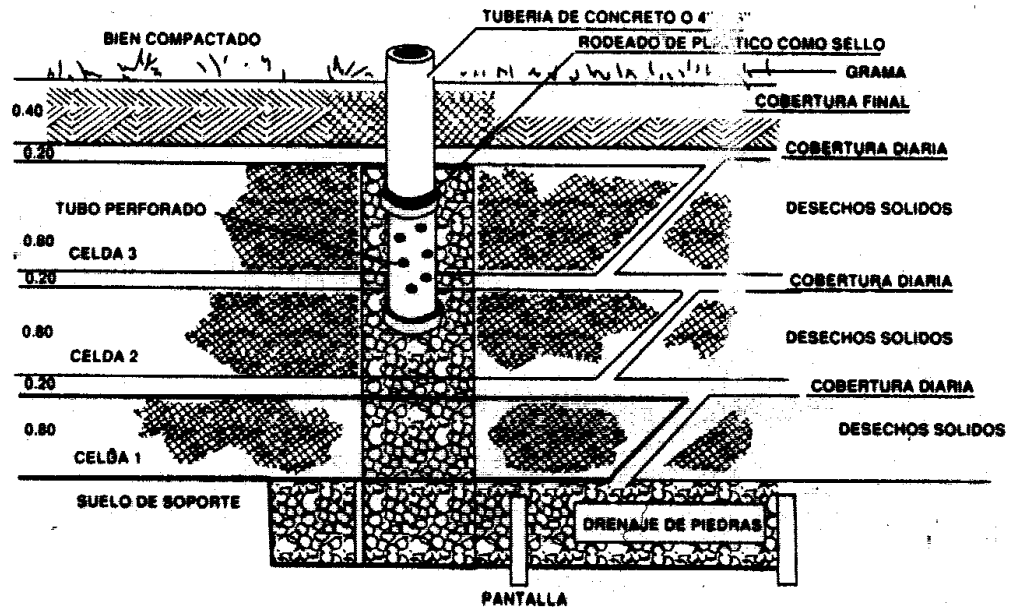
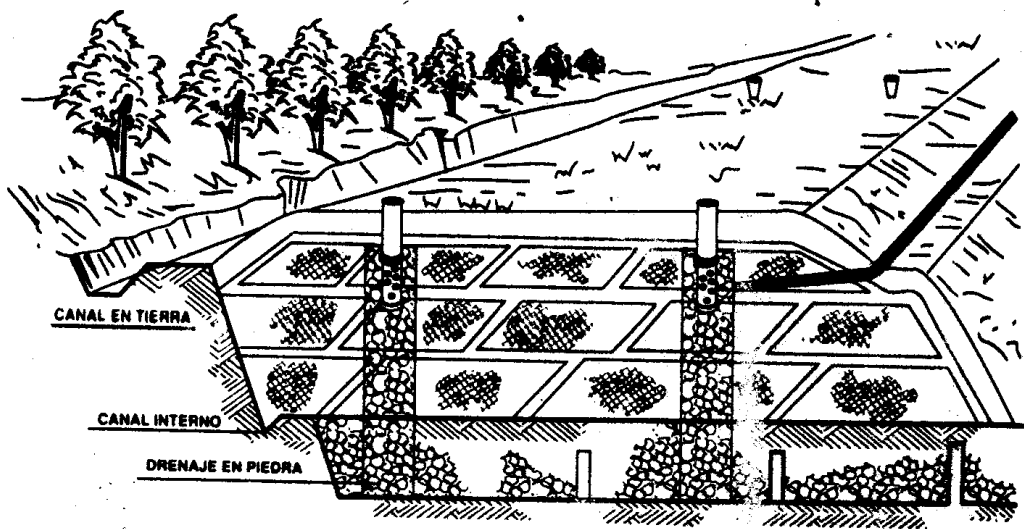


Fig. 15 y 16

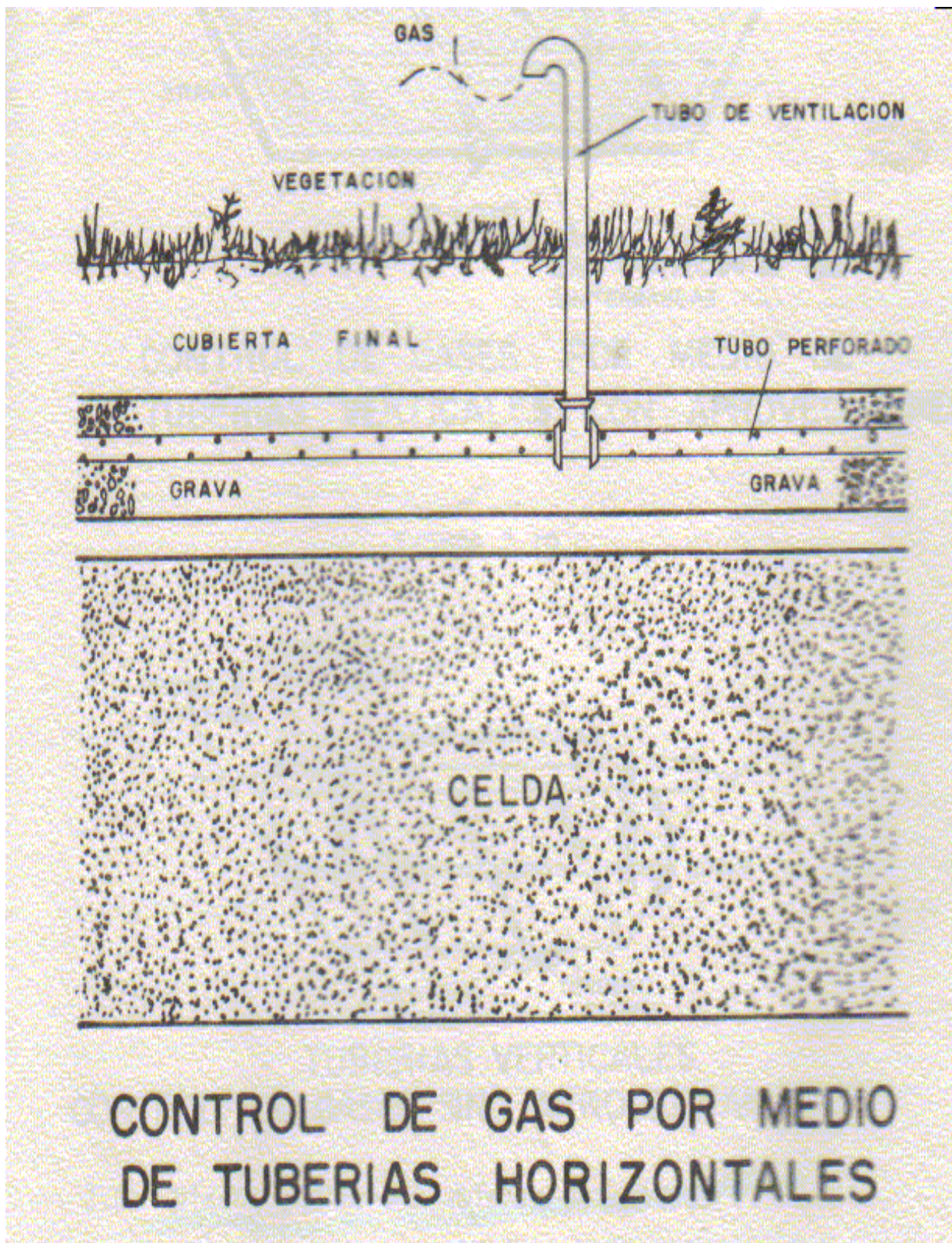


DETALLE CONSTRUCTIVO DEL FILTRO PARA DRENAJE DE GASES.



DISTRIBUCIÓN DE CHIMENEAS EN EL RELLENO.

Fig. 17



#### 2.4.4 OBRAS COMPLEMENTARIAS

El relleno sanitario deberá comprender, además del diseño de las celdas de confinamiento, las obras complementarias que correspondan de acuerdo a la densidad de población.

##### CASETA DE VIGILANCIA

Las dimensiones de la caseta de vigilancia serán como mínimo de 4 M2 y deberá instalarse a la entrada del relleno sanitario, pudiendo ser construida con materiales propios de cada región.

##### INSTALACION DE ENERGIA ELECTRICA

Las instalaciones de energía eléctrica deberán satisfacer las necesidades de iluminación y energía en señalamientos exteriores e interiores, requerimientos en oficinas, e instalación de alumbrado en los frentes de trabajo.

##### ALMACEN Y COBERTIZO

Se deberá construir un cobertizo para guardar equipo, herramienta y materiales que sean de uso para el relleno. El tamaño dependerá del tipo de equipo que se disponga (camionetas, trascabos) y deberá tener en el frente un patio de maniobras lo suficientemente grande, para poder recibir vehículos que vengan a descargar materiales al almacén.

##### AREA ADMINISTRATIVA

El área administrativa deberá contar con el espacio suficiente para la instalación de las oficinas respectivas, así como el mobiliario y equipo que se requiera.

##### SERVICIOS SANITARIOS

Los servicios sanitarios se instalarán conforme a los requisitos que establezcan las disposiciones legales aplicables.

### 3.0 Diseño y dimensionamiento de celdas.

#### 3.1.1. Vida útil del relleno.

Se entiende por vida útil de un relleno sanitario al lapso de tiempo desde que se inicia la disposición de los desechos hasta que es depositado el último camión de basura al sitio.

De la tabla 8 3.1.3-A , columna 12, podemos conocer el área requerida sólo si se conoce la profundidad promedio del relleno sanitario. Sin embargo, en la práctica nos encontramos con un terreno al que hay que calcularle su vida útil ( ver el ejemplo )

En lo que respecta al método de la zanja, una vez calculado el volumen de la misma, suponemos un factor para las áreas adicionales (separación entre zanjas, vías de circulación, aislamiento, etc.) y se estima el número de zanjas que se podría excavar en el terreno, por lo tanto:

$$N = A / F \times A_z$$

Donde:

$$N = \text{Número de zanjas}$$

$$A_t = \text{Área de terreno (m}^2\text{)}$$

$$F = \text{Factor de áreas adicionales de 1.2 a 1.4 (20 a 40\%)}$$

$$A_z = \text{Área de la zanja (m}^2\text{)}$$

Entonces la vida útil estará dada por:

$$V_u = \text{Vida útil del terreno (años)}$$

$$T_z = \text{Tiempo de servicio de la zanja (días)}$$

### 3.1.2 Uso final del sitio.

En todo proyecto de construcción de un relleno sanitario se debe tener en mente la probabilidad de su utilización futura, a fin de integrarlo perfectamente al ambiente natural. Una vez terminada su vida útil, el relleno sanitario manual puede ser transformado en un parque, área deportiva, jardín, vivero o un pequeño bosque.

3.1.3 Diseño de la celda. Como se sabe, la celda se encuentra conformada básicamente de desechos sólidos y el material de cobertura y será dimensionada con el objeto de economizar tierra sin perjuicio del recubrimiento y con el fin de que proporcione un frente de trabajo suficiente para la descarga y maniobra de los vehículos recolectores.

Las dimensiones y el volumen diaria dependen de factores como :

- La cantidad diaria de desechos sólidos a disponer
- El grado de compactación.
- La altura para el trabajo manual
- El frente de trabajo necesario que permita la descarga de los vehículos de recolección.

Se recomienda tener una altura de un metro un máximo de un metro y medio para la celda diaria, debido a la baja compactación alcanzada por la operación manual , brindando así una mayor estabilidad mecánica a la construcción del relleno sanitario, y un frente de trabajo lo más estrecho posible, los cuales , junto con el avance( largo ), se calcularán dependiendo del volumen diario de desechos, así:

Cantidad de desechos sólidos a disponer

La cantidad de basura para diseñar la celda diaria se puede obtener de dos maneras, así:

A partir de la cantidad de basura producida diariamente, es decir :

$$DS_{RS} = DS_p \times 7/d \text{ hab.} \dots\dots\dots(5-22)$$

Donde :

DS RS = Cantidad media diaria de DS en el relleno sanitario (kg/día)

DS p = Cantidad de DS Producido por día (kg/día)

D hab = Días hábiles o labores en una semana (normalmente dhab=5°6 días, y aún menos en los municipios más pequeños).

Volumen de la celda diaria.

$$V_c = DS_{RS}/D_{RSM} \times MC \dots\dots\dots(5-23)$$

Donde:

V C = Volumen de la celda diaria (m<sup>3</sup>)

DRSM = Densidad de los desechos sólidos recién compactados en el relleno sanitario manual

MC = Factor de material de cobertura (1.20—1.25)

Debe notarse que la densidad usada para la basura recién compactada es menor que la de la basura que se usa para el calculo del volumen.

Dimensión de la celda.

Area de la celda

$$A_c = V_c / h_c \dots\dots\dots(5-25)$$

Donde:

A c = Area de la celda (m<sup>2</sup>/día)

H c = Altura de la celda (m) limite 1.0—a 1.5 (m),para rellenos sanitarios con operación manual, con lo que se consigue una disminución del material de cobertura necesario.

Largo o avance de la celda (m)

$$L = A_c / a \dots\dots\dots(5-25)$$

a = Ancho que se fija de acuerdo con el frente de trabajo necesario para la descarga de la basura por los vehículos recolectores (m). Téngase en cuenta que en pequeñas comunidades serán uno o dos vehículos como máximo descargando a la vez, lo que determina el ancho entre 3 y 6 m.

Como los taludes (perímetro) también requieren cubrirse con tierra, la relación del ancho al largo de la celda que menos material de cobertura requerirá sería la de un cuadrado. Esta medida se obtendría entonces como la raíz cuadrada del área de la celda, así:

$$A = l = A_c \dots\dots\dots(5-24)$$

Cuando se puede cumplir con esto por ser el ancho resultante muy estrecho para la descarga de los vehículos, entonces se fija el ancho y se calcula el avance como se explicó, con la formula (5-25)

Para realizar el estudio para el calculo de diseñar las celdas, es importante tener estudios estadísticos como a continuación se indican.

Población.- Es necesario conocer el número de habitantes a servir para definir las cantidades de desechos sólidos que se han de disponer. Es de señalar aunque la producción de desechos sólidos se debe de discriminar entre la producción rural y la urbana. La primera, debido a la baja producción, presentará menos exigencias, pero su recolección resulta difícil. En cambio la producción urbana es más notoria por razones de concentración, aumento de población, y desarrollo tecnológico y urbanístico, mereciendo nuestra atención en este caso.

Proyección de la población .- Es además de suma importancia estimar la producción en el futuro para definir las cantidades de desechos sólidos que se deben disponer durante el periodo de diseño, lo cual conlleva y realizar una proyección de la población al igual que en cualquier obra de servicio publico. La tabla 8 facilitará la síntesis de la información básica..

El crecimiento de la población se podrá estimar por el método matemático o vaciando los datos censales en una gráfica y haciendo una proyección de la curva dibujada.

De los métodos matemáticos se presenta como guía el crecimiento geométrico, es decir, el de las poblaciones biológicas en expansión, el cual asume una tasa de crecimiento constante. La siguiente expresión nos muestra su cálculo:

$$Pf = Po(1+r)^N \quad (5-1)$$

Donde:

Pf = Población futura

Po = Población Actual.

R = Tasa de crecimiento

N = (tf-to) intervalo en años

Sin embargo, se recomienda comparar los resultados obtenidos con otros métodos de proyección.

Los desechos sólidos .- Entre los parámetros más importantes que debemos conocer para el manejo adecuado de los desechos sólidos que se producen en una población, se encuentra la composición y la cantidad.

La composición .- Los desechos sólidos en las áreas urbanas se pueden diferenciar de acuerdo con su procedencia en: Residencial, comercial, industrial, barrido de vías y áreas públicas, mercados e institucional. Tabla. 9

Tabla 10

[illegible]

Tabla 8

| VOLUMEN Y AREA REQUERIDA |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
|--------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|-------------|-----------------|--------------------------|-------------|---------------------------|----------------|-----------------|------------------|-------------|
| AÑO                      | POBLACION ( hab ) | PPC kg/hab/ dia | CANTIDAD DE DESECHOS SOLIDOS |             |                 | VOLUMEN DESECHOS SOLIDOS |             |                           |                |                 | AREA REQUERIDA   |             |
|                          |                   |                 | (kg) DIARIA                  | ANUAL (ton) | ACUMULADA (ton) | COMPACTADOS              |             | ESTABILIZADOS ANUAL (M 3) | RELLENOS       |                 | RELLENO RS (M 3) | TOTAL (M 2) |
|                          |                   |                 |                              |             |                 | DIARIA (M 2)             | ANUAL (M 2) |                           | (DS+MC9) ANUAL | ACUMULADO (M 3) |                  |             |
| 1                        | 2                 | 3               | 4                            | 5           | 6               | 7                        | 8           | 9                         | 10             | 11              | 12               |             |
| 1                        |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 2                        |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 3                        |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 4                        |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 5                        |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 6                        |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 7                        |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 8                        |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 9                        |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 10                       |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 11                       |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 12                       |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 13                       |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 14                       |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |
| 15                       |                   |                 |                              |             |                 |                          |             |                           |                |                 |                  |             |

(6) La produccion de DS de una semana ingresa al RS en los días "x" de recoleccion (7 días / x días habiles)

(9) V relleno sanitario = desechos sólidos + tierra (20 a 25 %) promedio general:

(11) A RS = VM/HM (RS = area a rellonar.

(12) At = F A rs F (factorpara el área adicional)

DENSIDAD DE BASURA

Suelta ---- 200-300 Kg/ m2

compacta-400-500 kg/m2

Estavilizada- 500-600 kg/m2

Area/hab: (m 2 / hab) actual

TABLA 9

| PROYECCION DE LA PRIDUCCION Y COMPOSICION DE LOS DERECHOS SOLIDOS |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------|-----------|------------|---------|---------|-------|-------|
| AÑOS                                                              | POBLACION<br>URBANA<br>HAB. | PPC<br>TOTAL<br>KG/HAB-<br>DIA | DOMICILIAR | COMERCIAL | INDUSTRIAL | BARRIDO | MERCADO | OTROS | TOTAL |
| 1                                                                 |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 2                                                                 |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 3                                                                 |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 4                                                                 |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 5                                                                 |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 6                                                                 |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 7                                                                 |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 8                                                                 |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 9                                                                 |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 10                                                                |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 11                                                                |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 12                                                                |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 13                                                                |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 14                                                                |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |
| 15                                                                |                             |                                |            |           |            |         |         |       |       |

Producción PER.

La producción per cápita de los desechos sólidos se puede estimar globalmente así:

ppc = Producción por habitante por día ( Kgs/hab/día )

DSr = cantidad de desechos sólidos recolectados en una semana ( Kgs/sem )

Pob.= Población área urbana ( hab. )

7 = días de la semana.

Cob = Cobertura del servicio de aseo (%)

Es de señalar que también es posible relacionar la cantidad de desechos sólidos producidos por vivienda o sea Kgs/vivienda-día, dado que la basura es entregada por vivienda. Además este método tiene la ventaja de la facilidad de contar las casas.

Con base en los muestreos de desechos sólidos realizados en algunas poblaciones pequeñas, rurales y áreas marginales en la Región Latinoamericana, sobre las características que se analizan en este trabajo, se ha encontrado que la ppc presenta rangos entre 0.2 – 0.5 Kgs/hab.-día. Estos valores son bastante representativos y se podría asumir para la casi totalidad de estas poblaciones.

Se recomienda tener presente lo anterior, puesto que una investigación de campo ( muestreo ) en la mayoría de los casos no se justifica. La diferencia obtenida con el empleo de la ecuación 5-2 no es muy significativa, ya que las cantidades de los desechos sólidos son pequeñas. En lugares turísticos deben considerarse los desechos dejados por la población flotante que los visita.

Producción total.

El conocimiento de la producción de desechos sólidos nos permite establecer, entre otros , cuales deben ser los equipos de recolección mas adecuados, la cantidad de personal, las rutas , la frecuencia de recolección, la necesidad de área para la disposición final, los costos y el establecimiento de la tarifa o tasas de aseo.

La producción de desechos sólidos está dada por la relación :

$DSp = Pob \times ppc$

Donde:

D<sub>Sp</sub> = Cantidad de desechos sólidos producidos ( Kg/día )

Pob. = Población área urbana.

Ppc. = Producción per cápita (Kg/hab-día)

Proyección de la producción total.

La producción anual de desechos sólidos se debe estimar con base en las proyecciones de la población y la producción per cápita.

Como vimos, la proyección de la población puede estimarse por métodos matemáticos pero, en cuanto al crecimiento de ppc, Conviene anotar que difícilmente se encuentra en cifras que den idea de cómo se puede variar anualmente, para tratar de evaluar cambios. No obstante, para obviar este punto, y conociendo que en el desarrollo y el crecimiento urbanístico y comercial de la población los índices de producción aumentan, se recomienda calcular con una tasa de incremento del 1 % anual, la producción per cápita total tabla 8.

Densidad.

Para calcular y dimensionar la celda diaria y el volumen del relleno, se pueden estimar las siguientes densidades así :

- Celda diaria: Densidad de la basura recién compactada. 400-500 Kg/día
- Volumen del relleno: Densidad de la basura estabilizada. 500-600 Kg/m<sup>3</sup>

Estas densidades se alcanzan mediante la compactación homogénea y a medida que se estabiliza el relleno, lo cual, es obvio, incide en la estabilidad y vida útil del sitio.

El aumento de la densidad de los desechos sólidos en el relleno sanitario manual se logra entre otras cosas por:

- El tránsito de vehículos recolectores por encima de las celdas ya conformadas.
- El apisonado manual, mediante el uso periódico del rodillo y pisones de mano.

- La separación y recuperación de materiales tales como: papel, cartón, plástico, vidrio, chatarra y otros, dado que difícilmente se compactan. La práctica del reciclaje trae, además del beneficio económico, una menor cantidad de desechos sólidos a enterrar aumentando por tanto la vida útil del relleno sanitario. Cuando la separación se hace en el origen, se puede conseguir además la generación de empleo organizado y digno, con seguridad social.
- Otros mecanismos que aumentan la densidad de los desechos sólidos son: el proceso de descomposición de la materia orgánica y el peso propio de las capas y celdas superiores que producen mayor carga y obviamente disminuyen su volumen.

Cálculo del volumen necesario. Tabla 10

Los requerimientos de espacio del relleno sanitario están en función de :

- La producción diaria de desechos sólidos si se espera tener una cobertura del 100% o, en su defecto de la cantidad de desechos sólidos, recolectados.
- La densidad de los desechos sólidos estabilizados al relleno sanitario manual.
- La cantidad de material de cobertura (20-25 %) del volumen autorizado de desechos sólidos.

Volumen de residuos sólidos.- Con los dos primeros parámetros se tiene el volumen diario y anual de desechos sólidos que se requieren disponer (Tabla 8 columna 6,7,8 ) es decir:

$$V_{\text{diario}} = DSp / Drsm$$

$$V_{\text{anual}} = V_{\text{diario}} \times 365$$

Donde:

$$V_{\text{diario}} = \text{Volumen de desechos sólidos. ( m}^3\text{/día )}$$

$$V_{\text{anual}} = \text{Volumen de desechos sólidos en un año ( m}^3\text{/día )}$$

$$DSp = \text{Cantidad de desechos sólidos producidos ( Kg/día )}$$

$$365 = \text{Equivalente a un año ( días )}$$

$$D_{rsm} = \text{Densidad de los desechos sólidos recién compactados, ( 400-500 kg/m}^3 \text{ ) y estabilizados ( 500-600 Kg/m}^3 \text{ )}$$

Volumen del relleno sanitario.- De esta manera, se puede calcular el volumen del relleno sanitario para el primer año, afectando el valor anterior por el material de cobertura. Así :

$$V_{Rs} = V_{anual} \times MC$$

Donde :

$V_{RS}$  = Volumen del relleno sanitario ( m<sup>3</sup>/año )

MC = Factor de material de cobertura ( 1.2 a 1.25 )

Los datos obtenidos se vacían en la tabla 8, columna 9, y para conocer el volumen total ocupado durante la vida útil se tiene :

$$V_{Rsvu} = \sum_{i=1}^n V_{RS}$$

Donde:

$V_{RSvu}$  = Volumen relleno sanitario durante la vida útil ( m<sup>3</sup> )

n = Número de años.

Que son los datos que aparecen en la tabla 8, columna 10, es decir, los valores acumulados anualmente.

Cálculo del área requerida.

Con el volumen calculado, se puede estimar el área requerida para la construcción del relleno sanitario, solamente si se puede estimar en forma aproximada la profundidad o altura del relleno. Esta sólo se conocerá si se tiene una idea de la topografía de los alrededores.

El relleno sanitario manual debe proyectarse para un mínimo de 5 años, ante la dificultad de encontrar terrenos disponibles. Este tiempo se llama vida útil o periodo de diseño.

El área requerida para la construcción de un relleno sanitario manual depende principalmente de factores como:

- Cantidad de desechos sólidos a disponer.
- Cantidad de material de cobertura.
- Densidad de compactación de los desechos sólidos.
- Profundidad o altura del relleno sanitario
- Capacidad volumétrica del terreno.
- Áreas adicionales para obras complementarias.

A partir de la ecuación 5-6 podremos estimar las necesidades de área, ( Tabla 8 columna 11 )

$$A_{RS} = V_{RS} / H_{RS} \dots\dots\dots (5-8)$$

Donde :

$V_{RS}$  = Volumen necesario del relleno sanitario ( m<sup>3</sup>/año )

$A_{RS}$  = Área a rellenar sucesivamente ( m<sup>2</sup> )

$H_{RS}$  = Altura o profundidad media del relleno sanitario ( m )

Y el área total requerida ( Tabla 8, columna 12 ) será:

$$A_T = F A_{RS} \dots\dots\dots (5-9)$$

Donde

$A_T$  = Área total requerida ( m<sup>2</sup> )

$F$  = Factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de aislamiento, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras ,etc. Este se considerará entre 20-40% del área a rellenar.

En la tabla 10 se incorporan los parámetros mencionados para el cálculo del volumen del relleno sanitario. El área se estimará para cada sitio alternativo cuando se conozca la profundidad promedio del relleno.

Selección del método:

Como ya se mencionó, el diseño del relleno sanitario depende del método adoptado( Trinchera, área o su combinación ), de acuerdo con las topográficas del sitio, las características del suelo y la profundidad del nivel freático.

El diseño debe presentar entonces los planos que amparen la construcción del relleno sanitario, así:

- Conformación del terreno original.

La conformación del terreno original es obtenida a partir del levantamiento topográfico del sitio donde se construirá el relleno sanitario, y se requiere para elaborar los cálculos y el diseño de la obra. Fig. 13

- Configuración inicial del desplante o suelo de soporte.

Generalmente el sitio seleccionado debe de ser preparado, tanto para construir las obras de infraestructura necesarias como para brindar una adecuada base de soporte al relleno sanitario y obtener el material de cobertura del propio terreno.

Estos cambios se presentan en un plano topográfico para orientar al ingeniero construir en el movimiento de tierras. Fig.14

- Configuración final del relleno.

La configuración final del relleno es la conformación del terreno una vez se termine la vida útil. Es importante representarla en un plano topográfico para presentar los niveles máximos que alcanzará la obra de acuerdo con el proyectista. Fig. 15

- Configuraciones parciales del relleno.

Las configuración (es) parcial (es) del relleno representa (n) el avance de la construcción del relleno, y sirve (n) de guía al constructor para los controles correspondientes.

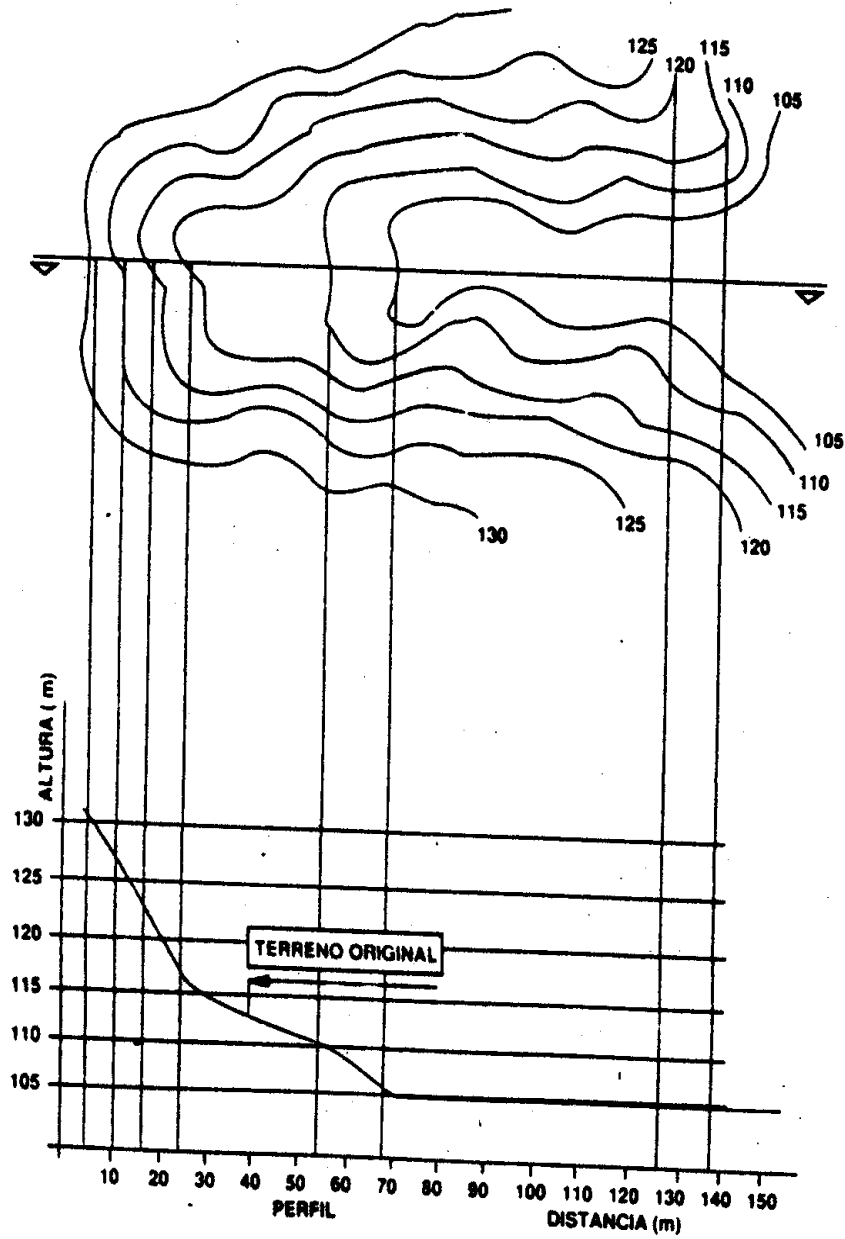


FIG:13  
CONFORMACIÓN DEL TERRENO ORIGINAL.

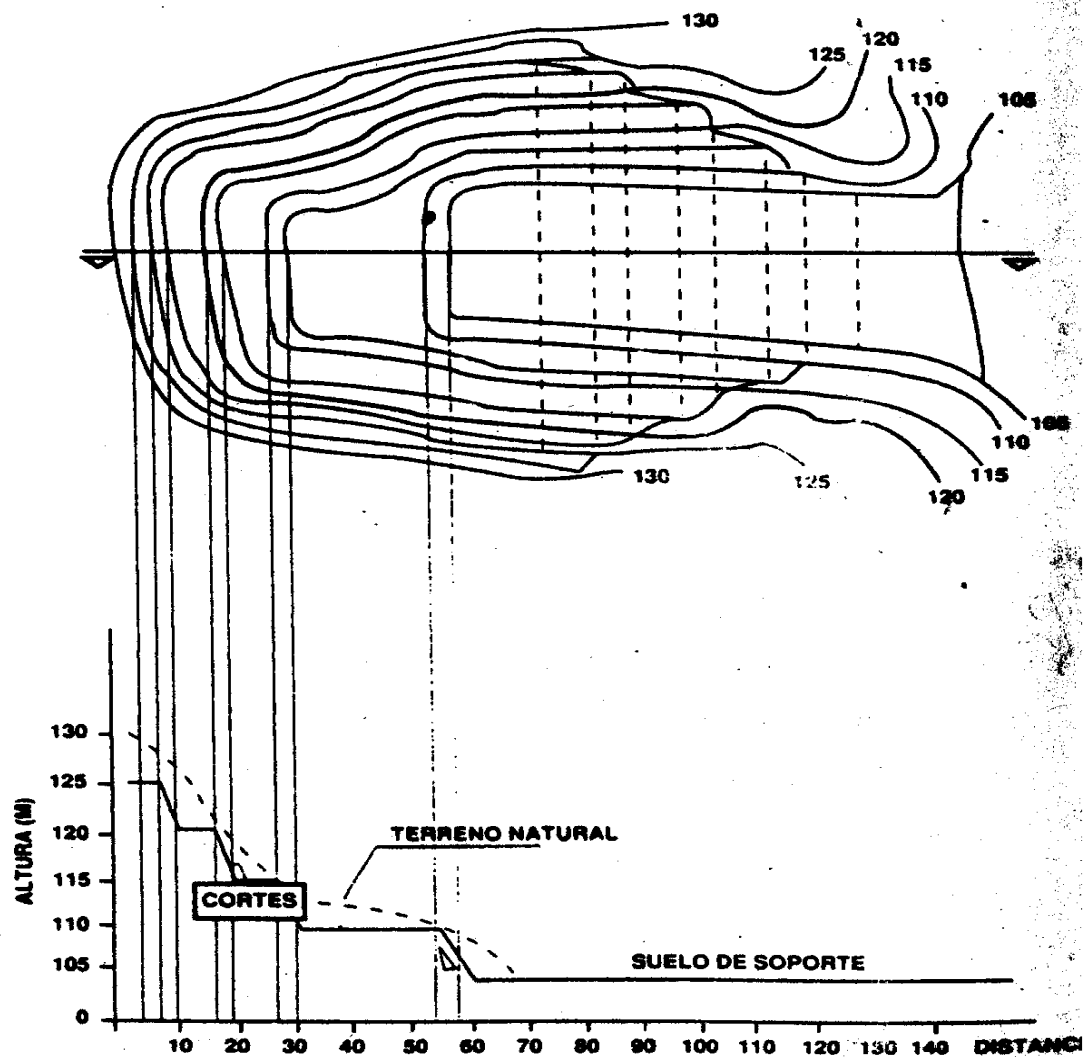


FIG.14  
CONFIGURACIÓN INICIAL DEL DESPLANTE O SUELO DE SOPORTE.

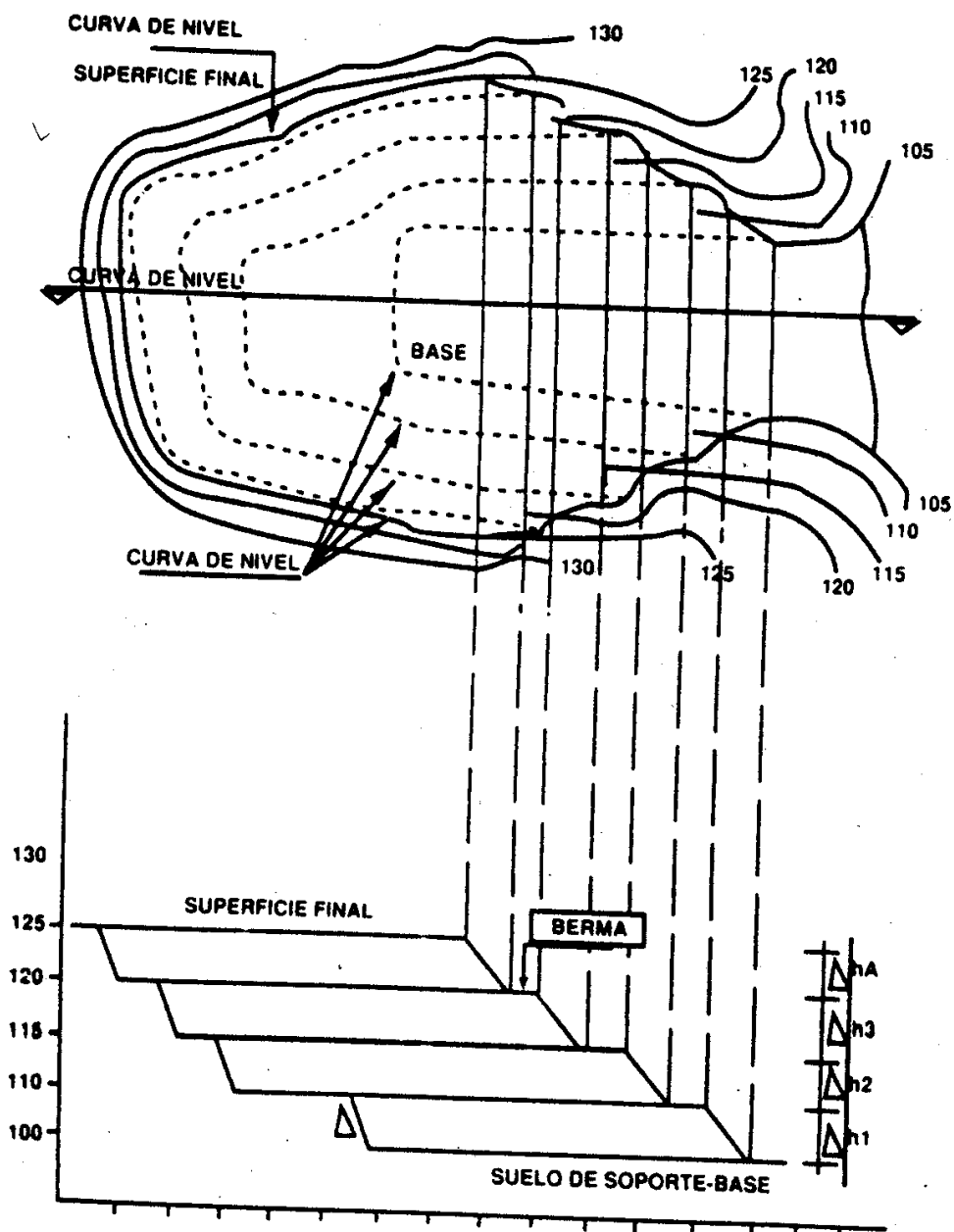
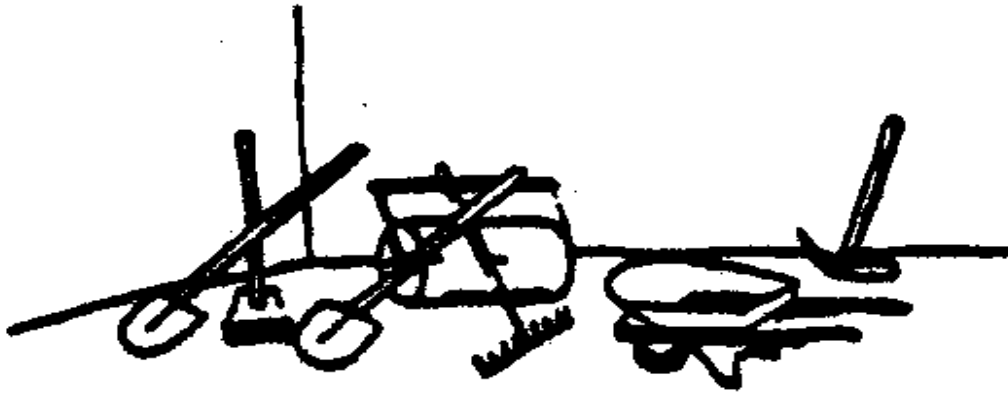


FIG.15  
CONFIGURACIÓN FINAL DEL RELLENO SANITARIO

La operación y mantenimiento se ejemplifica con los siguientes dibujos.



## **1. Adquisición de herramientas**



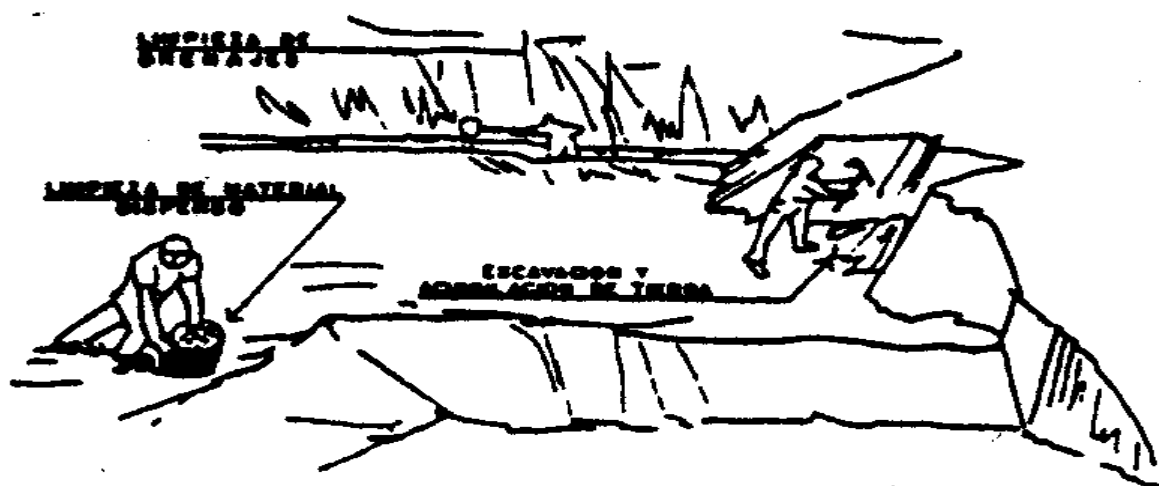
## **2. Adquisición de elementos de protección de los trabajadores**



### 3. Inicio de la operación del relleno



### 4. Clausura del botadero



## 5. Mantenimiento permanente



## 6. Preparación del presupuesto anual

#### 4.- BASES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN.

##### 4.1.1 Secuencia operativa.

Debe planearse de manera que pueda orientar y controlar su avance, de acuerdo con el diseño y el uso futuro proyectado. Por lo tanto se recomienda construir el relleno sanitario en terrazas de tres metros de altura, las cuales a su vez estarán conformadas por tres celdas de un metro. En cada terraza es conveniente dejar una berma de unos tres a seis metros de ancho para darle mayor estabilidad a la obra.

Del mismo modo, al combinar los métodos de trinchera y de área, se aprovechará mejor el terreno. Cada fase constructiva corresponderá a un método de operación.

##### Construcción

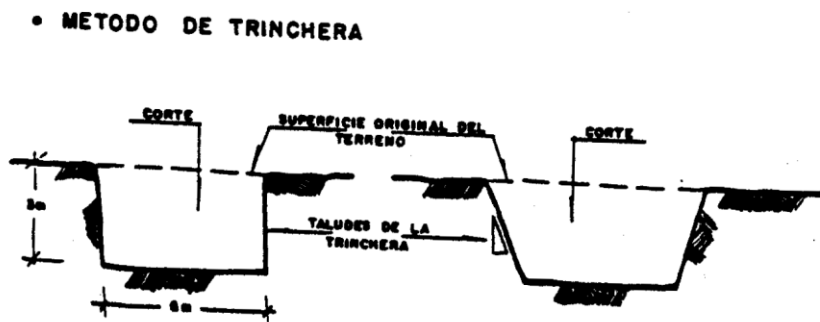
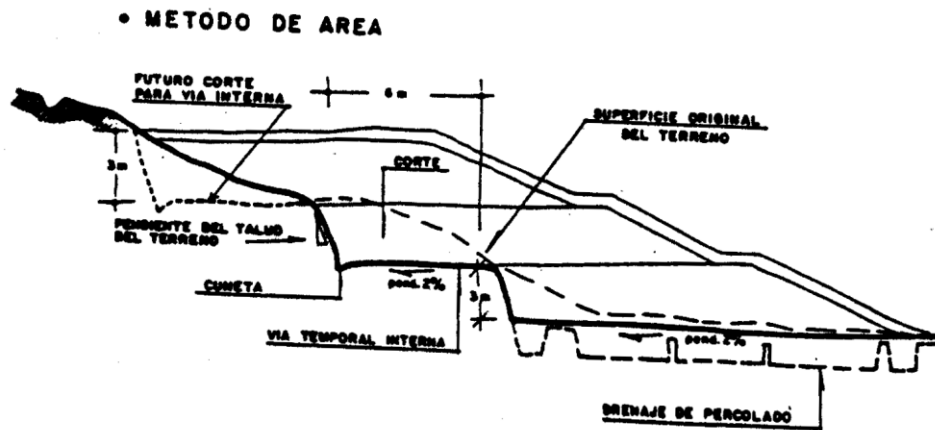
Luego de realizado el diseño del relleno sanitario, se ejecuta el proyecto.

Obviamente, el mejor diseño no significará nada si no existe voluntad política administrativa para que sea ejecutado debidamente. La construcción de un relleno sanitario es de importancia fundamental en comparación con la de otras obras, debido a la duración de su ejecución y a la permanente mantenimiento que requiere.

Para planificar el avance de la obra, es conveniente disponer de los planos topográficos del proyecto, con sus perfiles longitudinales y transversales en los que se indique la configuración parcial del área a rellenar en cada etapa. Sobre estos planos se programa la marcha de la obra, el frente de trabajo y su avance, calculando los volúmenes ocupados y las alturas, de acuerdo con las curvas de nivel alcanzadas.

##### Método constructivo.

El método constructivo de trinchera o de área depende de las condiciones topográficas, de las características del suelo y del nivel freático. Estos factores determinarán la posibilidad o no de extraer la tierra de cobertura de la propia área del relleno, siendo ésta alternativa la más económica. Véase fig. 16



**FIGURA 4.7**  
Cortes de los taludes y del suelo de soporte

Fig. 21

Selección del método:

Como ya se mencionó, el diseño del relleno sanitario depende del método adoptado ( Trinchera, área o su combinación ), de acuerdo con la topográfica del sitio, las características del suelo y la profundidad del nivel freático. El diseño debe presentar entonces los planos que amparen la construcción del relleno sanitario, así: Véase fig. 16

Método de zanja o trinchera.

Dado que con frecuencia las pequeñas poblaciones, no cuentan con tractor de oruga o una retroexcavadora, se recomienda su arrendamiento o préstamo para la excavación periódica de las zanjas que deberán tener una vida útil de 30 y 90 días, para evitar así el empleo constante. La excavación de las zanjas entonces se deberán planificar para todo el año, dependiendo de la disponibilidad del equipo.

Antes de que se complete el periodo de vida útil de la zona, se debe disponer del equipo para proceder a la excavación de una nueva zona, para poder continuar con una disposición sanitaria final de los desechos sólidos y proteger el ambiente. De lo contrario, el servicio sería interrumpido y se podría convertir el lugar en un botadero a cielo abierto.

Apartir de la vida útil de la zanja, se calcula el volumen de excavación y el tiempo requerido de la maquinaria.

Volumen de la zanja.

$$V_z = t \times D_{Sr} \times MC / D_{rsm}$$

$V_z$  = volumen de la zanja (m<sup>3</sup>)

$T$  = tiempo de la vida útil ( días )

$D_{Sr}$  = Cantidad de desechos sólidos recolectados (Kgs./ día)

$MC$  = factor del material de cobertura de 1.2 a 1.25 ( o sea 20 a 25 %)

$D_{rsm}$  = Densidad de los desechos sólidos en el relleno sanitario (kgs/m<sup>3</sup>)

Dimensión de la zanja.

Para efectos de la operación manual, las dimensiones de la zanja estarán limitadas por:  
La profundidad de la zanja, de dos a tres metros, de acuerdo con el nivel freático, tipo de suelo, tipo de equipo y costos de excavación

El ancho de la zanja entre 3 y 6 metros ( ancho del equipo ) es conveniente para evitar el acarreo a larga distancia de la basura y material de cobertura lo cual implica mejores rendimientos de trabajo, de tal manera que puede ser planeada la operación dejando un lado para acumular tierra y el otro para la descarga de los desechos sólidos . Dependiendo del grado de compactación y el clima, puede usarse la superficie de la zanja terminada para la descarga de los desechos.

El largo esta condicionado al tiempo de duración o vida útil de la zanja, entonces se tiene que :

$$L = Vz / a \times hz$$

Donde:

- L = largo o longitud (m)
- Vz = Volumen de la zanja (m<sup>3</sup>)
- a = ancho (m)
- H<sub>z</sub> = profundidad (m)

Tiempo de la maquinaria.

El tiempo del recorrido para la excavación de la zanja y el movimiento de tierras en general dependerá mucho del tipo de material del suelo, del tipo y potencia de la máquina, de su sistema de tracción ( ya sea de ruedas o de orugas ) y de la pericia del conductor.

$$T_{exc.} = Vz / R \times J$$

Donde:

- T<sub>exc.</sub> = Tiempo de la maquinaria para la excavación de la zanja (día)
- Vz = Volumen de la zanja (m<sup>3</sup>)
- R = Rendimiento de la excavación del equipo pesado (m<sup>3</sup> / hora)
- J = Jornada de trabajo diario (hora / día)

### **Método de Área.**

Este método se emplea para construir el relleno sanitario sobre superficie del terreno o para llenar depresiones. A continuación se presenta una metodología para evaluar la capacidad volumétrica del sitio.

Capacidad volumétrica del sitio.

La capacidad volumétrica del sitio es el volumen total disponible del terreno para recibir y almacenar la basura y el material de cobertura que conforman el relleno sanitario. Es decir, es el volumen comprendido entre la superficie de desplante y la superficie final del relleno, para lo cual es indispensable determinar la capacidad volumétrica del terreno.

En general, para el cálculo del volumen existen dos métodos:

**A.- Volumen de gran longitud y poca anchura.**

**B.- Volúmenes de gran extensión (extensos en ambas direcciones)**

**A.- Volúmenes de gran longitud (alrededor de un eje)**

El trabajo de campo en esta categoría de determinación de volúmenes comprende generalmente la obtención de secciones transversales a intervalos regulares a lo largo de un eje del proyecto (poligonal): Las áreas de estas secciones se calculan y luego, usando la regla de Simpson volúmenes o la del prismoide, puede calcularse el volumen de material a retirar o colocar.

De tal manera que son los siguientes métodos:

- 1.- Método por la regla de Simpson.
- 2.- Método del prismoide.
- 3.- Método de volúmenes a partir de las áreas extremas

**B.- Volúmenes de gran extensión.**

**Método 1.- Retícula**

Cuando se trata de hallar el volumen de un terreno de gran extensión y poca profundidad el trabajo de campo consiste en cubrir el área de la superficie de desplante con una retícula de cuadros y obtener los niveles de sus vértices. El volumen total se puede calcular como la suma de volúmenes de todos los prismoides que tienen como área transversal un cuadro de la retícula y como altura la distancia de la superficie final del relleno y los vértices del cuadrado. Es decir, que si las elevaciones de los vértices de un cuadro son  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$ , y  $e_4$ , la elevación de superficie final en ese punto es  $e_f$ , y el área de cada cuadro de la retícula es  $A$ , entonces el volumen sería:

$$V_i = A (e_f - (e_1 + e_2 + e_3 + e_4) / 4)$$

El grado de precisión que se obtenga sean los cuadrados de la retícula

**Método 2.- Apartir de las curvas de nivel.**

Consiste en determinar la capacidad existente en el terreno entre los planos horizontales, para lo cual es necesario calcular las áreas de las intersecciones de esos planos con el terreno y multiplicarlas, luego de promediarlas, por la diferencia de altura que las separa. Se parte de la ecuación:

$$V = (A_1 + A_2) / 2 \cdot h$$

Donde:

V = Volumen entre dos curvas de nivel (m<sup>3</sup>)  
A1 y A2 = Áreas de los planos horizontales (m<sup>2</sup>)  
#h = Diferencias de alturas entre los planos (m)

por tanto, la capacidad volumétrica del sitio está dada generalmente por la siguiente ecuación

$$V = (A_1 + A_2) / 2 \cdot h_1 + (A_2 + A_3) / 2 \cdot h_2 + \dots$$

Cuando las áreas tomadas son equidistantes entre sí :

$$V = \#h / 2 (A_1 + 2 \sum A_i + A_n)$$

Mientras más pequeño es el incremento #h mayor será la precisión del método, y su uso se facilita mucho cuando se tiene el levantamiento topográfico con curvas de nivel cada metro. Se usa un planímetro para el cálculo de las áreas. En grandes rellenos sanitarios, este método es el más común.

Cuando las curvas de nivel están muy separadas, para obtener cierta precisión al calcular el volumen, se puede emplear la fórmula del prismoides. Al aplicar esta fórmula se debe considerar que los planos de las curvas de nivel dividen a la depresión en una serie de prismoides. el volumen de cada prismoides puede hallarse por aplicaciones sucesivas de la regla del prismoides o en casos favorables, por la aplicación directa de la regla de Simpson.

Al utilizar la regla del prismoides se toman las áreas de tres curvas cada vez y la de la Central se usa como sección media. La precisión del resultado depende principalmente de la diferencia de niveles entre las curvas. En general, a menor intervalo mayor exactitud en el volumen.

## OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO MANUAL

### Clausura del botadero municipal.

Para la exitosa operación del sistema proyectado, se debe programar y clausurar el botadero tradicional del municipio, así como los demás botaderos existentes en la zona.

Para la operación de clausura del botadero, en lo posible se deben realizar las siguientes acciones :

- Hacer pública la clausura del botadero, anunciando que ya no se permitirá la disposición de basura en el lugar.
- a la comunidad sobre la existencia del relleno sanitario para que se dirijan al mismo y su ubicación para obtener su cooperación.

- En especial a los comerciantes, que esporádicamente generan gran cantidad de basura y contratan a un particular para su disposición, informarles de la existencia del relleno sanitario, e indicarles que la depositen allí.
- Colocar avisos informando a la ciudadanía las sanciones que se aplicarán a quienes inflijan las normas dictadas al respecto.
- Construir un cerco para impedir el ingreso de personas extrañas y de animales.
- Realizar un programa de exterminio de roedores y artrópodos. En esta actividad es importante la asesoría de la División de Saneamiento Ambiental de los servicios de Salud. Si esta etapa no se realiza es posible que esos bichos al no disponer de guarida y alimento ( por enterramiento de la basura ) emigren a las viviendas vecinas, con los consiguientes riesgos y problemas
- Inmediatamente después del exterminio, se procede a cubrir con tierra bien compactada todos los botaderos con una capa de 0.20 a 0.40 m de espesor, y se prevén los drenajes necesarios para evitar la erosión.
- Sembrar vegetación sobre la tierra de cobertura en toda el área.

#### Control de operaciones.

Las labores en el relleno sanitario deben ser organizadas y supervisadas estrictamente para alcanzar los objetivos propuestos. Esto se logra con:

- El control de ingresos de residuos sólidos (portería)
- Control del flujo de vehículos (portería)
- La orientación del tráfico y descarga ( plaza de operaciones )
- El descargue en el frente de trabajo (supervisor )
- El control del tamaño y conformación de las celdas, con su respectivo material de cobertura ( supervisor ).
- La distribución adecuada del programa de trabajo ( supervisor ).
- El buen mantenimiento de las herramientas y dotación de implementos de protección de los trabajos ( supervisor ).
- La vigilancia para impedir el ingreso de animales y personas extrañas y la excavación de materiales de los residuos sólidos en las celdas ya conformadas.

Operación en época de lluvias.

En los periodos de lluvias se presentan los mayores problemas de operación en un relleno sanitario, a saber:

- Dificil ingreso de los vehículos recolectores por encima de las celdas ya conformadas y posibles atascamientos debidos a la baja densidad alcanzada con la compactación manual.
- Dificultad para extraer y transportar el material de cobertura y arduo trabajo de conformación de las celdas. Estos factores conducen a un menor rendimiento por parte de los operarios.
- En ocasiones debido a las fuertes lluvias , sólo es posible descargar basura y el material de cobertura sobre la terraza quedando retrasada la conformación y compactación de las celdas. Por consiguiente, si no se toman las medidas apropiadas a tiempo, se va deteriorando la apariencia del relleno por la basura dispersa y la presencia de gallinazos.
- Mayor producción de lixiviados debido a la lluvia que cae directamente sobre las áreas rellenadas.

Por lo anterior, es necesario tomar las siguientes previsiones:

- Reservar algunas áreas en los lugares menos afectados por las lluvias, con accesos conservados para operar en las peores condiciones.
- Construir una vía artificial, empleando para ello troncos de madera de 3 m de largo, conformando un “ empalado o entarimado ”. estos troncos deberán ir unidos por medio de alambón de 1/8 “ de diámetro.
- Una vez armado el módulo, se cubre con cascajo para evitar que los vehículos patinen sobre ellos.
- Este camino artificial se construye de acuerdo con las necesidades y avance del relleno en módulos de 3 m de longitud por 3 m de ancho, dado que éste es el tamaño comercial de estos troncos. Los módulos pueden ser reusados en el futuro.
- Se recomienda que los módulos sean armados en el sitio; el terreno debe estar bien compactado, para disminuir asentamiento, procurando además darle un buen drenaje provisional en la tierra.
- Aprovechar los escombros, producto de las demoliciones de viejas instalaciones para conformar y mantener algunas vías internas.

Se presenta **cronograma de actividades** que nos muestra las diferentes actividades que se contemplan a lo largo del relleno sanitario manual. Tabla 11

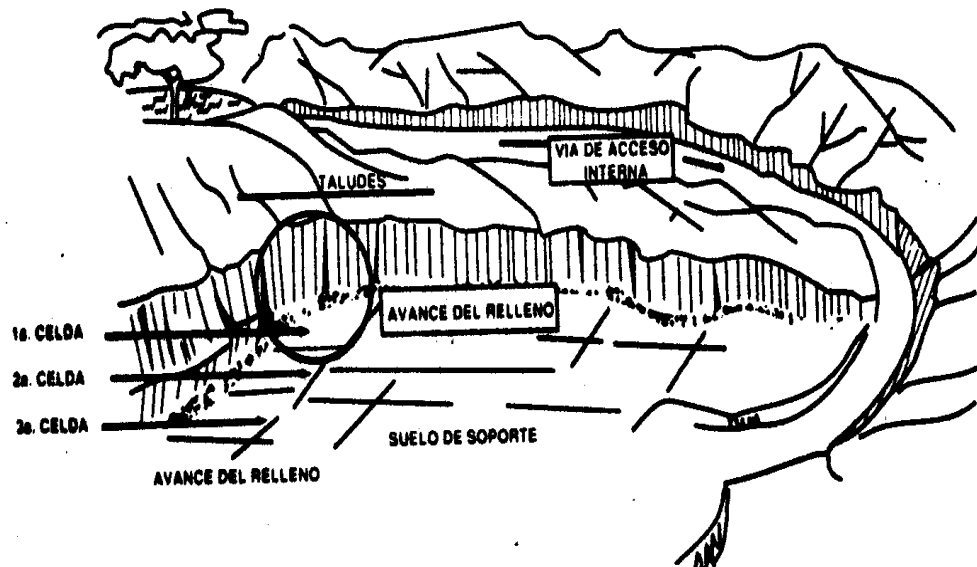
Es de considerarse que varias de éstas son dentro de la operación del relleno.

Tabla 11

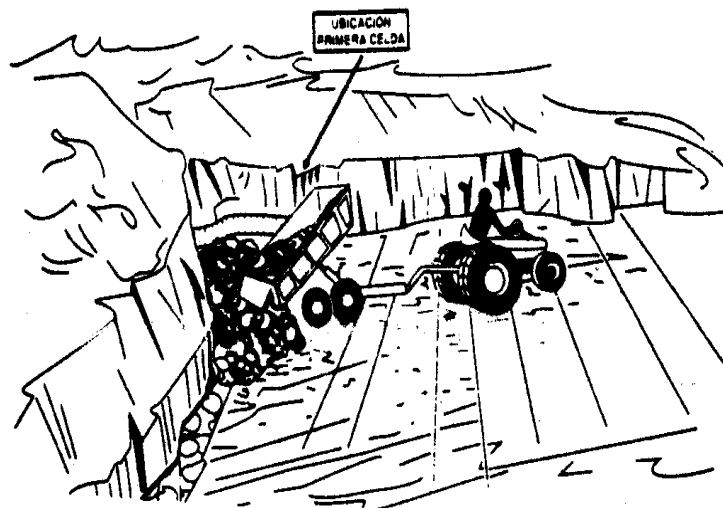
| <b>ACTIVIDADES</b>                                  | <b>1<br/>MES</b> | <b>2<br/>MES</b> | <b>3<br/>MES</b> | <b>4<br/>MES</b> | <b>5<br/>MES</b> | <b>6<br/>MES</b> | <b>7<br/>MES</b> | <b>8<br/>MES</b> | <b>9<br/>MES</b> | <b>10<br/>MES</b> |
|-----------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| • <b>IDENTIFICACION DEL SITIO Y SUS ALREDEDORES</b> |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • SELECCIÓN DEL SITIO                               |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICO                        |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • ESTUDIOS Y DISEÑO                                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • <b>INFRAESTRUCTURA PERIFERICA</b>                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • VIAS DE ACCESO                                    |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • DRENAJE PLUVIAL                                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • DESVIO Y AISLAMIENTO EVENTUALES DE AGUA           |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • INFRAESTRUTURA DEL RELLENO                        |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • LIMPIEZA Y DESMONTE                               |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • CORTES                                            |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • PREPARACION DEL SUELO DE SOPORTE                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • DRENAJE DE LIQUIDOS PERCOLADOS                    |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • DRENAJE DE GASES                                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • ACCESO INTERNO                                    |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • DRENAJE PLUVIAL INTERNO                           |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • <b>CONSTRUCCIONES AUXILIARES</b>                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • CERCA PERIMETRAL                                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • ARBOLIZACION PERIMETRAL                           |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • CASETA O PORTERIA                                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • VALLA PUBLICITARIA O CARTEL                       |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • CASETA O PORTERIA                                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • INSTALACIONES SANITARIAS                          |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • POZOS DE MONITOREO                                |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • <b>CLAUSURA DE BOTADERO, (S)</b>                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • EXTERMINIO DE ROEDORES Y ARTROPODOS               |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • CUBRIMIENTO CON TIERRA Y APISONADO                |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • CERCADO                                           |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • AVISOS                                            |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |
| • <b>INICIO DE OPERACIÓN DEL RELLENO</b>            |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |

En las imágenes siguientes se realiza esquemáticamente para su comprensión.

► **Método de área**



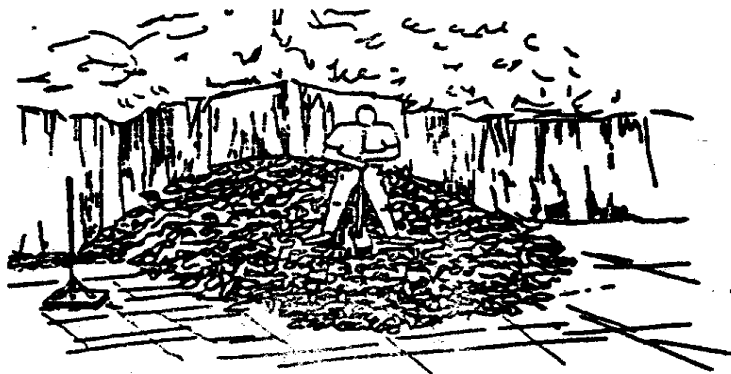
**FIGURA 6.6**  
*Terreno preparado para la construcción del relleno*



**FIGURA 6.7**  
*Descarga de los desechos sólidos*



**FIGURA 6.8**  
***Esparcimiento de los desechos en el área limitada para la celda***



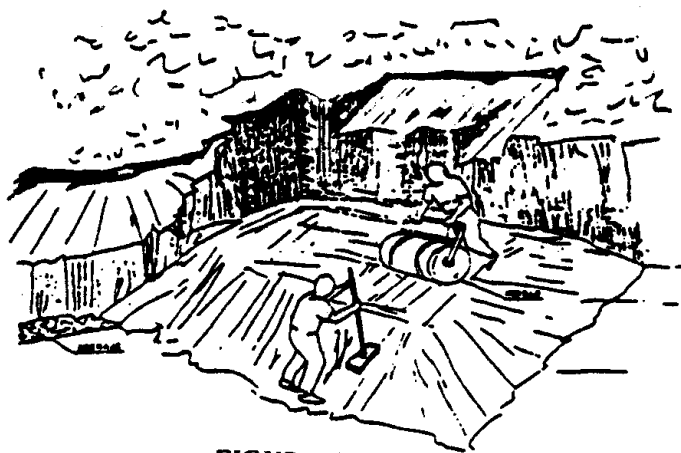
**FIGURA 6.9**  
***Compactación de los desechos con el pisón de mano***



**FIGURA 6.10**  
***Extracción de la tierra para cubrir la basura***



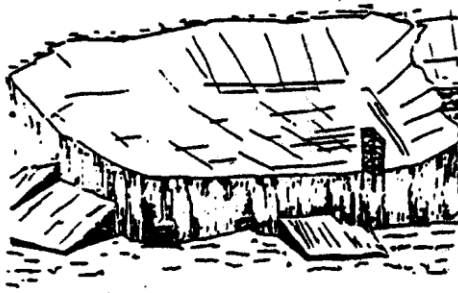
**FIGURA 6.11**  
*Cubrimiento de los desechos sólidos*



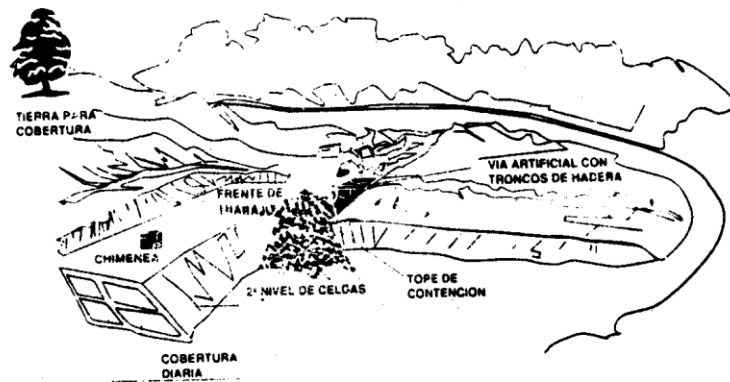
**FIGURA 6.12**  
*Compactación de la celda terminada (Primera Celda)*



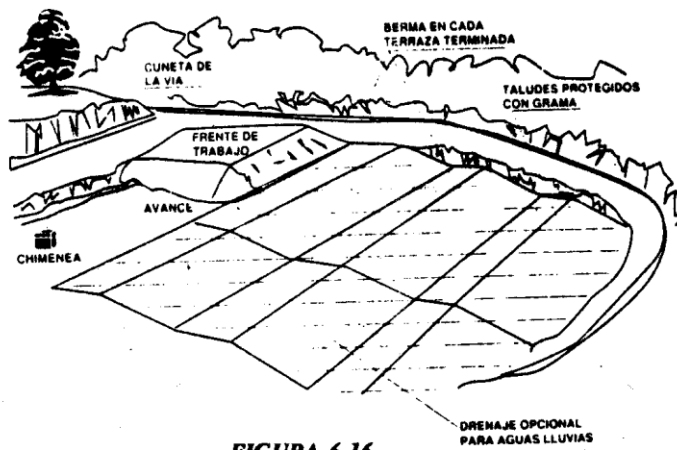
**FIGURA 6.13**  
*Construcción del drenaje de gases*



**FIGURA 6.14**  
*Construcción de la segunda celda apoyada en la primera*

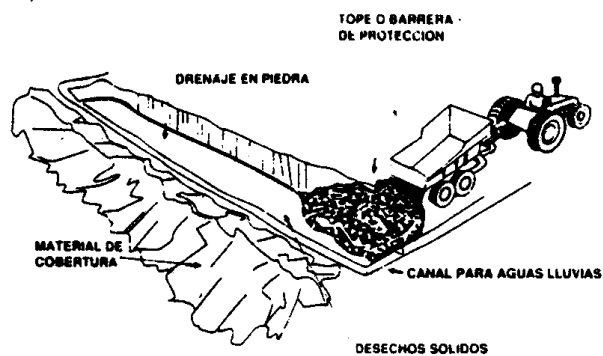


**FIGURA 6.15**  
*Construcción de la primera terraza del terreno*

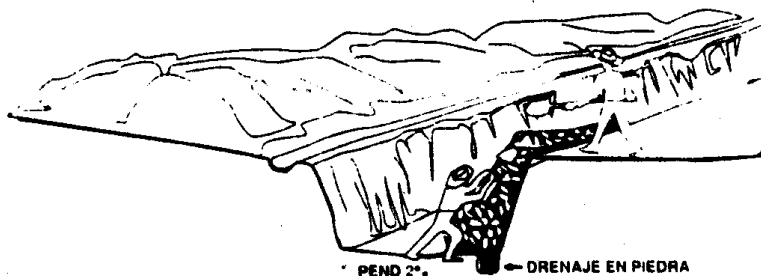


**FIGURA 6.16**  
*Construcción de la última terraza del terreno*

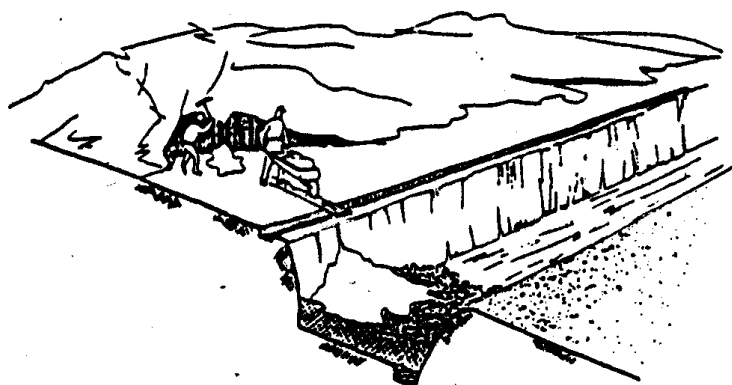
► **Método de zanja o trinchera**



**FIGURA 6.17**  
*Descarga de los desechos sólidos*



**FIGURA 6.18**  
*Descenso y nivelación de los desechos*



**FIGURA 6.19**  
*Conformación de la celda diaria*

#### 4.1.2 Depósito, extendido, recubrimiento y compactación.

##### DEPOSITO:

Las basuras deben ser descargadas en el frente de trabajo, los trabajadores las esparcen sobre el talud de las celdas ya terminadas en capas sucesivas de 0.20 a 0.30 m de espesor empleando para ello horquillas ( garfio de tres dientes ) o rastrillo ( 8 dientes o 10 dientes ); se nivela la superficie superior y se compacta con el rodillo a diferencia de la superficies laterales que son compactadas con el pisón de mano hasta darles una relativa uniformidad.

##### EXTENDIDO

El esparcimiento y compactación de la basura se realizan en capas horizontales o inclinados con una pendiente de 1:3 ( altura-avance , lo cual proporciona mayor grado de compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra, mejor contención y estabilidad del relleno.

Al iniciar la compactación siempre se debe proporcionar contención al relleno, apoyando cada celda en el talud del terreno natural o paredes de la trinchera y durante el avance sobre la celda ya terminada.- .

##### RECUBRIMIENTO.

Para concluir la celda, se recubre ésta con una capa de tierra del orden de 0.10 a 0.15 mts. Se esparce con ayuda de carretillas de mano, palas, y azadón, y se compacta empleándose el rodillo y pisonés de mano, siguiéndose el mismo procedimiento efectuado con la basura. Conviene recordar que la cobertura diaria controla la presencia de insectos, roedores y gallinazos , así como de fuego, los humos, los malos olores, la humedad y la basura dispersa.

Es claro que la cobertura debe aplicarse como mínimo una vez por cada día de recolección. De este modo, al terminar la jornada no debe quedar ningún desecho sólido expuesto , menos aún al final de la semana .

No se debe ser exigente en cuanto a la calidad del material de cobertura para un relleno sanitario manual. Se recomienda simplemente aprovechar la tierra que se encuentre más accesible, puesto que el objetivo fundamental es el de cubrimiento de los desechos.

En cuanto a la cantidad de material de cobertura necesario, debe emplearse 1 mts<sup>3</sup> de tierra por cada 4 a 5 mts.<sup>3</sup> de desechos sólidos, es decir, entre 20 y 25 %

Se recomienda efectuar la cobertura final de 0.40 a 0.30 mts. con el intervalo de un mes aproximadamente para tratar de cubrir los asentamientos que se produzcan en la primera capa.

## Compactación

Dado que esta obra de saneamiento básico ha sido concebida para emplear tecnología al alcance de la región y con el propósito de promover el uso extensivo de mano de obra, la conformación de las celdas y la compactación se harán con herramienta de albañilería, por lo que las densidades alcanzadas en el relleno sanitario manual serán relativamente bajas (400 a 500 Kgs/m<sup>3</sup>) pero suficientes para los fines propuestos. No obstante, existen otros mecanismos que inciden en la compactación de los residuos sólidos, siendo los más importantes:

- El tráfico de los vehículos sobre las celdas terminadas. Esta práctica debe estimularse en los periodos secos.
- El proceso de descomposición de los desechos sólidos, dado que en los países en desarrollo, la materia orgánica ocupa un alto porcentaje de su composición física (entre 40-70%) y es transformado en humus, agua y gases.
- El peso propio de las celdas superiores sobre las inferiores también produce una carga que aumenta el grado de compactación.
- El almacenamiento de material de cobertura sobre las celdas ya terminadas.

### 4.1.3 Horario de operación y personal requerido.

El horario de operación en el relleno sanitario debe ser compatible con el horario del sistema de recolección de los desechos. Usualmente el relleno estará en servicio de cinco a seis días a la semana y de ocho a diez horas por día.

El horario debe colocarse en la entrada del relleno e indicar el tipo de desecho que puede ser recibido. Para obtener buenos resultados el relleno debe estar abierto sólo si están los trabajadores operativos, con el fin de programar su depósito. Para los desechos que lleguen fuera del horario de servicio es recomendable ubicar un contenedor suficientemente grande para recibirlos.

### El personal requerido.

En el relleno sanitario manual, como su nombre lo indica, todas las operaciones están basadas en el trabajo desarrollado por los obreros del municipio o comunidad. El número de trabajadores necesarios depende de la cantidad de desechos sólidos a enterrar, de las condiciones del clima y de método de construcción del relleno entre otros.

- Supervisor.- Este empleado debe tener los conocimientos y entrenamiento necesario para dirigir la obra en proceso. Se requiere su presencia durante todo el tiempo que el relleno sanitario se encuentre en operación.
- Recibidor-despachador.- Este empleado estará encargado de la caseta de entrada y tendrá un registro de toda persona que entre al relleno, así como de los vehículos. Esta posición requiere que el empleado esté a la mano todo el tiempo que el relleno permanezca abierto.
- Operadores.- Estos empleados deben tener la capacitación óptima para llevar a cabo el proceso de formación de las celdas siguiendo la normatividad establecida. El número de éstos está en relación con la cantidad de desechos sólidos que se procesan y/o se recolectan por el periodo considerado.
- Vigilantes.- Se requiere de un vigilante por turno (3). Son los encargados de resguardar las instalaciones, herramientas y equipo .
- Auxiliares.- Es recomendable utilizar personal que auxilie al resto del personal de la obra en tareas menores como limpieza o para dirigir el tráfico interno durante las horas de mayor movimiento de vehículos.

Cálculo de la mano de obra.

La mano de obra necesaria en la operación manual del relleno sanitario para conformar la celda diaria depende de:

- La cantidad de desechos sólidos a disponer.
- La disponibilidad y tipo de material de cobertura.
- Los días laborables en el relleno.
- La duración de la jornada diaria
- Las condiciones del clima.
- La descarga de los desechos en el frente de trabajo o distante al mismo.
- El rendimiento de los trabajadores.

Número de trabajadores.

Para calcular el número de trabajadores necesarios en el relleno sanitario manual se presenta la siguiente guía en la cual se considera una jornada de 8 horas diarias, con el tiempo efectivo de 6 horas. Estos rendimientos son bajo condiciones normales de trabajo y pueden variar en cada lugar según los factores descritos anteriormente.

| <b>Operación.</b>        | <b>Rendimiento.</b>                                                                      |   | <b>Hom/día.</b> |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------------|
| Movimiento de desechos   | $\frac{\text{desechos sólidos (ton/día)}}{(0.95)*\text{ton/hora-hom.}}$                  | x | 1/6horas.       |
| Compactación de desechos | $\frac{\text{Área superficial (m}^2\text{)}}{(20)* \text{ m}^2/\text{hora-hom}}$         | x | 1/6horas.       |
| Movimiento de tierras.   | $\frac{\text{Tierra (m}^3\text{)}}{(0.35 \text{ a } 0.70)* \text{ m}^3/\text{hora-hom}}$ | x | 1/6horas        |
| Compactación de la celda | $\frac{\text{Área superficial (m}^2\text{)}}{(20)* \text{ m}^2/\text{hora-hom.}}$        | x | 1/6horas        |

(\*) Adaptar a cada región.

PLINNTOFF, reporta los siguientes requerimientos de mano de obra de tres sitios, en los cuales se operaron rellenos sanitarios manualmente.

|         |             |                           |
|---------|-------------|---------------------------|
| Sitio 1 | 30 ton/día. | 2 hobsres/ 15 ton/hom-día |
| Sitio 2 | 50 ton/día  | 6 hombres/8ton/hom-día    |
| Sitio 3 | 100 ton/día | 10 hombres/10 ton/hom-día |

Las densidades de los desechos distribuidos en estos sitios estuvieron entre 250 y 400 kgs/m<sup>3</sup>; así, para un tonelaje dado, el volumen a ser manejado podrá ser similar o mayor que en los países en desarrollo.

La siguiente tabla indica la escala probable de los rendimientos de la mano de obra y materiales de cobertura con una tasa de generación y densidades típicas en América latina.

### Volumen ( m<sup>3</sup> / Día )

| Población | ton/día<br>(ppc=0.5 kg/hab-día) | bas.suelta<br>(330kg/m <sup>3</sup> ) | bas. comp.<br>(500kg/m <sup>3</sup> ) | Mat. cobertura | hombres |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------|
| 20000     | 10                              | 30                                    | 20                                    | 4              | 4       |
| 50000     | 25                              | 75                                    | 50                                    | 10             | 10      |
| 100000    | 50                              | 150                                   | 100                                   | 20             | 19      |
|           |                                 |                                       |                                       |                |         |

Además del número de trabajadores que ejecutarán las labores propias de la construcción del relleno, es necesaria otra persona que dirija y oriente las operaciones en el relleno sanitario manual en calidad de supervisor.

Para el cargo de supervisor, teniendo en cuenta que disponer de un profesional capacitado en el manejo de desechos sólidos sería costoso, se recomienda contratar un individuo con las siguientes características.

- Tecnólogo en saneamiento, o
- Promotor de saneamiento, en lo posible con experiencia.

La presencia del supervisor en el relleno sanitario es importante durante casi toda la jornada laboral de los primeros meses. Con la experiencia de trabajo, es posible reducir el tiempo de permanencia a dos horas diarias: una hora en la mañana y otra hora por la tarde. Así se podría dedicar a la supervisión del aseo urbano en lo general y velar por la mejor prestación del servicio.

En última instancia, esta labor de supervisión puede ser llevada a cabo por el jefe de obras públicas del municipio, con el apoyo de los promotores de saneamiento de los servicios de salud.

### Herramientas.

Para la operación del relleno sanitario manual, el equipo necesario se reduce al empleo de herramienta o utensilios de albañilería tales como: carretillas de llanta neumática, palas, azadones, barras, piones de madera, así como la horquillas o rastrillos y un rodillo compactador.

La cantidad de estas herramientas está en función del número de trabajadores y éste a su vez depende de la cantidad de desechos sólidos a enterrar en el relleno.

Para el acarreo del material de cobertura o basura, sobre las celdas ya construidas se recomienda la colocación sobre la superficie del relleno de unos tablones en forma lineal para facilitar el desplazamiento de las carretillas, sobre todo en épocas de lluvias, mejorando así el rendimiento en la operación.

Seguridad en el trabajo.

Debido al tipo de labores del servicio de aseo urbano ( recolección, transporte y disposición final de la basura ), los trabajadores están constantemente expuestos a tanto a accidentes en la vía pública como a enfermedades infecto contagiosas por tener que trabajar con desechos potencialmente contaminados. Estos accidentes pueden tener dos orígenes : uno por condiciones inseguras de trabajo y otro por negligencia por parte del propio trabajador.

Las principales condiciones inseguras de trabajo son :

- Recoger la basura manualmente, sin emplear guantes y recogedor, lo que puede producir cortes en las manos al encontrar vidrios rotos o metales afilados.
- Manejar recipientes muy grandes, inadecuados para el almacenamiento de las basuras porque producen desgaste excesivo del trabajador, cortaduras, luxaciones, y desgarramientos musculares al ser levantados para su traslado y vaciado al vehículo.
- Trabajar en jornadas excesivamente largas, con la consiguiente fatiga de los trabajadores.
- Carecer de uniformes adecuados y equipos individuales de protección.

Entre los actos de negligencia más comunes del propio trabajador se encuentran:

- No usar el equipo individual de protección.
- Ingerir bebidas alcohólicas durante la jornada de trabajo.
- Levantar en forma indebida recipientes u objetos pesados.
- No prestar atención al tráfico vehicular.

Por lo tanto se deben identificar cuidadosamente todas las condiciones inseguras , así como las causas más comunes de accidentes de trabajo y riesgos a que está expuesto el trabajador, con el objeto de darles la solución adecuada.

Seguidamente se dan algunas indicaciones para tratar de minimizar los problemas antes mencionados.

- Tratar de evaluar las causas de accidentes más comunes y adoptar las medidas preventivas del caso.
- Elaborar normas de seguridad del trabajo, con las respectivas indicaciones para el uso del equipo.
- Proveer al personal de un lugar para vestuario y duchas donde asearse y cambiarse de ropa después de la jornada de trabajo, a fin de no llevar a sus hogares cualquier clase de contaminación.
- Establecer un programa de exámenes médicos para que puedan estar identificados los riesgos potenciales de contaminación relacionados con su actividad.
- Mejorar la calidad del equipo y las herramientas, buscando la uniformidad de los recipientes en cuanto a forma, tamaño y peso y obligando por lo menos al sector comercial, al empleo de recipientes plásticos de 60 a 100 litros de capacidad . Para el sector residencial, llevar a cabo una buena campaña de promoción y concientización.
- Dotar al trabajador de guantes, botas y por lo menos de dos uniformes al año.

#### 4.1.4 Área de descarga.

Este concepto no se refiere a la zona de deposito, sino al área que se hace necesaria cuando los vehículos de descarga manual entorpecen el flujo de circulación y retrasan a otros vehículos. Esto sucederá en las horas pico, es decir en las horas en que los vehículos recolectores se dirigen al relleno para descargar Se debe considerar esta situación teniendo un área de maniobra lo suficientemente grande para el caso.

Se recomienda una zona de aproximadamente 200 m<sup>2</sup> ( 10 x 20 ) para que los vehículos recolectores puedan maniobrar y descargar la basura en el frente de trabajo sin mayores dificultades.

#### 4.1.5. Control de entrada, tráfico y señalización.

Para poder controlar la entrada de personas ajenas e impedir descargas cuando no se esté en operación, se hace necesario delimitar el área de depósito mediante una barda u otros medios adecuados, con entradas y salidas distintas, normalmente 3 puertas una de acceso para el personal y otras dos de entrada y salida a la caseta.

El servicio de control de tráfico y señalización se presenta en rellenos sanitarios de ciudades o comunidades cuyos accesos principales son a carreteras con flujo vehicular continuo y tráfico medio-alto. Por tal razón el señalamiento es de suma importancia para evitar accidentes y pérdidas de tiempo en la operación de la descarga de los desechos sólidos.

Los desechos que entran al relleno pueden ser transportados en vehículos que varían desde automóviles hasta los camiones de gran capacidad. Por lo mismo hay que establecer categorías de acuerdo a la forma de descarga, que puede ser manual o mecánica, debiendo descargar en diferentes partes del frente de trabajo.

#### 5.- Conclusiones y recomendaciones.

##### Conclusiones:

Después de haber realizado el breve análisis de los capítulos anteriores se destacan las siguientes conclusiones:

1.- Los problemas ocasionados por la disposición no controlada de los desechos sólidos han dañado el medio ambiente en que vive el hombre, afectando su salud y nivel de vida.

2.- La utilización de sitios de depósito para la basura, seguros y sanitarios, se vuelve cada día mas importante debido a la creciente contaminación ambiental, y sólo con el uso adecuado de los recursos científicos y tecnológicos así como la concientización de la humanidad se logrará combatir los trastornos ya causados y abatir los que en un futuro nos pudieran ocasionar daños irreversibles.

3.- Debido a su bajo costo de construcción y operación, podemos concluir que el relleno sanitario representa en la actualidad la alternativa mas económica y adecuada para dar un destino final a los residuos sólidos de una población, por grande o pequeña que sea, ya que reúne las condiciones sanitarias necesarias para la prevención de la contaminación ambiental.

4.- Los principales beneficios que se obtienen con la óptima construcción de un relleno sanitario son:

- Evitar la contaminación de los mantos acuíferos.
- Disminuir la contaminación del aire (humos, olores y degradación etc.)
- Propiciar un aspecto estético agradable durante y después de su construcción.
- Reducir los volúmenes de residuos sólidos, aumentando la vida útil de los sitios a disposición.
- Recuperación de áreas inservibles o inútiles por diversos aspectos.
- Evita la proliferación de insectos y roedores.

5.- El relleno sanitario es un sistema de destino final altamente empleado en diferentes países, pues aun en las unidades de procesamiento como el reciclaje, la incineración o la compostificación, se generan los residuos que requieren un lugar para ser descartados en forma sanitaria.

6.- La operación de un relleno sanitario sin duda tiende a devaluar zonas urbanizadas o ricas por diversos factores; sin embargo al finalizar su construcción se proyectará una cubierta final que mejore el ambiente y resulte estéticamente agradable para las personas que frecuenten el sitio o que vivan cerca de él.

7.- Existe una gran variedad de equipo que puede ser utilizado en un relleno y su selección dependerá del tipo y cantidad de desechos, métodos de operación y disponibilidad en el mercado.

8.- Como obra de ingeniería el relleno sanitario deberá ser construido mediante un proyecto obedeciendo leyes y reglamentos para prevenir y controlar la contaminación ambiental.

9.- Debido a sus conocimientos, el ingeniero civil es el profesionalista más apto para el diseño y la construcción de un relleno sanitario ya que dicha obra involucra diferentes áreas de la ingeniería como son :

- Geología
- Topografía
- Hidrológica
- Geohidrología
- Construcción (movimiento de tierras, carreteras, edificación, canales etc.)

## Recomendaciones.

- En la actualidad, en México, se tienen estudios de investigación para saber si es factible su proyección. Por lo que se recomienda la utilización empleadas en otros países, no olvidando que dichas técnicas se deben adaptar a las condiciones físicas del lugar y sobre todo tecnológicas y de maquinaria con que cuenta el país. Sin embargo, durante la construcción de rellenos sanitarios manuales es recomendable métodos orientados a nuestro requerimientos y necesidades. Los parámetros más la obtención de parámetros propios que nos permitan el desarrollo de técnicas y importantes que deben ser estudiados son los siguientes: Grado de compactación, producción de lixiviados, producción de gases, futuros asentamientos, rendimientos de maquinaria y mano de obra, Etc.
- El diseño, la operación y el control del relleno debe ser realizado por personas debidamente capacitadas y concientizadas en los objetivos primordiales que se buscan de tal manera que se garantice el cumplimiento de los procedimientos ingenieriles y los requisitos de salud pública.
- Para verificar las condiciones de las aguas subterráneas cercanas al relleno, se recomienda la perforación de pozos de monitoreo, de tal forma que mediante un programa periódico de observación se puedan detectar las posibles contaminaciones.
- Los gases generados en un relleno sanitario son susceptibles de ser utilizados por su alta capacidad de combustión. Estos gases, mediante un proceso adecuado de lavado, pueden ser de uso doméstico y han llegado a ser utilizados como combustible para vehículos. Por tales motivos resulta atractiva la captación de dicho gas para ser empleado incluso para los vehículos del sistema de limpia.
- El lixiviado es un problema latente, difícil de ser solucionado incluso cuando ya ha sido captado mediante pozos de bombeo, ya que para reducir su poder contaminante se requiere de tecnología e inversiones fuertes. Una alternativa adecuada que se recomienda para eliminar este líquido es la recirculación mediante el bombeo y riego directo de lixiviados al material de cubierta. De esta forma a la tierra se le da la humedad necesaria para su compactación y se elimina el líquido contaminante.
- La basura tirada debe ser cubierta diariamente o tan pronto como resulte conveniente, compactando debidamente el material de cubierta y formando cada día una celda herméticamente cerrada a fin de evitar la proliferación de insectos y roedores.
- Para la selección de la maquinaria a utilizar se deberá tener conocimientos del equipo, existencia de refacciones, mantenimiento requerido, rendimientos etc.
- Debe mantenerse un control adecuado de papeles y materiales ligeros que pueden ser acarreados por el viento. Esto se puede lograr mediante la colocación de cercas portátiles o barreras de árboles.

- Se recomienda un plan organizado de pepena que permita la recuperación de productos susceptibles de ser reutilizados. La instalación de plantas de recuperación pudiera ser una alternativa adecuada para su optimización. Sin embargo, esta debe ser estudiada en comparación con la pepena tradicional ya que para la construcción de una planta de este tipo se requiere de una inversión considerable que pudiera ser incosteable.
- Para lograr un adecuado desarrollo de la tecnología es importante que dentro de las instalaciones educativas y gubernamentales se tomen medidas para la investigación y difusión de temas relacionados con los residuos sólidos y con el ambiente en general.

#### Referencias Bibliografías.

- MANUAL DE DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES.
- PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN UN RELLENO SANITARIO  
DR. KUNITOSHI SAKURAI.
- SOLID WASTES  
TCHOBANOGLOUS/THEISEN/ELIASSEN.
- CEPIS/OPS. REP INDEX, RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES 6600  
DESCRIBE LOS DEPOSITOS SANITARIOS MANUALES  
[www.cepis.org/](http://www.cepis.org/) rs-www/proyecto/rigido/publica/repindex
- TESIS MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN  
ZIHUATANEJO GRO. COLOCACIÓN 2101014  
AUTOR: MARCO ANTONIO SANCHES.
- MANUAL DE DESECHOS SÓLIDOS (SEDUE 1984 )

## **Anexos.**

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.

### INDICE

- 0. Introducción
- 1. Objetivo y campo de aplicación
- 2. Definiciones
- 3. Especificaciones
- 4. Procedimientos
- 5. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
- 6. Bibliografía
- 7. Observancia de esta Norma

#### 0. Introducción

0.1 Los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales generan lixiviados, que contienen diversos contaminantes que pueden afectar los recursos naturales, en especial los acuíferos y los cuerpos superficiales de agua. La aplicación de esta Norma permitirá proteger el ambiente, preservar el equilibrio ecológico y minimizar los efectos contaminantes.

#### 1. Objetivo y campo de aplicación

1.1 Esta Norma Oficial Mexicana establece las condiciones de ubicación, hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, y es de observancia obligatoria para aquellos que tienen la responsabilidad de la disposición final de los residuos sólidos municipales.

## 2. Definiciones

### 2.1 Acuífero

Es cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas, que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

### 2.2 Acuífero confinado

Es aquel acuífero que está limitado en su parte superior por una unidad de baja conductividad hidráulica y el nivel piezométrico presenta una presión superior a la atmosférica.

### 2.3 Acuífero libre

Es un acuífero en el cual el nivel freático o nivel de saturación se encuentra a la presión atmosférica.

### 2.4 Acuífero semiconfinado

Aquel acuífero que tiene una unidad saturada de baja conductividad hidráulica en su parte superior o inferior, que contribuye con un pequeño caudal (goteo) debido a los gradientes inducidos por bombeo del acuífero.

### 2.5 Acuitardo

Es cualquier formación geológica por la que circula muy lentamente agua subterránea, por lo que generalmente no son utilizados para su explotación, uso o aprovechamiento.

### 2.6 Agua subterránea

Es el agua que se encuentra en el subsuelo, en formaciones geológicas parcial o totalmente saturadas.

### 2.7 Areas naturales protegidas

Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del hombre, y que han quedado sujetas al régimen de protección.

## 2.8 Capacidad de intercambio catiónico

Es el total de cationes intercambiables que puede absorber un suelo, expresado en miliequivalentes de los cationes por cada 100 g (cien gramos) de masa de suelo seco.

## 2.9 Carga hidráulica

Es la energía presente en un acuífero. Normalmente tiene dos componentes: a) la carga relacionada con la elevación con respecto a un punto de referencia, que es normalmente el nivel medio del mar, y b) la carga de presión, o presión de poro.

## 2.10 Conductividad hidráulica

Es la propiedad de un medio geológico de permitir el flujo de agua subterránea en un acuífero o acuitardo, considerando las condiciones de densidad y viscosidad del agua.

## 2.11 Contaminantes no reactivos

Son los contaminantes que viajan en solución, a la misma velocidad lineal que el agua subterránea. No sufren reacciones químicas ni biológicas con el medio granular.

## 2.12 Descripción estratigráfica

Es la descripción de los estratos del subsuelo en cuanto a sus propiedades físicas, químicas e hidráulicas, de acuerdo al código de nomenclatura estratigráfica vigente.

## 2.13 Discontinuidades

Superficie marcada por modificaciones radicales de las propiedades físicas de las rocas. Estas discontinuidades pueden ser por ejemplo, fallas o fracturas.

## 2.14 Disposición final

La acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar daños al ambiente.

## 2.15 Falla

Es cuando se producen desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultado de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre.

#### 2.16 Falla activa

Son aquellas fallas que han sufrido desplazamiento durante el holoceno (último millón de años).

#### 2.17 Fracción de carbono orgánico

La fracción de carbono orgánico se refiere al porcentaje de carbono orgánico en el suelo, derivado de restos de plantas. Es importante en la retención de contaminantes orgánicos.

#### 2.18 Fractura

Es una discontinuidad en las rocas producida por un sistema de esfuerzos.

#### 2.19 Freatofitas

Son plantas que extienden sus raíces por debajo del nivel freático y extraen sus requerimientos de humedad directamente de la zona saturada.

#### 2.20 Geofísica

La ciencia que estudia las propiedades físicas de la tierra y el conocimiento de la estructura geológica de los materiales que la constituyen.

#### 2.21 Geología

Es el estudio de la formación, evolución, distribución, correlación y comparación de los materiales terrestres.

#### 2.22 Hidrogeología

Es el conjunto de actividades tales como perforaciones, determinación de la recarga, profundidades a nivel estático, interacción química agua-roca y propiedades hidráulicas que permiten conocer y localizar los sistemas de aguas subterráneas, su dirección y velocidad de movimiento.

### 2.23 Hidrología

La ciencia que estudia los componentes primarios del ciclo hidrológico y su relación entre sí. Considera la interacción y dinámica de la atmósfera con cuerpos de agua superficial tales como ríos, arroyos, lagunas, lagos, etc.

### 2.24 Infiltración

Introducción suave de un líquido entre los poros de un sólido referido al agua, el paso lento de ésta a través de los intersticios del suelo y del subsuelo.

### 2.25 Lixiviado

Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.

### 2.26 Nivel freático

La superficie de agua que se encuentra en el subsuelo bajo el efecto de la fuerza de gravitación y que delimita la zona de aireación de la de saturación.

### 2.27 Nivel piezométrico

Es el valor de la carga hidráulica observado de un acuífero o acuitardo a diferente profundidad en el mismo y en el medio saturado.

### 2.28 Parámetros hidráulicos

Son la conductividad hidráulica, la porosidad, la carga hidráulica, los gradientes hidráulicos de una unidad hidrológica, así como su coeficiente de almacenamiento.

### 2.29 Percolación

Es el movimiento descendente de agua a través del perfil del suelo debido a la influencia de la gravedad.

### 2.30 Permeabilidad

La propiedad que tiene una sección unitaria de terreno para permitir el paso de un fluido a través de ella sin deformar su estructura bajo la carga producida por un gradiente hidráulico.

### 2.31 Porosidad efectiva

Es la relación del volumen de vacíos o poros interconectados de una roca o suelo dividido por el volumen total de la muestra.

### 2.32 Potencial de contaminación

Es la interacción entre el tipo, intensidad, disposición y duración de la carga contaminante con la vulnerabilidad del acuífero; está definida por las condiciones de flujo del agua subterránea y las características físicas y químicas del acuífero.

### 2.33 Residuo sólido municipal

El residuo sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casa-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de su proceso.

### 2.34 Sistema de flujo

Es definido por la dirección de flujo que sigue el agua subterránea, considerando las zonas de recarga y descarga, las cargas y gradientes hidráulicos a profundidad y el efecto de fronteras hidráulicas. Incluye, además la interacción con el agua superficial y comprende sistemas locales, intermedios y regionales.

### 2.35 Talud

Es la inclinación formada por la acumulación de fragmentos del suelo con un ángulo de reposo del material del terreno de que se trate.

### 2.36 Unidades litológicas

Conjunto de materiales geológicos compuestos predominantemente de cierta asociación de minerales que tienen un origen común.

### 2.37 Volumen de extracción

Se refiere a la cantidad de agua subterránea que se extrae de un acuífero a través de pozos o norias.

### 2.38 Zona de aireación

La zona que contiene agua bajo presión menor a la de la atmósfera, está delimitada entre la superficie del terreno y el nivel freático.

#### 2.39 Zona de descarga

Es la porción del drenaje subterráneo de la cuenca en la cual el flujo de agua subterránea fluye de mayor profundidad hacia el nivel freático; es decir, el flujo subterráneo es ascendente.

#### 2.40 Zona de inundación

Area sujeta a variaciones de nivel de agua por arriba del nivel del terreno, asociadas con la precipitación pluvial, el escurrimiento y las descargas de agua subterránea.

#### 2.41 Zona de recarga

Es la porción del drenaje subterráneo de la cuenca en la cual el flujo del agua subterránea fluye del nivel freático hacia mayor profundidad; es decir, el flujo subterráneo es descendente.

#### 2.42 Zona de saturación

El área que se caracteriza por tener sus poros o fracturas llenas de agua. Su límite superior corresponde al nivel freático y su límite inferior es una unidad impermeable.

#### 2.43 Zona no saturada

Es el espesor que existe entre la superficie del terreno y el nivel freático. Es equivalente a la profundidad del nivel freático.

### 3. Especificaciones

3.1 Con el fin de cumplir con las diferentes especificaciones de ubicación, que debe satisfacer un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales, y facilitar la toma de decisiones en las diferentes etapas de los estudios que se describen en el punto 4 de esta Norma Oficial Mexicana,

3.2 Las condiciones mínimas que debe cumplir un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales, son las siguientes:

### 3.2.1 Aspectos generales

#### 3.2.1.1 Restricción por afectación a obras civiles o áreas naturales protegidas.

##### 3.2.1.1.1 Las distancias mínimas a aeropuertos son:

- a) De 3000 m (tres mil metros) cuando maniobren aviones de motor a turbina.
- b) De 1500 m (mil quinientos metros) cuando maniobren aviones de motor a pistón.

##### 3.2.1.1.2 Respetar el derecho de vía de autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios.

##### 3.2.1.1.3 No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas.

##### 3.2.1.1.4 Se deben respetar los derechos de vía de obras públicas federales, tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, torres de energía eléctrica, acueductos, etc.

##### 3.2.1.1.5 Debe estar alejado a una distancia mínima de 1500 m (mil quinientos metros), a partir del límite de la traza urbana de la población por servir, así como de poblaciones rurales de hasta 2500 habitantes. En caso de no cumplirse con esta restricción, se debe demostrar que no existirá afectación alguna a dichos centros de población.

#### 3.2.1.2 La localización de sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, para aquellas localidades con una población de hasta 50,000 habitantes, o cuya recepción sea de 30 toneladas por día, de estos residuos; se debe hacer considerando exclusivamente las especificaciones establecidas en los puntos 3.2.3 y 3.2.4 de esta Norma Oficial Mexicana.

### 3.2.2 Aspectos hidrológicos

#### 3.2.2.1 Se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no exista la obstrucción del flujo en el área

de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que provoquen arrastre de los residuos sólidos.

3.2.2.2 El sitio de disposición final de residuos sólidos municipales no se debe ubicar en zonas de pantanos, marismas y similares.

3.2.2.3 La distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de 1000 m (mil metros) como mínimo y contar con una zona de amortiguamiento tal que pueda retener el caudal de la precipitación pluvial máxima presentada en los últimos 10 años en la cuenca, definida por los canales perimetrales de la zona.

### 3.2.3 Aspectos geológicos

3.2.3.1 Debe estar a una distancia mínima de 60 m (sesenta metros) de una falla activa que incluya desplazamiento en un periodo de tiempo de un millón de años.

3.2.3.2 Se debe localizar fuera de zonas donde los taludes sean inestables, es decir, que puedan producir movimientos de suelo o roca, por procesos estáticos y dinámicos.

3.2.3.3 Se deben evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno, que incrementen el riesgo de contaminación al acuífero.

### 3.2.4 Aspectos hidrogeológicos

3.2.4.1 En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales fracturados, se debe garantizar que no exista conexión con los acuíferos de forma natural y que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea  $\leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ .

3.2.4.2 En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales esté sobre materiales granulares, se debe garantizar que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea  $\leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ .

3.2.4.3 La distancia mínima del sitio a pozos para extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero tanto en operación como abandonados, debe estar a una distancia de la proyección horizontal por lo menos de 100 m (cien metros) de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, siempre que la distancia resultante sea menor a 500 m (quinientos metros), esta última será la distancia a respetar.

### 3.2.5 Consideraciones de selección

3.2.5.1 En caso de que exista una probable contaminación a cuerpos de agua superficial y subterránea, se debe recurrir a soluciones mediante obras de ingeniería.

## 4. Procedimientos

4.1 La selección de un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales requiere de estudios geológicos, hidrogeológicos y otros complementarios.

### 4.2 Estudios geológicos

4.2.1 Se deben realizar estudios geológicos de tipo regional y local, de acuerdo con las siguientes características:

#### 4.2.1.1 Estudio geológico regional

Determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo, se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos de agua, exploración geotécnica, petrolera o de otra índole.

#### 4.2.1.2 Estudio geológico local

Determinar las unidades litológicas en el sitio, su geometría, distribución y presencia de fallas y fracturas. Asimismo, debe incluir estudios geofísicos para complementar la información sobre las unidades litológicas. El tipo de método a utilizar y el volumen de trabajo, debe garantizar el conocimiento tridimensional del comportamiento y distribución de los materiales en el subsuelo hasta una profundidad y distribución horizontal adecuada a las características geológicas e hidrogeológicas del área en que se ubica el sitio.

4.2.1.3 Si los resultados geológicos y geofísicos preliminares muestran que no existe conexión aparente entre las rocas fracturadas con acuíferos o que la distribución de unidades litológicas de baja permeabilidad es amplia, se debe realizar un mínimo de una perforación en la periferia del sitio.

### 4.3 Estudios hidrogeológicos

4.3.1 Los estudios hidrogeológicos deben considerar cinco etapas:

Evidencias y uso del agua subterránea.

Identificación del tipo de acuífero.

Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo.

Análisis del sistema de flujo.

Evaluación del potencial de contaminación.

#### 4.3.1.1 Evidencias y uso del agua subterránea

Definir la ubicación y distribución de todas las evidencias del agua subterránea, tales como manantiales, pozos y norias, a escala regional y local. Asimismo, se debe determinar el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio.

#### 4.3.1.2 Identificación del tipo de acuífero

Identificar las unidades hidrogeológicas, extensión y geometría, tipo de acuífero (libre, confinado, semi-confinado) y relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero.

4.3.1.3 Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo. Determinar la profundidad al nivel piezométrico en el sistema acuífero, dirección y velocidad del agua subterránea a partir de los parámetros de conductividad hidráulica, carga hidráulica y porosidad efectiva.

Conocer la composición química del agua subterránea.

Determinar la conductividad hidráulica (K), la fracción de carbono orgánico (FCO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los diferentes estratos del subsuelo de la zona no saturada.

#### 4.3.1.4 Análisis del sistema de flujo

Con base en la información geológica y de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2 y 4.3.1.3 de esta Norma Oficial Mexicana y de otros elementos hidrogeológicos, tales como zonas de freatofitas, zonas de recarga y descarga, etc., se debe definir el sistema de flujo local y regional del área de estudio.

#### 4.3.1.5 Evaluación del potencial de contaminación

Se debe integrar toda la información obtenida de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2, 4.3.1.3 y 4.3.1.4 de esta Norma Oficial Mexicana, para determinar si el sitio es apto o si requiere obras de ingeniería. Para ello se debe considerar la gráfica del Anexo 2.

Esta gráfica define la condición de tránsito de la infiltración aceptable que deben tener los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, su valor de frontera está definido por  $f \leq 3 \times 10^{-10} \text{seg}^{-1}$  que representa el factor de tránsito de la infiltración, el cual relaciona a la velocidad promedio final de infiltración contra los diferentes espesores de los materiales de la zona no-saturada incluyendo la porosidad de ellos, según la siguiente fórmula:

$$f = (K \cdot i) / (U \cdot d)$$

Donde:

f = factor de tránsito de la infiltración,  $(\text{seg}^{-1})$ .

d = espesor de la zona no-saturada, (m).

U = porosidad promedio efectiva de los materiales de la zona no-saturada, (adimensional).

i = gradiente hidráulico, (adimensional).

K = conductividad hidráulica promedio de los materiales de la zona no-saturada, (m/s).

La velocidad promedio (v) se calcula a partir de la conductividad hidráulica saturada (K) de los materiales del subsuelo en la zona no-saturada, dividida por la porosidad promedio efectiva (U), considerando un gradiente hidráulico unitario (i), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V=Ki/U.$$

El valor de (f) obtenido, para el caso de que se trate, debe graficarse para determinar su aptitud y viabilidad. Los sitios aptos son aquellos cuyo factor de tránsito de la infiltración es:

$$f \leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}.$$

#### 4.3.1.6 Aplicación de tecnologías y sistemas equivalentes

Prevía autorización de los gobiernos de los estados o, en su caso de los municipios, con arreglo a las disposiciones de la presente Norma Oficial Mexicana, se pueden elegir sitios de disposición final de residuos sólidos municipales que no reúnan alguna de las condiciones establecidas anteriormente, cuando se realicen obras de ingeniería, cuyos efectos resulten equivalentes a los que se obtendrían del cumplimiento de los requisitos previstos en los puntos 3.2.1.1, 3.2.2.1, 3.2.2.3, 3.2.3.2, 3.2.3.3, 3.2.4.1, 3.2.4.2, 3.2.5.1 de esta Norma Oficial Mexicana; obras con las cuales se debe acreditar técnicamente que no se afectaría negativamente al medio ambiente.

### 5. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales

5.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter técnico que existen en otros países, no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

## 6. Bibliografía

- 6.1 Manual de Relleno Sanitario SEDUE, Subsecretaría de Ecología, 1984, México.
- 6.2 Manual de Hidráulica Azevedo Alvarez (Editorial Harla), México.
- 6.3 Mecánica de Suelos. E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez (1970), México.
- 6.4 Sanitary Landfill Design and Operation Dr. Brunner & D.J. Keller, U.S.E.P.A. 1971. (Diseño y operación de un relleno sanitario) E.U.A.
- 6.5 Guía de Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios. Manuales de la Organización Panamericana de la Salud. Jorge Jaramillo y Francisco Zepeda (1991).
- 6.6 Practical Waste Management. John R. Holmes (1983). Editorial John Wiley & Sons (Manejo práctico de residuos), E.U.A.
- 6.7 Estudio de Comportamiento de un Relleno Sanitario mediante una celda de control (1992). Dirección General de Servicios Urbanos D.D.F., México.
- 6.8 Groundwater, R. Allan Freeze / John A. Cherry, Prentice Hall Inc. (1979) (Agua subterránea) E.U.A.
- 6.9 Diccionario de Mineralogía y Geología, Lexis 22, Barcelona, España (1980).
- 6.10 Dictionary of Geological Terms. The American Geological Institute, (1984) E.U.A. (Diccionario de términos geológicos) E.U.A.
- 6.11 The Geochemistry of Natural Waters, Drever, J. Prentice Hall E.U.A. (1982).
- 6.12 Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas, CEPIS, OPS, Foster S., Hirata R., Lima, Perú, (1988).
- 6.13 Introduction to Geochemistry, Segunda Edición, Mc. Graw-Hill Book Co, Krauskopf K. E.U.A. (1979). (Introducción a la geoquímica).
- 6.14 Earth, W. H. Freeman and Company, Press F., Siever R. E.U.A. (1986). (La Tierra).

## 7. Observancia de esta Norma

- 7.1 Los sitios destinados a la disposición final de residuos sólidos municipales que operan actualmente, tienen un plazo de tres años a partir de su publicación en el Diario Oficial de la Federación para regularizar su situación de acuerdo a los preceptos de esta Norma.

7.2 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, a los Gobiernos del Distrito Federal, de los estados y municipios en el ámbito de su jurisdicción y competencia, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

7.3 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de agosto de mil novecientos noventa y seis.-  
La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Julia Carabias Lillo.- Rúbrica.

#### **NORMA :NOM-084.ECOL**

PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-084-ECOL-1994, Que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Secretaría de Desarrollo Social.- Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección al Ambiente.

GABRIEL QUADRI DE LA TORRE, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, con fundamento en los artículos 45, 46 fracción II y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, me permito ordenar la publicación en el Diario Oficial de la Federación del proyecto de norma oficial mexicana,

NOM-084-ECOL-1994, que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

El presente proyecto de norma oficial mexicana se publica a efecto de que los interesados dentro de los siguientes 90 días naturales, contados a partir de la fecha de su publicación, presenten sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Río Elba número 20, 1er. Piso, Colonia Cuauhtémoc, Código Postal 06500, México, D.F.

Durante el plazo mencionado, los análisis que sirvieron de base para la elaboración del proyecto de norma, estarán a disposición del público para su consulta en el domicilio del Comité.

México, Distrito Federal, a veintinueve de marzo de mil novecientos noventa y cuatro.- El Presidente del Comité, Gabriel Quadri de la Torre.- Rúbrica.

-----

-----

PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-084-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO Y LA CONSTRUCCION DE SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS.

## 1. OBJETO

La presente norma oficial mexicana tiene como objeto establecer los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

## 2. CAMPO DE APLICACION

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

## 3. DEFINICIONES

### 3.1 Residuo sólido municipal

El residuo sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casa-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así los residuos como industriales que no se deriven de su proceso.

### 3.2 Generación

La cantidad de residuos sólidos originados por el componente unitario de una determinada fuente en un intervalo de tiempo.

### 3.5 Peso volumétrico

El peso de los residuos sólidos contenidos en una unidad de volumen.

### 3.6 Disposición

La descarga, depósito, inyección, vertido, derrame o colocación de cualquier tipo de residuo en o sobre el suelo o cualquier cuerpo de agua.

### 3.8 Relleno sanitario

La obra de ingeniería para la disposición final y segura de los residuos sólidos municipales.

### 3.9 Celda

El bloque unitario de construcción de un relleno sanitario.

### 3.10 Celda diaria

Las áreas definidas donde se esparcen y compactan los residuos sólidos durante un día, siendo cubiertos al final del mismo, con una capa de algún material que en caso de ser suelo, también se compacta.

### 3.11 Material de cubierta

El material de origen natural o sintético, utilizado para cubrir los residuos sólidos con el propósito de controlar el ingreso de diversos organismos, así como controlar la humedad de los estratos de residuos, el movimiento de gas producido por la degradación de la materia orgánica, el inicio y propagación de incendios, la dispersión de residuos y también proporcionar al sitio una apariencia adecuada.

### 3.12 Cubierta diaria

La capa de material natural o sintético con que se cubre a los residuos depositados durante un día de operación.

### 3.13 Cubierta intermedia

El estrato de material natural o sintético con que se cubre una franja o capa de residuos en un relleno sanitario.

### 3.14 Cubierta final

El revestimiento de material natural o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario.

### 3.15 Lixiviado

La solución resultante de la disolución y suspensión de algunos constituyentes de los residuos en el agua que los atraviesa.

### 3.16 Biogás

La mezcla de gases, producto de la descomposición biológica de la fracción orgánica de los residuos sólidos.

### 3.17 Sistema pasivo de extracción

El sistema utilizado para controlar el movimiento del biogás a presión natural y mediante el mecanismo de convección.

### 3.18 Sistema activo de extracción

El control del movimiento del biogás mediante una presión negativa inducida (vacío).

### 3.19 Zona de impacto sísmico

El área que tiene una probabilidad mayor o igual al 10 % de que la aceleración horizontal en roca dura exceda el 10% de la aceleración de la gravedad (g) en 250 años.

## 4. DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO

4.1 El diseño de un relleno sanitario, para la disposición final de los residuos sólidos municipales, deberá sujetarse al siguiente procedimiento:

### 4.1.1 Topografía

Información referente a la forma superficial y del perímetro (límites) del sitio, que deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

#### 4.1.1.1 Planimetría

1. Tolerancia Angular =  $1' \sqrt{N}$
2. Tolerancia lineal =  $1/3000$

Donde:

$N$  = Número de Vértices de la poligonal.

3. Ubicación de los límites del predio, cursos o cuerpos de agua superficial, áreas de inundación, caminos en servicio, líneas de conducción existentes en el sitio (luz, agua, drenaje, gas, teléfono, etc.), así como todo tipo de estructuras y construcciones existentes dentro del predio.

#### 4.1.1.2 Altimetría

Una vez establecido un banco de nivel fijo y de fácil localización, se deberá efectuar una nivelación a lo largo de las poligonales abierta y cerrada con puntos de nivelación, a cada 20 m. como máximo y especificar la altura de los sistemas de conducción, que atraviesen el sitio, incluyendo sus sistemas de sujeción.

#### 4.1.1.3 Secciones

Se deberán ubicar secciones apartir de la estación 0+000 del camino de acceso, debiendo referenciarse a las estaciones establecidas sobre el perfil del camino, las secciones serán siempre perpendiculares al eje del camino de acceso y abarcarán 20 m., a cada lado de dicho eje. Para la poligonal cerrada, se establecerá un eje central que divida al predio en dos áreas aproximadamente iguales, debiendo definirse ejes paralelos a cada 50 m., mismos que deben seccionarse transversalmente a cada 25 m. aproximadamente para superficies de 8 hectáreas o menos y a cada 50 m. en terrenos mayores a 8 hectáreas.

#### 4.1.1.4 Configuración topográfica

Las curvas de nivel se trazarán de acuerdo a los siguientes requerimientos: A cada medio metro para sitios planos y ligeramente ondulados y cada metro para ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados.

#### 4.1.2 Cantidades y características de los residuos sólidos

Se deberá recabar información referente a las cantidades y características de los residuos sólidos, tanto actuales como proyectadas para un período mínimo igual a diez años o bien igual al período de vida útil del sitio. En caso de que estos datos no se encuentren disponibles, se deberán realizar los muestreos correspondientes conforme a lo establecido en las siguientes normas mexicanas:

|                |                                              |
|----------------|----------------------------------------------|
| NMX-AA-61-1985 | DETERMINACION DE LA GENERACION               |
| NMX-AA-15-1985 | MUESTREO-METODO DE CUARTEO                   |
| NMX-AA-22-1985 | SELECCION Y CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS   |
| NMX-AA-19-1985 | DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO "IN-SITU" |

### 5. SELECCION DEL METODO

La selección del método a utilizar para la operación del relleno sanitario, se deberá realizar con base a las condiciones topográficas, geomorfológicas y geohidrológicas del terreno elegido, seleccionando de entre los siguientes; trinchera, área y combinado.

### 6. REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS

Los requerimientos volumétricos para el diseño del Relleno Sanitario, deberán obtenerse para los años estimados, mediante los volúmenes totales anuales y acumulados tanto de los residuos sólidos municipales como del material de cubierta, empleando para ello la proyección de generación de residuos y los pesos volumétricos establecidos en la tabla 1 .

TABLA 1  
RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

| TAMAÑO DEL<br>ASENTAMIENTO HUMANO | PARA DISEÑO DE LA CELDA<br>DIARIA PESO VOLUMETRICO<br>TON/M <sup>3</sup> | PARA EL CALCULO DE VIDA<br>UTIL PESO VOLUMETRICO<br>TON/M <sup>3</sup> |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| HASTA 500,000 HAB.                | 0.500                                                                    | 0.750                                                                  |
| MAYORES DE 500,000 HAB            | 0.600                                                                    | 0.900                                                                  |

#### 7. CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA

El cálculo de la capacidad volumétrica del sitio, deberá realizarse considerando la configuración topográfica que presente el predio donde se alojará el relleno sanitario, así como sus niveles de desplante. Se deberá reportar por cada curva de nivel la capacidad volumétrica parcial y acumulada.

#### 8. CALCULO DE LA VIDA DEL SITIO

El cálculo de la vida útil del sitio deberá obtenerse por medio de la capacidad volumétrica total del sitio, la cantidad de residuos a disponer y el volumen de material de cubierta requerido, conforme a la siguiente ecuación:

$$U = V / (365 Gt)$$

Donde:

U = Vida útil del relleno sanitario, expresado en años.

V = Volumen del sitio seleccionado, expresado en M3.

Gt = Volumen ocupado por la cantidad total diaria de residuos sólidos a disponer más la cantidad de material de cubierta demandado para cubrir esos residuos, expresado en m3/día.

## 9. DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA

### 9.1 Altura de la celda

La altura máxima deberá ser de 3.00 m. incluyendo el espesor de los residuos a disponer y el material de cubierta requerido.

### 9.2 Ancho de la celda

El ancho de la celda (frente de trabajo) deberá estar determinado por la longitud necesaria para el funcionamiento adecuado y ejecución de maniobras del equipo, tanto de compactación como de transporte.

9.2.1 Para poblaciones de hasta 250,000 hab. el frente de trabajo se define conforme a la ecuación siguiente:

$$F = 0.0333 N T X$$

Donde:

F = Longitud del frente de trabajo, expresado en metros.

N = Número de vehículos recolectores en la hora pico.

T = Tiempo promedio de descarga de cada vehículo recolector, expresado en minutos.

X = Ancho de los vehículos recolectores, expresado en metros.

9.2.2 Para poblaciones mayores de 250,000 hab. El ancho mínimo del frente de trabajo debe calcularse conforme a la ecuación siguiente:

Donde:

F = Longitud del frente de trabajo, expresado en metros.

$X_i$  = Ancho de la hoja topadora de cada una de las máquinas que se utilizarán simultáneamente, expresado en metros.

i= Número de equipos.

9.2.3 El largo de la celda se deberá calcular en función de la altura y el ancho previamente determinados, conforme a la ecuación siguiente:

$$L = \frac{V}{WA}$$

Donde:

L = Largo de la celda, expresado en metros.

V = Volumen de la celda, expresado en M<sup>3</sup>.

W = Ancho de la celda, expresado en metros.

A = Altura de la celda, expresado en metros.

9.2.4 Con base al método de área las celdas se construirán inicialmente en un extremo del sitio y se avanza hasta terminar con el otro extremo, cuando existan ondulaciones y depresiones en el terreno deberán ser utilizadas como respaldo conforme a las primeras celdas de una determinada capa constructiva.

Criterio constructivo:

I. Se prepara el terreno para trabajarlo a base de terrazas y al mismo tiempo extraer material para cubierta.

II. El frente de trabajo o ancho de la celda se calculará de acuerdo a lo establecido en los puntos 9.2.1 y 9.2.2

III. Los cortes al terreno se harán, siguiendo la topografía del sitio para formar terrazas y aprovechar al máximo el terreno.

IV. El talud de la celda diaria tendrá una relación de 1:3 ángulo de 18°.

V. Cada celda del relleno será contigua con la del día anterior y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denominarán franjas. Estas celdas se construirán de acuerdo con la topografía del sitio.

VI. Las franjas al irse juntando forman capas, estas se construirán considerando la altura del sitio disponible para el relleno y al ubicarse en el plano de construcción, se calendarizan y se numeran de abajo hacia arriba usando 3 subíndices, uno indicando capa, el segundo indicará la franja y una tercera para la celda diaria.

VII. Las cubiertas intermedias que sirven de separación de las celdas diarias serán de 30 cms. el espesor de la cubierta debe ser de 60 cms.

VIII. La compactación de los residuos dependerá de su composición, del grado de humedad y del equipo utilizado. Para obtener entre un 50 a 70 por ciento de reducción de su volumen.

IX. Las cubiertas tendrán una pendiente del 2 % para el drenado adecuado que impidan el paso del agua, para evitar la erosión se deberán revegetar con especies propias de la región.

9.2.5 Con base al método de trinchera las celdas se construirán sobre la base del talud de la trinchera donde los residuos son compactados en capas inclinadas, posteriormente será cubierta con el material excavado de la futura trinchera.

Criterio constructivo:

I. La profundidad mínima de la trinchera será de 2.00 m. de los cuales 1.50 m. será de residuos y el resto de material de cubierta.

II. La trinchera deberá contar con una pendiente del 2 % que permita el drenado de la excavación a lo largo de toda su longitud.

III. El ancho de la trinchera será como mínimo de 9.00 m. para facilitar la descarga de los y la operación de la excavación de la máquina.

IV. El procedimiento constructivo, será el mismo a partir del punto IV de los criterios de construcción de las celdas por el método de área.

## 10. OBRAS COMPLEMENTARIAS

El relleno sanitario deberá comprender además del diseño de las celdas de confinamiento, con las obras complementarias que correspondan de acuerdo a la densidad de población expresada.

## 11. AREAS DE ACCESO Y ESPERA

11.1 Las áreas de acceso y espera tienen como propósito el control de entradas y salidas del personal y de los vehículos de recolección.

11.2 El acceso al relleno sanitario debe tener un ancho de 8.00 m. como mínimo.

11.3 Antes del acceso al frente de trabajo se deberá tener una área de espera con la capacidad suficiente para el estacionamiento de los vehículos recolectores y de transferencia en la hora pico.

## 12. CERCA PERIMETRAL

El Relleno Sanitario deberá estar cercado, como mínimo con alambre de púas de cinco hilos de 1.50 m. de alto. Apartir del nivel del suelo con postes de concreto o tubos galvanizados, debidamente empotrados y colocados a cada 3 m entre sí, para poblaciones de hasta 500,000 habitantes, y como mínimo con maya ciclónica de 2.20 m. de alto para poblaciones mayores.

## 13. CASETA DE VIGILANCIA

Las dimensiones de la caseta de vigilancia tendrán como mínimo 4 M2 y deberá instalarse a la entrada del relleno sanitario, pudiendo ser construida con materiales propios de cada región.

#### 14. CASETA DE PESAJE Y BASCULA

14.1 Las dimensiones de la caseta de pesaje tendrán como mínimo 16 M2 para alojar el dispositivo indicador de la báscula y el mobiliario necesario para el registro y archivo de datos.

14.2 La báscula deberá ubicarse cerca de la entrada del relleno sanitario y contar con:

14.2.1 Superficie de dimensiones suficientes para dar servicio a la unidad recolectora o de transferencia de mayor volumen de carga.

14.2.2 Capacidad acorde a la unidad recolectora de mayor volumen de carga .

14.2.3 La báscula deberá ser de una precisión de 5 Kg. y su instalación deberá apegarse a las especificaciones del fabricante.

#### 15. CAMINOS

15.1 Los caminos serán de dos tipos exteriores e interiores.

15.2 Los caminos exteriores deben cumplir como mínimo las especificaciones siguientes:

15.2.1 Ser de trazo permanente, y

15.2.2 Garantizar el tránsito por ellos en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario.

15.3 Cuando por volumen de tránsito y de la capacidad de carga de los vehículos, se haga necesario la colocación de la carpeta asfáltica, esta superficie de rodamiento deberá estar sobre

el nivel de despalme, misma que definirá la subrasante, en este caso, para recibir la carpeta se deberá construir:

15.3.1 Una sub-base con espesor mínimo de 12 cm formada de material natural producto de la excavación o explotación de bancos de materiales, y

15.3.2 Una base con espesor de 12 cm de grava controlada y arena compactada al 90 % de la prueba proctor.

15.3.3 El espesor de la carpeta asfáltica, cuya finalidad es proporcionar una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada, se calculará en función del valor relativo de soporte del suelo, de la carga de diseño y del volumen de tránsito.

15.4 Los caminos internos deben cumplir las especificaciones siguientes:

15.4.1 Deberán permitir la doble circulación de los vehículos recolectores, hasta el frente de trabajo del relleno sanitario.

15.4.2 Deberán ser de tipo temporal y que no presenten pendientes mayor del 5 %

## 16. CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE LOS CAMINOS

Los caminos interiores y exteriores deberán ser diseñados y contruidos conforme a los criterios básicos establecidos.

## 17. AREA DE EMERGENCIA

17.1 El área de emergencia será destinada para la recepción de los residuos municipales, cuando por situaciones climatológicas no permita la operación en el frente de trabajo, para facilitar la operación del relleno, además se deberá contar con lonas plásticas, residuos provenientes de demolición, o del barrido de calles para cubrir los residuos.

17.2 El área de emergencia deberá:

17.2.1 Estar ubicada en el área que presente las mejores condiciones para su operación.

17.2.2 Que su capacidad sea suficiente para una operación ininterrumpida de 6 meses.

17.2.3 Que exista material adecuado y en condiciones suficientes para cubrir diariamente los residuos.

## 18. DRENAJE

18.1 Las obras de drenaje serán de tipo permanente y temporal.

18.1.1 Las obras de drenaje permanentes se construirán en los límites del relleno que tienen como objeto la captación del escurrimiento de aguas arriba, los canales deberán revestirse con mortero: cemento-arena en proporción de 1:3 o mediante un sampeado de piedra junteada con mortero cemento-arena en proporción 1:5 la velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0.60 m/seg. ni mayor de 2.00 m/seg.

18.1.2 Las obras de drenaje temporal deberán construirse mediante canales de sección triangular con taludes de 3:1, rellenos de grava de 3 cm. de tamaño máximo para evitar socavones, y captar las aguas pluviales para conducir las fuera del área de trabajo.

18.1.3 Para los drenajes permanentes y temporales, el dimensionamiento de canales se deberá efectuar mediante la fórmula de Manning, obteniendo el gasto de diseño a partir del método racional americano o la fórmula de Burcklieziegler.

Fórmula del método racional americano

$$Q = \frac{C_i A}{0.36}$$

Donde:

Q = Gasto máximo expresado en L/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento

i = Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr.

A = Area por drenar expresado en ha.

0.36= Factor de conversión

Fórmula de Burklieziegler

$$Q = 27.78 CiS(1/4 A^{3/4})$$

Donde:

Q = Gasto máximo expresado en L/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento (sin dimensiones)

i = Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr.

S = Pendiente del terreno expresado en milésimas

A = Area por drenar expresado en ha.

27.78 = Factor de conversión.

Estas obras de drenaje, deberán diseñarse con capacidad para manejar caudales iguales o mayores al de una tormenta con período de retorno de 25 años.

## 19. INSTALACION DE ENERGIA ELECTRICA

Las instalaciones de energía eléctrica deberán satisfacer las necesidades de iluminación y energía en señalamientos exteriores e interiores, requerimientos en oficinas, e instalación de alumbrado en los frentes de trabajo.

## 20. SEÑALAMIENTOS

Los señalamientos se dividirán en 3 géneros: informativos, preventivos y restrictivos, pudiendo ser de tipo móvil o fijo y deberán ajustarse a lo establecido en el "Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras," editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

## 21. SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION

21.1 El sistema de impermeabilización será utilizado para aquellos rellenos sanitarios donde el nivel de aguas freáticas se localice a menos de 10 m. de profundidad.

21.2 El sistema de impermeabilización deberá diseñarse para toda la base del relleno y podrá ser de origen tanto natural como sintético, o bien alguna combinación de éstos, debiendo asegurar una permeabilidad mínima de  $1 \times 10^{-5}$  cm/seg. Se deberá demostrar que los materiales que integran dicho sistema no se deteriorarán ni perderán sus propiedades y ser resistentes a los esfuerzos físicos que resulten del peso de los materiales y residuos que serán colocados sobre este sistema de impermeabilización.

21.3 Los materiales de origen natural pueden ser importados o bien del mismo sitio y en ambos casos se deberá especificar el manejo o trato que deberá dárseles para reducir su permeabilidad a los límites establecidos o en su defecto se deberá demostrar que su espesor es capaz de absorber o atenuar la carga contaminante de los lixiviados, evitando su migración hacia los acuíferos.

## 22. SISTEMAS DE CAPTACION Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS

22.1 Deberá instalarse un sistema de captación de lixiviados inmediatamente por encima del sistema de impermeabilización.

22.2 Los sistemas de captación de lixiviados deberán ser capas drenantes, ubicadas principalmente en la base del relleno y sobre cualquier capa superior donde se espere tener acumulación de líquidos y estar diseñadas para conducir de la forma mas rápida posible el agua libre del relleno hasta cárcamos de colección. Estas capas drenantes podrán constituirse en forma de redes de drenes (tuberías perforadas) o trincheras. Su pendiente mínima debe ser de 0.4 % y su conductividad hidráulica de  $1 \times 10^{-5}$  m/seg para espesores de 0.3 m. o bien una transmisibilidad hidráulica de  $3 \times 10^{-6}$  M<sup>2</sup> / seg para espesores menores.

## 23. POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS

23.1 Los sistemas de monitoreo para lixiviados deberán contar de por lo menos 3 pozos de muestreo que se sitúen uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas a 500 m. antes de llegar al sitio del relleno sanitario otro a 500 m. aguas abajo del sitio, y el último en el sitio del relleno.

23.2 Los pozos que se ubican fuera del relleno sanitario deberán profundizar 2 m. dentro del acuífero y el nivel o base del relleno.

23.3 La construcción de los pozos de monitoreo para lixiviados deberán realizarse únicamente con materiales y técnicas que aseguren la no contaminación del acuífero, y podrán ser de un diámetro mínimo, que permita la introducción y recuperación del sistema muestreador debiendo ser este último resistente a la corrosión.

## 24. SISTEMA DE CAPTACION DE BIOGAS

24.1 Se deberá construir estructuras verticales de 60 a 100 cms. de lado a manera de chimenea, con malla y varilla, rellenos con piedra, esta estructura se desplantará 30 cms. abajo del fondo del relleno y en la parte superior se cubre con una placa de concreto, dejando un tubo con cuello de ganso, u otro sistema dependiendo de la cantidad generada de gas y el uso que se le de (ver anexo correspondiente).

24.2 Se deberán instalar 2 pozos por hectárea de relleno.

24.3 Independientemente del sistema de control que se use, el biogás que sea venteado o extraído, deberá ser quemado. El diseño de la instalación y del quemador deberá reunir las condiciones adecuadas para un óptimo funcionamiento.

## 25. SISTEMA DE MONITOREO PARA BIOGAS

25.1 El sistema de monitoreo de biogás será utilizado para aquellos rellenos sanitarios que sean contruidos en oquedades, barrancas depresiones, zanjas, etc., o en el caso que exista el contacto directo de los residuos sólidos con paredes, en las cuales se pueda presentar la migración de biogás de forma horizontal.

25.2 Los sistemas de monitoreo para identificar la migración de biogás estará integrado por pozos distribuidos a lo largo del perímetro del relleno sanitario.

Estos se construirán con una separación máxima de 50 m entre pozo y pozo y a una distancia mínima de 2 m del límite de los residuos sólidos. La profundidad máxima será igual al espesor de residuos sólidos más un metro.

## 26. AREA DE AMORTIGUAMIENTO

26.1 El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral que fluctúe entre 15 y 30 m.

26.2 Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales que reduzcan la salida de polvos, ruido, y materiales ligeros durante la operación.

## 27. ALMACEN Y COBERTIZO

Se deberá construir un cobertizo para guardar equipo, herramienta, materiales que sean de uso para el relleno, el tamaño dependerá del equipo que se disponga, camionetas, trascabos y deberá tener en el frente un patio de maniobras lo suficientemente grande, para poder recibir vehículos que vengan a descargar materiales al almacén.

## 28. AREA ADMINISTRATIVA

El área administrativa deberá contar con el espacio suficiente para la instalación de las oficinas respectivas, así como el mobiliario y equipo que se requiera.

## 29. SERVICIOS SANITARIOS

Los servicios sanitarios se instalarán conforme a los requisitos que establezcan las disposiciones legales aplicables.

## 30. VIGILANCIA

Los gobiernos del Distrito Federal, de los Estados y municipios en sus respectivas jurisdicciones, son la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

## 31. SANCIONES

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en cada entidad y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

## 32. BIBLIOGRAFIA

- 32.1 Manual del relleno sanitario SEDUE, Subsecretaría de Ecología, 1984.
- 32.2 Manual de Hidráulica Azevedo Alvarez (Editorial Harla)
- 32.3 Mecánica de suelos E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez (1970).
- 32.4 Sanitary Landfill Design and Operación Dr. Brunner & D.J. Keller, U.S.E.P.A. 1971.
- 32.5 Buranek, D. (1987), "Construcción Guide Liners", Civil Engineering, Nov. 1987
- 32.6 EPA Liners Workshop for Región VI and State Permit Writers, Dallas, Texas Environmental Protección Agency (1985)
- 32.7 Standar Number 54 flexible Membrane Liners, Ann Arbor, Michigan. National Sanitation Foundation (1985).

- 32.8 Poly-America Inc. Reference Manual. An Engineering Approach to Groundwater Protection, Gran Prairie, Texas.
- 32.9 Polyfelt Ts. Chemie Linz (Manual de Diseño y Práctica).
- 32.10 Hazardous Waste Engineering Research Laboratory. U.S. Environmental protection Agency.
- 32.11 Geosynthetic Design Guidance for Hazardous Waste Landfill cells and Surface Impoundments. Cincinnati, Ohio. Soil 6 Materials Engineers, Inc.
- 32.12 Dura-flex. An Innovation for the Environmental Containment Industry. Gran Prairie, Texas. Yazdani G. and Robert J.
- 32.13 Manual de manejo de desechos sólidos catapillar.
- 32.14 Guía de Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios. Manuales Organización Panamericana de la Salud. Jorge Jaramillo y Francisco Zepeda (1991).
- 32.15 Practical Waste Management. John R. Holmes (1983) Editorial John Wiley & Sons.
- 32.16 Estudio de comportamiento de un relleno sanitario mediante una celda de control D.D.F. (1992).

### 33. VIGENCIA

La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

## ANEXO 1

### EJEMPLOS PARA EL DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES

#### EJEMPLO 1. Cálculo de la generación diaria de basuras

Encuentre la cantidad diaria de residuos sólidos que generan los habitantes de una ciudad de 40,000 cuya generación por habitante es estimado en 0.5kg/hab/día.

$$\begin{aligned} Dsp &= \text{Pob.} \times \text{ppc} & [5-3] \\ Dsp &= 40,000 \times 0.5 = 20,000\text{kg/día} \end{aligned}$$

Si el relleno va trabajar 6 días a la semana, ¿cuánta basura será necesario procesar cada día *hábil*?

RESPUESTA.

$$Dsp = (7 \times 20) / 6 = 23.3 \text{ ton/día}$$

#### EJEMPLO 2. Cálculo del volumen necesario del relleno

La administración municipal de la ciudad de Hierro desea construir un relleno sanitario como solución al destino final de sus basuras. Se desea conocer la cantidad de basura producida, el volumen del relleno y del área requerida para iniciar la selección del sitio. Para tal efecto, se dispone de la siguiente información:

- Población área urbana 30,000HAB. habitantes
- Tasa de crecimiento 2.6% anual
- Volumen de desechos sólidos  
Recolectados mediante el  
Vehículo recolector 252m<sup>3</sup>/SEM.
- Cobertura del servicio 90%
- Densidad de los desechos sólidos:
  - Vehículo recolector (sin compactación) 300kg/m<sup>3</sup>
  - Recién compactados en el RSM 450kg/m<sup>3</sup>
  - Estabilizados en el RSM 600kg/m<sup>3</sup>

## SOLUCIÓN:

Para mayor facilidad en el manejo de la información se hará uso de la tabla 5.3, en la cual se resumirán todos los resultados. Los números de las columnas que se hace referencia más adelante son los de esa tabla (verla al final del problema)

### A. Proyección de la población

Se adoptará un crecimiento geométrico para el cálculo de la proyección de la población. Ecuación 5-1, para estimar las necesidades de los próximos 15 años, columna 1.

|                                             | Año |
|---------------------------------------------|-----|
| <b>PE = P1 (1+r)<sup>n</sup></b>            |     |
| P1 = 30,000                                 | 1   |
| P2 = 30,000(1+0.026) <sup>1</sup> = 30,000  | 2   |
| P3 = 30,000(1+0.026) <sup>2</sup> = 31,580  | 3   |
| ...= ... = ...                              | ... |
| P15= 30,000(1+0.026) <sup>14</sup> = 42,972 | 15  |

### B. Producción per capita;

La producción per cápita se estima aplicando la ecuación 5-2.

$$P_{pc} = \frac{DSr/sem}{Pob \times 7 \times Cob} = \frac{252 \text{ m}^3/sem \times 300\text{kg/m}^3}{30,000 \text{ hab} \times 7 \text{ días/sem} \times 0.9}$$

$$P_{pc1} = 0.4\text{kg/hab/día (primer año)}$$

Se estima que la producción per cápita aumente en 1% anual; entonces para el segundo año y tercer año será :

$$P_{pc} = p_{pc1} + (1\%) = 0.4 \times (1.01)$$

$$P_{pc2} = 0.404 \text{ kg/hab día}$$

$$P_{pc3} = p_{pc2} + (1\%) = 0.404 \times (1.01)$$

$$P_{pc3} = 0.408$$

Y así sucesivamente se calcula la ppc para los demás años, columna 2.

### C. Cantidad de desechos sólidos

\* Producción diaria, se calcula a partir de la ecuación 5-3, columna 3.

$$D_{Sp} = Pob \times p_{pc} = 30,000 \text{ hab} \times 0.4 \text{ –Kgs/Hab/ día -}$$

$$D_{Sp} = 12,000 \text{ kg/día}$$

\* Producción anual, se calcula multiplicando la producción diaria de desechos sólidos por 365 días del año, columna 4

$$\text{DSp} \times \frac{365 \text{ días}}{\text{Año}} \times \frac{12,000\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ Ton}}{1,000 \text{ Kg}} = 4,380 \text{ Ton}$$

D. Volumen de desechos sólidos:

- Volumen anual compactado (a partir de la ecuación 5-5, columna 7), con una densidad de 450kg/m<sup>3</sup> debido a la operación manual.

$$V(\text{anual comp.}) = \frac{\text{DSp}}{\text{Drsm}} \times 365 = \frac{12,000\text{kg/día}}{450\text{kg/m}^3} \times 365 \text{ días/año} = 9,733 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Volumen anual estabilizado (a partir de la ecuación 5-5 columna 8), con una densidad estimada de 600 kg/m<sup>3</sup> para el cálculo del volumen del relleno.

$$V(\text{anual comp.}) = \frac{\text{DSp}}{\text{Drsm}} \times 365 = \frac{12,000\text{kg/día}}{600 \text{ kg/m}^3} \times 365 \text{ días/año} = 7,300 \text{ m}^3/\text{año}$$

\* Volumen del relleno sanitario

El volumen del relleno sanitario está conformado por los desechos sólidos y el material de cobertura. En este caso se estima un 20 % del volumen de basura, ecuación 5.6, columna 9 así:

$$V_{Rs} = V_{\text{anual}} \times MC = 7,300 \text{ M}^3/\text{año} \times 1.20 = 8,760 \text{ m}^3/\text{año}$$

Es de notar que la columna 10 presenta el volumen del relleno acumulado anualmente, permitiendo identificar la vida útil del relleno al compararla con la capacidad volumétrica del sitio.

E. Cálculo del área requerida:

\* Cálculo del área a rellenar, a partir de la ecuación 5-8, si se asume una profundidad promedio de seis metros, las necesidades del área serán:

$$\begin{array}{ll} \text{El primer año} & \\ V_{RS} & 8,760 \text{ m}^3/\text{año} \end{array}$$

$$ARS = \frac{\text{H RS}}{6m} = \frac{\text{-----}}{6m} = 1,460m^2 (0.146 \text{ ha})$$

El quinto año

$$ARS = \frac{47,090m^3}{6m} = 7,848 m^2 (0.78 \text{ ha})$$

En la columna 11, se podrá observar el área necesaria para dos, tres o más años, si se trabaja a partir de los datos acumulados en la columna 10

\* Cálculo del área total, teniendo en cuenta un factor de aumento para las áreas adicionales, columna 12. En este caso se asume un 30 %, es decir:

Para el primer año

$$At\text{-----}1.3 \times 1460 m^2\text{-----} 1898 m^2$$

Para 5 años.

$$At\text{-----}1.3 \times 7848 m^2\text{-----} 10203 m^2$$

Ejemplo 3 Cálculo del volumen de una zanja.

En un municipio se dispone un terreno plano para construir un relleno sanitario manual por el método de zanjas. Para abrir las zanjas se pagará el alquiler de una retroexcavadora que tiene un rendimiento de 14 m<sup>3</sup>/ hora de corte

Cual es volumen de la zanja y sus dimensiones para 60 días de duración?

Por cuantos días debe alquilarse la maquinaria?

Información básica:

|                                      |                     |
|--------------------------------------|---------------------|
| Población a servir                   | 30,000 habitantes   |
| Ppc                                  | 0.4 Kg/hab/día      |
| Cobertura de servicio de recolección | 90% de la población |

SOLUCIÓN:

Cantidad de desechos sólidos producidos

$$DSp = Pob \times ppc = 30,000 \text{ hab} \times 0.4 \text{ kgs/ Hab/día} = 12,000 \text{ kg/día}$$

-----

Cantidad de DS recolectados  
12,000 kg

$$DSr = DSp \times cob = \frac{\text{-----}}{\text{Día}} \times 0.90 = 10800 \text{Kgs./día}$$

Volumen de la zanja

Si se estima en un 20 % de cobertura, una vida útil de 60 días y una densidad de 500 kg/m<sup>3</sup>, entonces:

$$Vz = \frac{T \times DSr \times MC}{Drsm} = \frac{60 \text{ días} \times 10,800 \text{kg/día} \times 1.2}{500 \text{ kg /m}^3} = 1,555 \text{ m}^3$$

Es decir, para depositar los desechos sólidos de un día, se requerirá excavar  $1555/60 = 26 \text{m}^3$

Dimensiones de la zanja

hz = profundidad = 3m    a = ancho = 6m    l = largo

$$l = \frac{Vz}{hz \times a} = \frac{1,555}{3 \times 6} = 86.4 \text{ m}$$

Por lo tanto:

H<sub>z</sub> = 3m    a = 6m    l = 86 m

Tiempo de maquinaria

$$T_{exc} = \frac{Vz}{R \times J} = \frac{1,555 \text{ m}^3}{14 \text{m}^3/\text{hora} \times 8 \text{ horas/día}} = 13.9 = 14 \text{ días}$$

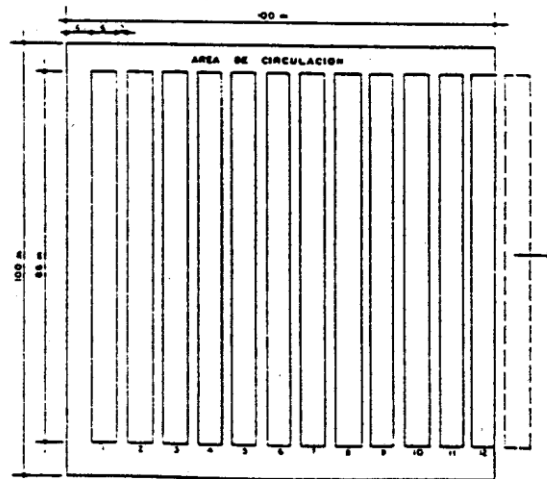
Lo anterior significa que para tener completamente lista la zanja, se debe disponer de 14 días para excavación. Sin embargo, conviene anotar que por lo menos cinco días antes de que se llene una zanja, se debe llevar el equipo para abrir una nueva, y mantener una buena programación de la máquina, para disponer correctamente la basura.

#### EJEMPLO 4: Cálculo de la Vida Útil de un Terreno.

Supóngase un sitio plano de 2.3 ha. Se desea saber cuánto puede durar el terreno si se usan zanjas como las calculadas anteriormente de 86 m de largo.

SOLUCIÓN:

Se reservan para obras complementarias 0.3 ha, quedando 2 para rellenar y se separan las zanjas cada 2.00m, entonces:



Como cada zanja ocupa 6 metros, más 2m de separación entre ellas, es decir 8m en total, el número de zanjas en una hectárea será de :

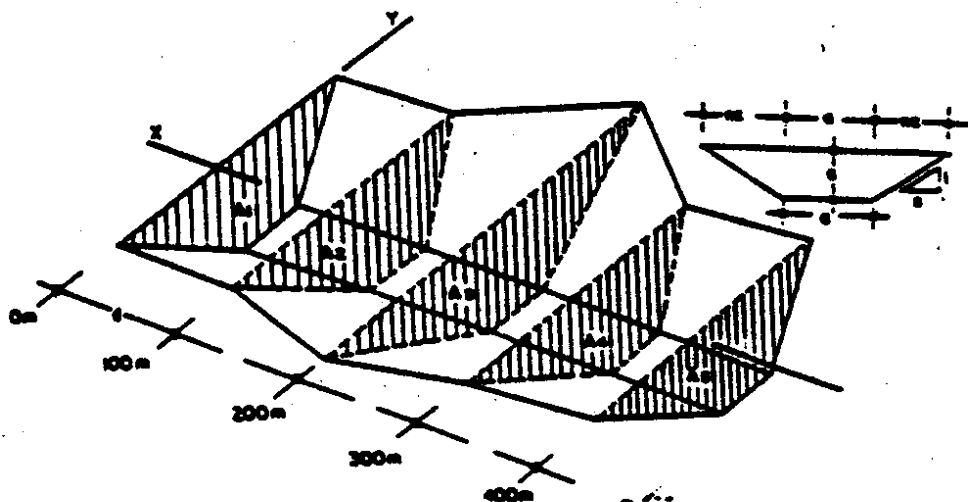
$$\text{Número de zanjas} = 100/8 = 12.5 \text{ ó } 12$$

Si cada zanja alcanza para dos meses, las 12 zanjas durarán 2 años, debiendo medir en total el terreno, 2.5 ha para tener la vida útil de cinco años que requiere.

Ahora bien, el método de zanja se puede combinar con el método de área, o sea elevar el relleno unos metros por encima de la superficie original, utilizándose el material sobrante de la excavación (80% en el caso del ejemplo), para aprovechar mejor el terreno.

#### EJEMPLO5: Ejemplo de Cálculo de Volúmenes para Métodos de Área

Supóngase un proyecto de relleno sanitario manual en un tramo de carretera abandonada cuyos cortes son similares a los mostrados en la figura siguiente, y que se han tomado niveles en ejes transversales a intervalos de 100m, con una altura promedio de 8m



El relleno tendrá un ancho "a" de 6m en el fondo, una pendiente variable en cada tramo, y los siguientes datos:

|                                      |     |     |     |     |     |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Abscisa (m)                          | 0   | 100 | 200 | 300 | 400 |
| Sección transversal(m <sup>2</sup> ) | A1  | A2  | A3  | A4  | A5  |
| Pendiente (n)                        | 1:2 | 1:1 | 1:3 | 1:1 | 1:2 |
| Altura del eje c promedio            | 8 m |     |     |     |     |

La base mayor del trapecio será:

Ancho de la superficie del relleno =  $(a+nc+nc)$  metros

En cada abscisa  $(a=6)$  =  $[6+2(nc)]$  metros

Por lo tanto el área de la sección en cada abscisa (trapecio) será:

|           |     |                                               |    |
|-----------|-----|-----------------------------------------------|----|
| Área en . | 0   | = $(6+2 \times 8) \times 8 = 176 \text{ m}^2$ | A1 |
|           | 100 | = $(6+1 \times 8) \times 8 = 112 \text{ m}^2$ | A2 |
|           | 200 | = $(6+3 \times 8) \times 8 = 240 \text{ m}^2$ | A3 |
|           | 300 | = $(6+1 \times 8) \times 8 = 112 \text{ m}^2$ | A4 |
|           | 400 | = $(6+2 \times 8) \times 8 = 176 \text{ m}^2$ | A5 |

Aplicando la regla de Simpson (fórmula) [5-14]

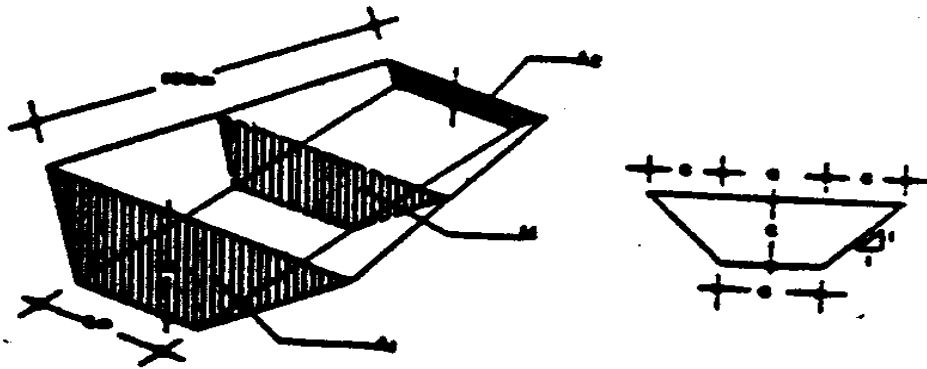
$$\text{Volumen} = \frac{100}{3} [176 + 176 + 2(240) + 4(112 + 112)] = 57,600 \text{ m}^3$$

#### EJEMPLO 6: Cálculo del volumen por la regla del prismoide

En la figura se muestra un proyecto de relleno sanitario manual en un zanjón del que se conocen los siguientes datos:

- i. longitud del zanjón 100m
- ii. ancho de la base inferior 6m
- iii. profundidad inicial 8m
- iv. profundidad final 5m
- v. taludes 1:1

Calcular el volumen del relleno por medio de la fórmula del prismoide



SOLUCIÓN:

i. Sección A1:

$$\begin{aligned}
 \text{ancho de la base} &= 6 \text{ m} \\
 \text{ancho total} &= (6+2c) \text{ m} \\
 \text{profundidad en el eje "c"} &= 8 \text{ m} \\
 \text{Por tanto, ancho total} &= (6+16)\text{m} = 22 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ii. Sección A2:

$$\begin{aligned}
 \text{ancho de la base} &= 6 \text{ m} \\
 \text{ancho total} &= (6+2c)\text{m} \\
 \text{profundidad del eje "c"} &= 5 \text{ m} \\
 \text{Por tanto, ancho total} &= (6+10)\text{m} = 16 \text{ m}
 \end{aligned}$$

iii. Sección media "M":

$$\begin{aligned}
 \text{ancho de la base} &= 6 \text{ m} \\
 \text{ancho total} &= (6+2c) \text{ m} \\
 \text{profundidad del eje "c"} &= \text{promedio de profundidad} \\
 &\quad \text{A1 y A2} \\
 &= \frac{1}{2} (8+5) \text{ m} \\
 &= 6.5 \text{ m} \\
 \\ 
 \text{Por tanto, ancho total} &= 6+13 \text{ m} \\
 &= 19 \text{ m} = \text{promedio de los anchos en A1 y A2}
 \end{aligned}$$

iv. Área de las secciones y trapecios

$$A1 = \frac{1}{2} (6 + 22) \times 8 = 112 \text{ m}^2$$

$$A2 = \frac{1}{2} (6 + 16) \times 5 = 55 \text{ m}^2$$

$$M = \frac{1}{2} (6 + 19) \times 6.5 = 81.25 \text{ m}^2$$

$$v. \text{ Volumen} = \frac{100}{6} [112 + 55 + 4(81.25)] = 8,200 \text{ m}^3$$

EJEMPLO 7 Volumen a partir de las áreas externas. Partiendo de los datos del ejemplo anterior se tiene:

$$A1 = 112 \text{ m}^2, A2 = 55 \text{ m}^2, d = 100 \text{ m}$$

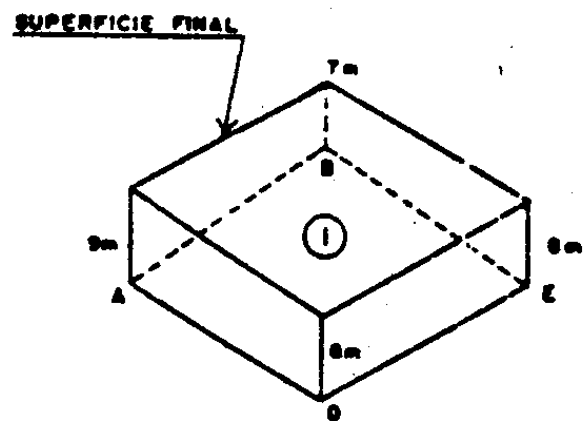
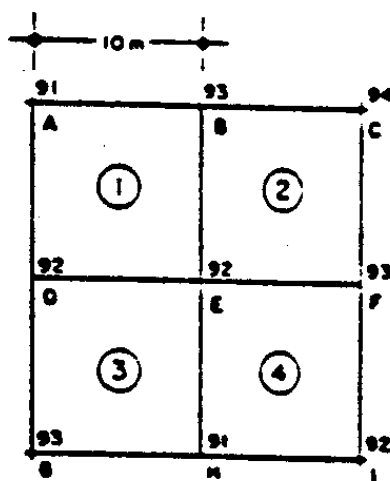
Entonces el volumen será:

$$\text{Volumen} = \frac{(112 + 55)}{2} \times 100 \text{ (m}^3\text{)} = 8,350 \text{ m}^3 \text{ Se observa que el resultado es aproximado}$$

EJEMPLO 8 Volumen a partir de una retícula.

En la figura se muestra una pequeña parte de una retícula. El área debe rellenarse hasta la cota 100.0 m para obtener la superficie final, los taludes se consideran verticales.

El sólido con base en cada cuadro de la red es un prisma vertical truncado. Esto es, un prisma cuyas bases no son paralelas.



Volumen de cada prisma = altura promedio x área de la base

La altura promedio de cada prisma truncado por debajo de la cota 100.0 m es de:

$$\text{Prisma} = (9 + 7 + 8 + 8) \text{ entre } 4 = 8 \text{ m}$$

$$\text{Prisma} = (7 + 6 + 8 + 7) \text{ entre } 4 = 7 \text{ m}$$

$$\text{Prisma} = (8 + 8 + 7 + 9) \text{ entre } 4 = 8 \text{ m}$$

$$\text{Prisma} = (8 + 7 + 9 + 8) \text{ entre } 4 = 8 \text{ m}$$

$$\text{Área de la base de cada prisma truncado} = 10 \times 10 = 100\text{m}^2$$

Por tanto :

$$\text{Volumen de } 1 = 100 \times 8 = 800\text{M}^3$$

$$2 = 100 \times 7 = 700\text{M}^3$$

$$3 = 100 \times 8 = 800\text{M}^3$$

$$4 = 100 \times 8 = \underline{800\text{M}^3}$$

$$\text{Volumen total disponible } 3,100 \text{ m}^3$$

También puede hallarse el volumen así:

$$\text{Volumen} = \text{altura promedio de relleno} \times \text{área total}$$

La altura del promedio de relleno es el promedio de las alturas promedio de los prismas y no la media de las alturas en los puntos de nivel.

$$\text{Altura promedio de relleno} = (8 + 7 + 8 + 8) \text{ entre } 4 = 7.75 \text{ m}$$

$$\text{Área total} = 20 \times 20 = 400\text{m}^2$$

$$\text{Donde : Volumen total} = 7.75 \times 400 = 3,100 \text{ m}^3$$

Al observar en detalle este proceso, se ve que el nivel en A se usó sólo una vez para hallar la altura promedio de relleno, el nivel B dos veces y el E cuatro veces en total. En consecuencia , la altura promedio y de ahí el volumen pueden hallarse en forma más sencilla tabulando las operaciones como en la tabla 1.2.

Las alturas en los puntos de nivel se tabulan en la columna 2 y el número de veces que se usan son tabulados en 3; la columna 5 son los productos de los números de la columna 2 y 3; la altura media se halla dividiendo la suma de la columna 4 por la de la columna 3.

Tabla 1.2

| Punto de la Red | Altura hasta el nivel del Proy | Número de veces que se usa | Producto |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------|----------|
| A               | 9                              | 1                          | 9        |
| B               | 7                              | 2                          | 14       |
| C               | 6                              | 1                          | 6        |
| D               | 8                              | 2                          | 16       |
| E               | 8                              | 4                          | 32       |
| F               | 7                              | 2                          | 14       |
| G               | 7                              | 1                          | 7        |
| H               | 9                              | 2                          | 18       |
| I               | 8                              | 1                          | 8        |
|                 | SUMA                           | 16                         | 124      |

Altura media del relleno =  $124 / 16 \text{ m} = 7.75 \text{ m}$  como antes.

#### EJEMPLO 9: Volumen a partir de las curvas en nivel

Si tomamos el volumen comprendido entre las curvas de 105 m y 115m, cuyas áreas se encuentran en cualquiera de los métodos descritos en el Anexo II, la selección media será la encerrada por la curva de los 110 m, cuya área se halla también por cualquier método y el volumen del prismoide será:

$$\text{Volumen} = \frac{2h}{6} [A_1 + 4A_2 + A_3]$$

Análogamente, el volumen entre las curvas de los 115m y los 125m será:

$$\text{Volumen} = \frac{2h}{6} [A_3 + 4A_4 + A_5]$$

1. Bajo del nivel del terreno después de la preparación inicial y la topografía final del relleno, asegurando la pendiente de la superficie (2% - 5%) para facilitar el drenaje del agua de lluvia.
2. Se traza un eje horizontal en el punto que sea conveniente y luego se corta el terreno con los planos horizontales A1, A2, A3... y Han teniendo una altura h entre ellos. Para estimaciones rápidas se recomienda 3,5,10 ó 20m, de acuerdo con el tamaño de la depresión y 1 metro para la estimación definitiva.
3. Se calculan las área A1,A2,A3... y Han usando los mapas de topografía inicial, final y los avances parciales del relleno.
4. Se calcula la capacidad volumétrica del sitio , usando las ecuaciones 5-16, 5-17 ó 5-18, tomando las áreas calculadas en el punto 4.

## EJEMPLO 10 Cálculo y diseño de las celdas diarias

Para la misma población de 30,000 habitantes, con una producción de 12 toneladas por día y una cobertura de 90%, calcular y diseñar la celda diaria en el relleno sanitario manual, si éste operara seis días a la semana.

SOLUCIÓN:

A. La cantidad de basura en el relleno sanitario manual es:

$$DSrs = DSp \times \frac{7}{x} = 12,000 \text{ Kg/día} \times \frac{7}{6} = 14,000 \text{ kg/día laboral}$$

Sin embargo, como se sabe, sólo el 90% de los desechos sólidos llegarán al relleno realmente, entonces:

$$DSxRS = 14,000 \frac{\text{Kg}}{\text{Día lab.}} \times 0.90 = 12,600 \frac{\text{Kg}}{\text{Día lab.}}$$

B.- Volumen de la celda por medio de la ecuación 5-23, el material de cobertura se estima en un 20% del volumen de la basura recién compactada, es decir, con una densidad de 450 Kg/m<sup>3</sup> en este caso.

$$Vc = \frac{DS'rs}{Drsm} \times MC = \frac{12,600 \text{ kg/día}}{450 \text{ kg/día}} \times 1.20 = 33.6 \text{ m}^3 / \text{día laboral}$$

C. Dimensiones de la celda

Área, teniendo en cuenta que la altura se está limitando a un metro se tiene:

$$Ac = \frac{Vc}{hc} = \frac{33.6 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} = 33.6 \text{ m}^2 / \text{día laboral}$$

Largo o avance de la celda estará sujeto a las variaciones normales del ingreso de la basura, mientras el ancho en este caso se podrá mantener en 3 metros, es decir:

$$l = \frac{Ac}{A} = \frac{33.6 \text{ m}^2}{3 \text{ m}} = 11.2 \text{ m/día}$$

Por lo tanto:

$$l = 11.2 \text{ m}, a = 3 \text{ m}, hc = 1.0 \text{ m}$$

También se puede escoger una sección cuadrada:

$$l = 5.8 \text{ m}, a = 5.8 \text{ m}, h_c = 1.0 \text{ m}$$

#### EJEMPLO 11: Cálculo de la mano de obra

Para los 12,600 Kg/día, en cada uno de los 6 días en los que se opera el relleno sanitario, con una jornada de 8 horas y considerando 6 horas efectivas de trabajo por día, ¿cuál será el personal requerido, asumiendo los rendimientos propuestos en el Capítulo 5?

SOLUCION:

Celda diaria = volumen de desechos sólidos + material de cobertura (20%)

$$\text{Volumen de DS} = \frac{12,600 \text{ kg/día}}{450 \text{ Kg/m}} = 28 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Volumen de tierra} = \frac{28 \text{ m}^3}{\text{Día}} \times 0.20 = 5.6 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de la celda diaria} &= (28 + 5.6) \text{ m}^3/\text{DIA} \\ &= 33.6 \text{ m}^3/\text{día} \quad (h_c = 1.0 \text{ m}) \end{aligned}$$

Ahora de acuerdo con las distintas operaciones y rendimientos se tiene:

| OPERACIÓN                | RENDIMIENTO                                                                                       | HOMBRE/DIA      |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Movimientos de desechos  | $\frac{12.6 \text{ ton/día}}{0.95 \text{ ton/hr-hom}} \times \frac{1}{6 \text{ h}}$               | 2.21            |
| Compactación de desechos | $\frac{33.6 \text{ m}^3}{20 \text{ m}^2/\text{hr-hom}} \times \frac{1}{6 \text{ hrs.}}$           | 0.28            |
| Movimiento de tierra     | $\frac{5.6 \text{ m}^3}{0.37 \text{ m}^3/\text{hr-hom}} \times \frac{1}{6 \text{ hrs}}$           | 2.52            |
| Compactación de la celda | $\frac{33.6 \text{ m}^2}{(20 \text{ m}^2/\text{hr} - \text{hom})} \times \frac{1}{6 \text{ hrs}}$ | 0.28            |
|                          | (TOTAL HOMBRES)                                                                                   | 5.29            |
| RELLENO SANITARIO        | 12.6 Ton/día 5 hombres                                                                            | 2.5 ton/hom-día |

Lo anterior significa que este relleno sanitario podrá ser operado con un total de cinco hombres aproximadamente (equivalente a un rendimiento de 2.5 ton / hombre-día. Como se anotó el número de hombres dependerá de cuán cerca al frente de trabajo se descarguen las basuras y el material de cobertura, de las condiciones del clima (lluvias) y por supuesto de las variaciones de la cantidad de desechos recibidos en el relleno fundamentalmente.

Vale la pena recordar que la supervisión juega un papel de primera línea, tanto en la buena marcha del relleno sanitario como en el rendimiento de los trabajadores.

## EJEMPLO 12. Cálculo de costos

Se desea conocer cuáles serán los costos de inversión, operación y mantenimiento de un relleno sanitario manual y establecer además el costo de una tarifa a los usuarios. El RS recibirá 12 ton de basura al día, de lunes a sábado, en un terreno que se estima con una vida útil de 9 años. Se tiene la siguiente información para el análisis:

### 1. Costo de inversión (\$)

|                                                     |                 |
|-----------------------------------------------------|-----------------|
| . Estudios y diseños (con apoyo de entidad asesora) | 4,000.00        |
| . Adquisición del terreno                           | 8,000.00        |
| . Preparación del terreno y obras complementarias   | <u>7,000.00</u> |
| TOTAL COSTO DE INVERSIÓN                            | \$ 19,000.00    |

### 2. Gastos DE operación y mantenimiento

#### . Mano de obra

Se ha determinado que se requieren 4 trabajadores, cuyo salario es de \$ 90.00 mensuales cada uno, con un factor de prestaciones de 1.6 y el 20% del salario de un supervisor con \$ 150/mes

#### Otros gastos operativos

Materiales(piedra para drenes, alambres, herramientas) \$ 300/año

Alquiler de tractor de oruga (excavaciones y adecuación de vías internas), 20 horas, 2 veces al año a razón de \$20/hrs

## SOLUCIÓN AL PROBLEMA

1. Calcular el costo unitario de recuperación del capital (Cu) para un período de 9 años y un interés de 20 % anual.

Con las fórmulas 5-30 y 5-31

$$C_c = C_1 \frac{i}{1 - (1 - i)^n} = C_1$$

$$C_c = 19,000 \times 0.248079 = 4,713.5 \text{ $/año}$$

$$\text{El rendimiento anual será: } R = 313 \frac{\text{Días}}{\text{Año}} \times 12 \frac{\text{ton}}{\text{día}} = 3,756 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Luego:

$$(\text{Cu}) = \frac{\text{Monto anual de recuperación de capital } 4,713.5 \text{ \$/año}}{\text{toneladas dispuestas por año } 3,756 \text{ Ton/año}} = 1.25 \text{ \$/año}$$

## 2. Cálculo del costo unitario de operación y mantenimiento (Cuo)

### 2.1 Costo de mano de obra (5-32)

$$\text{Directa} = 4 \times 12 \times 90 \times 1.6 = 6,912 \text{ \$/año}$$

$$\text{Indirecta} = (1 \times 12 \times 150 \times 1.6) \times 0.2 = 576 \text{ \$/año}$$

$$\text{Subtotal mano de obra} = 7,488 \text{ \$/año}$$

### 2.2 Otras gastos operativos (Ch + Cm)

$$\text{Materiales y herramienta} = 310 \text{ \$/año}$$

$$\text{Alquiler equipo} = (20 \times 20) \times 2 = \underline{800 \text{ \$/año}}$$

$$\text{Subtotal de otros gastos operativos} = 1,100 \text{ \$/año}$$

TOTAL DE GASTOS DE OPERACIÓN  
Y MANTENIMIENTO.

---


$$8,588 \text{ \$/año}$$

CUO----Total de gastos de operación y mantenimiento  
Toneladas dispuestas por año

$$\frac{8,588 \text{ \$/año}}{3,756 \text{ ton/año}} = 2.29 \text{ \$/ton}$$

El costo unitario total será:  $\text{Cut} = 1.25 + 2.29 = \$3.54 \text{ por Ton}$

## 3. Cálculo de la tarifa

### 3.1 Tarifa con recuperación del capital más los costos de operación y mantenimiento.

Costo de prestar el servicio, cuando se recibe un préstamo y el servicio de la deuda se debe pagar a través de tarifas.

. Costo unitario recuperación de capital por Ton = 1.25 \$/Ton

. Costo unitario operación y mantenimiento = 2.29 \$/Ton

TOTAL DE RECUPERACIÓN = 3.54\$/Ton

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Cantidad de basura} & \text{ton} & \text{días} \\
 \text{Recogida por mes} & = 12 \text{ ----} \times 26 \text{ ----} & = 312 \text{ ----} \\
 & \text{día} & \text{mes} \\
 \text{Costo mensual por} & \text{ton} & \$ \\
 \text{Disposición final} & = 312 \text{ ----} \times 3.5 \text{ ----} & = 1,104.5 \text{ ----} \\
 & \text{Mes} & \text{ton}
 \end{array}$$

Ahora si cada vivienda usuaria tiene cinco personas que producen cada una 0.5 kg/día de basura, teniendo en cuenta que se recogen 12 ton/día, durante 6 días a la semana, la producción diaria de basura es como sigue:

$$\begin{array}{rcl}
 & \text{Kg} & 6 \\
 \text{Producción diaria de basura} & = 12,000 \times \text{----} \times \text{---} & = 10,250 \text{ kg/día} \\
 & \text{Día} & 7
 \end{array}$$

Entonces el número de usuarios es igual a :

$$\begin{array}{rcl}
 & 10,250 \text{ kg/día} & \\
 \text{N° de usuario} & = \text{-----} & = 4,100 \text{ viviendas(usuarios)} \\
 & \text{Kg} & \text{hab} \\
 & 0.5 \text{ ----} \times 5 \text{ ----} & \\
 & \text{hab/día} & \text{viv.}
 \end{array}$$

La tarifa mensual 1104.5 \$/mes/4100 usuarios----- 0.269 \$/usuarios/mes

### 3.2 Tarifa con base en los costos de operación y mantenimiento.

Costos de prestar el servicio cuando no se incluye el servicio de la deuda en la tarifa ( únicamente se consideran los costos de operación y mantenimiento)

Costo unitario de operación y mantenimiento 2.29\$/ton.

$$\begin{array}{rcl}
 & \text{Ton.} & \$ \\
 \text{Por disposición final} & = 312 \text{ ----} \times 2.29 \text{ ----} & = 714.5 \text{ $/mes} \\
 & \text{Mes} & \text{ton}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{Tarifa mensual} & 714.5 \text{ \$/mes} & \\ \text{por usuario} & = \frac{\quad}{4,100 \text{ usuarios}} = 0.174 \text{ \$/usuario / mes} \end{array}$$

#### 4. Asignación presupuestal anual del municipio

La administración municipal debe anualmente asignar del presupuesto una partida equivalente a:

$$\begin{array}{lcl} \text{.Monto anual para pago de deuda} & = & 4,713 \text{ \$/año} \\ \text{.Costo de operación y mantenimiento} & = & 8,588 \text{ \$/año} \\ \text{TOTAL ASIGNACIÓN ANUAL} & & 13,301 \text{ \$/año} \end{array}$$

### ANEXO II

#### 1. Dibujo a Escala

Es una relación de medidas que consiste en representar los objetos reales con sus proyecciones exactas, en tamaños adecuados para facilitar el trabajo de los proyectistas y los constructores.

Podemos definir como dibujo a escala, la representación exacta de algo en tamaño reducido. El establecimiento de las medidas proporcionales que representan los objetos naturales en escalas adecuadas, o la representación del sistema escogido para las escalas de un plano, se llevan a cabo con las siguientes nomenclaturas:

|                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| 1:1 (uno en uno)          | 1:50 (uno en cincuenta)   |
| 1:2 (uno en dos)          | 1:100 (uno en cien)       |
| 1:5 (uno en cinco)        | 1:200 (uno en doscientos) |
| 1:25 (uno en veinticinco) | 1:1000 (uno en mil)       |

El primer número representa la unidad y el segundo las veces en que ésta se ha dividido, para generar dimensiones proporcionales más pequeñas.

Ejemplo:

Escala 1:20

Cada metro en el campo es = a  $1/20 = 0.05 \text{ m} = 5\text{cm}$  en el plano

Escala 1:50

Cada metro en el campo es = a  $1/50 = 0.02 \text{ m} = 2\text{cm}$  en el plano

Escala 1:100

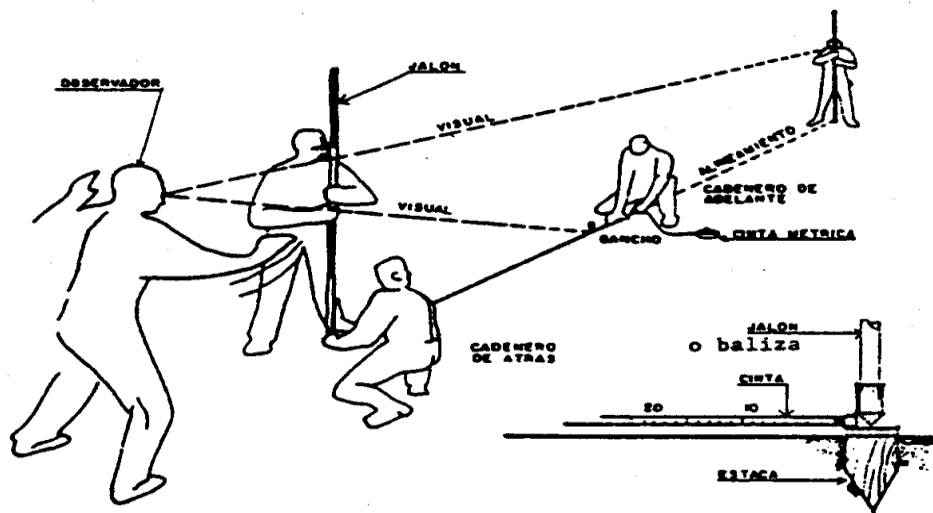
Cada metro en el campo es = a  $1/100 = 0.01 \text{ m} = 1\text{cm}$  en el plano

## 2. TRAZO Y MEDICIÓN DE ALINEAMIENTOS

. Se colocan las estacas en los extremos de la línea por medir y sobre ellas se colocan jalones o balizas.

. Se coloca el observador detrás de las uno de los jalones o balizas a 4 metros aproximadamente, de modo que vea ambos jalones confundidos en uno solo.

. Luego dos personas (cadeneros) llevarán los extremos de la cinta; el de atrás colocará el principio de ella en la base del primer jalón y el de adelante estirará la cinta a lo largo del alineamiento fijado por los dos jalones, siguiendo las indicaciones del observador colocado atrás del primer jalón; el de adelante llevará varios ganchos de alambre que ira colocando al final de cada cintada de manera que, al hacer la siguiente medición, el de atrás coloque el extremo que lleva en el gancho que dejó el de adelante.



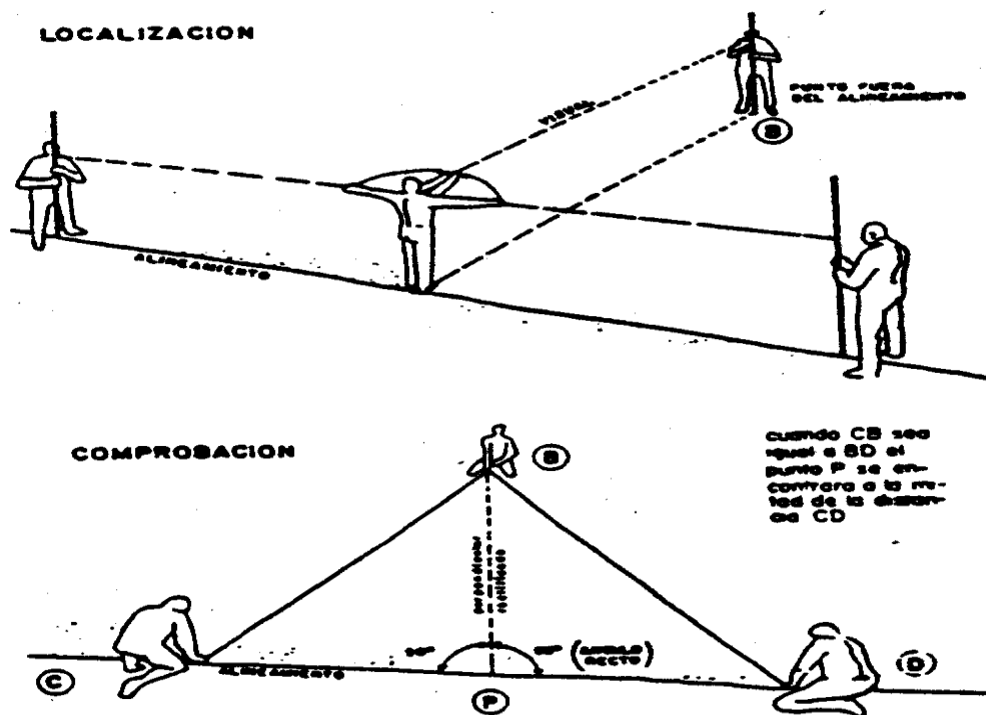
**FIGURA II.1**  
**Alineamiento**

Esta operación se repetirá las veces que sea necesario hasta llegar al otro extremo.

## 3. Trazo de una perpendicular desde un punto fuera del alineamiento

Se coloca una persona en el alineamiento mirando hacia el punto que se desea trazar la perpendicular con los brazos extendidos, procurando que éstos apunten a cada extremo del alineamiento; en seguida cierra los brazos extendiéndolos hacia el frente, debiendo quedar el punto mencionado en la dirección que esta posición apunten los brazos.

Si se cuenta con una escuadra de agrimensor (figura II.2) simplemente se observa por las ranuras.



**FIGURA II.2**  
**Trazo de una perpendicular**

4. Calcular el área.

El área de cualquier figura que se haya levantado puede calcularse a partir de :

- . Las anotaciones de campo
- . El plano dibujado

4.1 Área reducidas de las notas de campo

#### Levantamiento con cinta métrica

En un levantamiento con cinta métrica, el área se subdivide en triángulos cuyos tres lados se miden y el área de cada uno se encuentra por la fórmula:

$$\text{Área} = \text{raíz cuadrada de } s(s-a)(s-b)(s-c)$$

Donde:

S = semiperímetro, es decir:

$$S = \frac{A + b + c}{2} \quad a, b, c, = \text{lados del triángulo}$$



Área del triángulo (1) =  $7 \times 19 \times 4 = 38.0$   
 Área del trapecio (2) =  $\frac{1}{2} (4+8) \times (38 - 19) = 114.0$   
 Área del trapecio (3) =  $\frac{1}{2} (8+4.5) \times (55 - 38) = 106.25$   
 Área del rectángulo (4) =  $4.5 \times (72 - 55) = 76.5$   
 Área del trapecio (5) =  $\frac{1}{2} (4.5+7) \times (87 - 72) = 86.25$   
 Área del triángulo (6) =  $\frac{1}{2} (104.6 - 87) \times 7 = \underline{61.6}$   
482.6 m<sup>2</sup>

El área entre la línea PQ y el camino está también formada por triángulos y trapecios, Sin embargo, en este caso, los desvíos están a intervalos regulares de 10 metros

Llamado Y a cada desvío, el área entre dos desvíos consecutivos cualquiera se calcula así:

$$\text{Área entre abscisa 20 y abscisa 30} = \frac{1}{2} (Y_{20} * Y_{30}) \times 10$$

Por tanto:

$$\begin{aligned} \text{Área total} &= \frac{1}{2}(Y_0+Y_{10}) \times 10 + \frac{1}{2}(Y_{10} + Y_{20}) \times 10 \\ &+ \frac{1}{2}(Y_0+Y_{10}) \times 10 \dots + \frac{1}{2}(Y_{50} + Y_{60}) \times 10 \\ &= \frac{1}{2} \times 10(Y_0 + Y_{10} + Y_{10} + Y_{20} + Y_{20} + Y_{30} + \dots Y_{50} + Y_{60}) \\ &= \frac{1}{2} \times 10(Y_0 + Y_{60} + 2Y_{10} + 2Y_{20} + 2Y_{30} + 2Y_{40} + 2Y_{50}) \\ &= 10 \left( \frac{Y_0 + Y_{60}}{2} + Y_{10} + Y_{20} + Y_{30} + Y_{40} + Y_{50} \right) \end{aligned}$$

Esta es la regla de los trapecios que se enuncia generalmente así:

$$\text{Área} = \text{ancho de la banda} \times (\text{promedio del primero y último desvío} + \text{suma de los demás})$$

d. En la figura II.3 el área es como sigue:

$$\text{Área} = 10 \left( \frac{4 + 4}{2} + 4.5 + 5.1 + 6.5 + 6.3 + 5.1 \right) = 315.0 \text{ m}^2$$

El área puede hallarse con un poco más de precisión con la regla de Simpson, que puede enunciarse así:

$$\text{Área} = \frac{1}{3} \text{ del ancho de las bandas} (\text{primero} + \text{último desvío} + \text{doble de la suma de los desvíos impares} + \text{cuádruplo de la suma de los desvíos pares}).$$

Nota: (i) debe haber un número IMPAR de los desvíos

(ii) Los desvíos deben ser intervalos regulares.

Usando la regla de Simpson, el área entre la línea PQ y el camino será:

$$\begin{aligned} \text{Área} &= \frac{10}{3} [Y_0 + Y_{60} + 2(Y_{20} + Y_{40}) + 4(Y_{10} + Y_{30} + Y_{50})] \\ &= \frac{10}{3} [4 + 4 + 2(5.1 + 6.3) + 4(4.5 + 6.5 + 5.1)] \end{aligned}$$

$$= \frac{10}{3} [8 + 2(11.4) + 4(16.1)] = 317.3 \text{ m}^2$$

- e. Por último se calcula el área entre el alineamiento RP y el bosque. El área se debe calcular por la regla de los trapecios, porque hay un número par de desvíos entre R y P a intervalos regulares de 10 metros

El área entre las abscisas 70m y 74m se calcula por separado, El área entre RP y el bosque será:

$$\text{Área } 10 \left( \frac{3+2.5}{2} + 8 + 10 + 9.5 + 9.2 + 7.1 + 4.5 \right) = 510.5 + 5.0 = 515.5 \text{ m}^2$$

Área total de levantamiento

$$= 2,009.3 + 482.6 + 317.3 + 515.5 = 3,324.7 \text{ m}^2$$

#### 4.2 Cálculo del área a partir del plano

Se dispone de diversos métodos para hallar el área de una figura dada en un plano. Las áreas de las curvas de nivel se pueden medir con un planímetro, gráficamente, por la regla de Simpson o la de los trapecios. A continuación se describen los últimos por considerarlos de muy fácil aplicación en estos casos.

##### . Mecánicamente con un planímetro

El área de cualquier figura irregular puede encontrarse en un plano utilizando el aparato mecánico para medir áreas conocido como el planímetro.

##### . Cálculo del área gráficamente

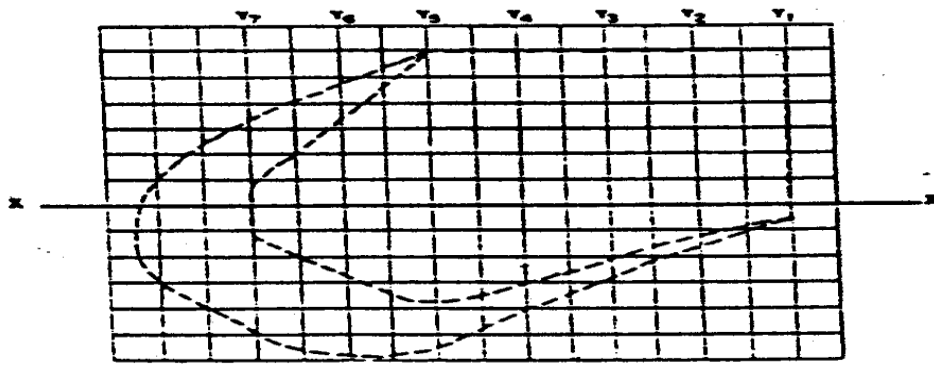
Se coloca un pliego del papel transparente cuadriculado o Milimetrado sobre el plano, se cuentan los cuadrados y se Deduce el área.

##### . Por la regla de Simpson o la de los trapecios

Se subdivide el área en un serie de bandas de igual ancho, se miden las ordenadas correspondientes y se usa una u otra regla.

Ejemplo 2 :

La figura II.4 muestra un área de forma irregular en un plano a escala 1:500. Calcular el área de la parte superior del relleno por los métodos gráficos y por las reglas de Simpson y de los trapecios.



**FIGURA II.4**  
**Cálculo del área por el método gráfico**

SOLUCION:

A. Método gráfico

El papel transparente cuadriculado superpuesto al plano tiene cuadrados de 5mm de largo y, por lo tanto, cada cuadrado representa un área en el terreno de  $(5 \times 500 \times 500) \text{ mm}^2 = 25 \times 0.25 \text{ m}^2 = 6.25 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} \text{Área} &= (6.25 \times \text{número de cuadrados}) \text{ m}^2 \\ &= 6.25 \times 89 \\ &= 556.25 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. Regla de Simpson y de los trapecios

Supongamos la recta marcada xx como la línea de base y cada segunda línea vertical del papel cuadriculado como una ordenada "Y" de las que habrá siete en total (Y1 a Y7). Las longitudes de estas ordenadas, leídas a escala son de 16 m, 18.3 m, 20 m, 22.5 m, 23.8 m, 15.3 m y 0 m, y su superación es de 5 m a lo largo de la línea de base.

Por la regla de Simpson:

$$\text{Área} = \frac{5}{3} [16 + 0 + 2(20 + 23.8) + 4(18.3 + 22.5 + 15.3)]$$

$$= 546.67 \text{ m}^2$$

Por la regla de los trapecios

$$\text{Área} = 5 \left( \frac{16 + 0}{2} \right) + 18.3 + 20 + 22.5 + 23.8 + 15.3 = 539.5 \text{ m}^2$$

## ANEXO III

### MONITOREO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS

Como resultado de los mecanismos de descomposición que ocurren en los desechos sólidos ya mencionados, se generan líquidos, gases y productos intermedios. Algunos son retenidos en los poros del terreno, mientras otros puedan ser arrastrados y/o solubilizados por los líquidos que atraviesan las capas de tierra y basura.

Parte del proyecto de un relleno sanitario es de tomar antes, durante su ejecución y una vez terminado, una serie de medidas relacionadas con la prevención de riesgos potenciales para la calidad del ambiente.

El relleno sanitario manual, aunque es una obra pequeña, dentro de lo posible debe contemplar entre los controles ambientales, por lo menos, el monitoreo de la calidad hídrica, de tal modo que el deterioro de las aguas subterráneas en el entorno pueda ser detectado tempranamente.

Dado que el tipo de desechos sólidos de estas pequeñas poblaciones es básicamente el origen doméstico con algunas excepciones es importante detectar aquí que las exigencias del relleno sanitario manual en cuanto a la impermeabilización de la base del terreno y paredes laterales son mínimas, si se cuenta con un suelo limo arcilloso, y el espesor por encima del nivel freático es mayor a 1 m, puesto que en estas condiciones se disminuye sensiblemente la posibilidad de que el percolado ingrese a las aguas subterráneas o superficiales conservando su poder contaminante.

En zonas de poca precipitación pluvial, es de esperar que el líquido percolado sea mínimo.

Los análisis de laboratorio de las muestras de agua subterráneas y superficies cercanas, se puede hacer en intensivos durante los primeros meses y menos frecuentes una vez se perciban valores constantes en los resultados.

Se debe considerar el análisis de los siguientes parámetros:

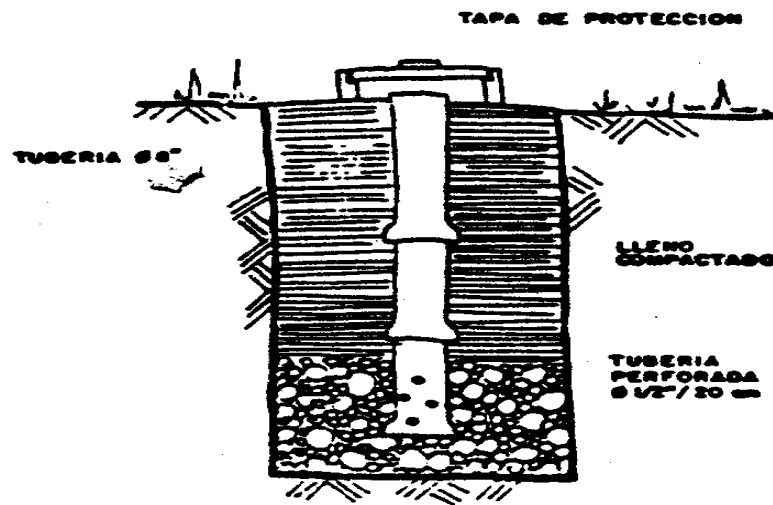
- Ph
- Demanda química de oxígeno (DQO), mg/l
- Demanda bioquímica de oxígeno (DQO), mg/l
- Nitrato, mg/l
- Cloruros, mg/l
- Sulfatos, mg/l
- Recuento total de colonias, colonias/ml
- Conductividad, humos/cm.

El líquido percolado también es objeto de análisis.

Para la toma de muestras del agua subterráneas, si los mantos freáticos son superficiales, se puede excavar los pozos manualmente. Dependiendo del tipo de suelos, se tomarán las medidas necesarias para evitar derrumbes durante el trabajo.

Los pozos deberán estar situados mínimo a 5 mts. Del área de relleno y del drenaje de líquido percolado. Una vez halado el nivel freático, se coloca el material granular en el fondo y tubería de 6 " de diámetro, para que permita el ingreso de un garrafón muestreados. Posteriormente, se descubre el resto del pozo con la misma tierra de la excavación.

En los sitios en que el nivel freático este a mas de 3 mts. Se recomienda localizar el pozo de agua en funcionamiento más cercano (aguas abajo) y hacer el monitoreo descrito en el.



**FIGURA III.1**  
**Pozo de monitoreo de aguas subterráneas**

