

PARAMETROS DE CONSTRUCCION PARA UN RELLENO SANITARIO

JOSE MARTIN TOBAR HERRERA

**UNIVERSIDAD DEL QUINDIO
FACULTAD DE INGENIERIA
TECNOLOGIA EN OBRAS CIVILES
BUGA
2008**

PARAMETROS DE CONSTRUCCION PARA UN RELLENO SANITARIO

JOSE MARTIN TOBAR HERRERA

Monografía para optar al título de Tecnólogo en Obras Civiles

**Director
JOSE DANIEL PINO TORRES
Ingeniero Sanitario**

**UNIVERSIDAD DEL QUINDIO
FACULTAD DE INGENIERIA
TECNOLOGIA EN OBRAS CIVILES
BUGA
2008**

INDICE

	Pag
INTRODUCCION	
1. RELLENO SANITARIO	1
1.1. DEFINICION	1
1.2 DIFERENCIA ENTRE UN BOTADERO A CILEO ABIERTO Y UN RELLENO SANITARIO	3
1.3 VENTAJAS DE UN RELLENO SANITARIO	4
1.4 DESVENTAJAS DE UN RELLENO SANITARIO	5
1.5 METODOS DE RELLENO SANITARIO	6
1.5.1 METODO DE TRINCHERA O ZANJA	6
1.5.2 METODO DE AREA	9
1.5.3 METODO DE RAMPA ESCALONADA	10
1.6 CLASIFICACION DE LOS RELLENOS SANITARIO	10
1.6.1 CLASIFICACION SEGÚN LA CLASE DE RESIDUO DEPOSITADO	10
1.6.2 CLASIFICACION SEGÚN LAS CARACTERISTICAS DEL TERRENO UTILIZADO	11
1.6.3 CLASIFICACION EN RELACION CON LA TECNOLOGIA UTILIZADA	11
2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SITIO PARA UN RELLENO SANITARIO	13
2.1 CRITERIOS EN LA LOCALIZACION DE AREAS PARA DISPOSICIÓN FINAL DE RSIDUOS SOLIDOS	36
2.2 PROHIBICIONES Y RESTRICCIONES EN LA LOCALIZACION DE ÁREAS PARA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS	43
2.3 ESTUDIOS Y CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO	45

3. OBRAS CIVILES REQUERIDAS PARA OPERAR UN RELLENO SANITARIO	50
3.1 LABORES DE PREPARACION DEL TERRENO	51
3.2 CELDAS DE ENTERRAMIENTO	53
3.3 RED DE DRENAJE PARA AGUAS SUPERFICIALES	54
3.4 IMPERMEABILIZACION DEL RELLENO	55
3.5 SISTEMA DE RECOLECCION DE LIXIVIADOS	62
3.6 SISTEMA DE DRENAJE DE GASES	72
3.7 TRAMA VIAL	78
3.8 OBRAS COMPLEMENTARIAS	80
4. PROCESO DE OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO	83
4.1 INGRESO DE RESIDUOS	
4.2 PROCESO OPERATIVO	83
4.3 CLAUSURA DEL RELLENO SANITARIO	90
4.4 POSTCLAUSURA O MANTENIMIENTO DE LARGO PLAZO	95
COMENTARIO FINAL POR PARTE DEL AUTOR MONOGRAFIA	
BIBLIOGRAFIA	96

INTRODUCCION

Las dificultades ocasionadas por la falta o inadecuado manejo de los residuos sólidos, no son un problema nuevo. Y siempre han causado enfermedades y muertes por proliferación de ratas y vectores perjudiciales a la salud humana.

A medida que la población y el desarrollo local aumentan, también aumentan los residuos sólidos, que si no son atendidos debidamente causan problemas de salud pública.

De allí surge la necesidad de encontrar una forma factible de recoger, almacenar, controlar y disponer de una manera adecuada las basuras.

El gobierno del presidente Álvaro Uribe ha exigido a los gobiernos municipales, el cierre de los basureros a cielo abierto y ordenado la inmediata adecuación de terrenos para organizar los rellenos sanitarios; así como lo manifestó el ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en la resolución 1045 de 2003 y en la resolución 1390 de Ministerio del ambiente del 27 de septiembre de 2005:

“ Lanzamos el Programa Colombia sin Botaderos a Cielo Abierto, que tiene como finalidad acompañar a los municipios en el proceso de clausurar los botaderos a cielo abierto existentes en el país e implementar sus Planes de Gestión Integrales de Residuos Sólidos –PGIRS– y sus rellenos sanitarios, de manera regional, buscando reducir costos e impacto ambiental. El objetivo es asistir técnicamente el cierre de los botaderos a cielo abierto y la transición a rellenos sanitarios.

Es bueno destacar que mientras un botadero a cielo abierto no dispone de medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales y sanitarias, en un relleno el sitio de disposición final seleccionado cuenta con unas características que permiten disminuir la afectación del ambiente y los riesgos para la salud humana, puesto que el proceso de descomposición es controlado y monitoreado.

La meta de lograr una Colombia sin Botaderos a Cielo Abierto, cuyo plazo venció el 3 de octubre de 2005, obedece a que la disposición final de residuos sólidos se ha convertido en el componente vulnerable de la prestación del servicio de aseo.

Como se recordará, la política de Residuos Sólidos fue definida en 1997, bajo los principios del desarrollo sostenible, en cumplimiento de los Códigos de Recursos Naturales y Sanitario, expedidos en 1974 y 1979, respectivamente, normatividad que se ha venido actualizando.

Aunque desde 1974 dichas normas han prohibido la disposición final de residuos en botaderos a cielo abierto, más del 60% de los municipios que tienen esta responsabilidad en forma absoluta, todavía utilizan este sistema

Por ello, en el 2003, el Gobierno definió como último plazo el 3 de octubre de 2005, como fecha en que cada municipio debe hacer la conversión de botaderos a cielo abierto a rellenos sanitarios.

Para evitar una emergencia sanitaria derivada de este plazo, se ha expedido la resolución 1390 del 27 de septiembre, a través de la cual se diseñaron varias alternativas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios de los sitios de disposición final, cuyo control y seguimiento corresponde a las autoridades ambientales regionales.

La resolución otorga un plazo de seis meses a las entidades territoriales y los prestadores del servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos, para que presenten ante la autoridad ambiental regional el Plan de Manejo Ambiental, que incluya la clausura y restauración ambiental de los sitios de disposición final de residuos sólidos que no hayan cumplido con la normatividad vigente y se advierte que en estos sitios no podrán seguir realizando dicha disposición en forma inadecuada.

Se estipula que todo prestador del servicio de aseo deberá hacer la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios que cuenten con la debida autorización o licencia ambiental o en celdas de disposición final, cuyas características se fijan en la resolución y en este último caso por un período máximo de 36 meses.

Con la resolución expedida el mensaje es claro: en el manejo del medio ambiente se está pasando de la retórica a la acción y a la gestión. Por eso, para la obligatoriedad de los PGIR se acabaron las prórrogas y las dilaciones.

Teniendo en cuenta que Colombia genera diariamente 29.000 toneladas de residuos, de los cuáles sólo el 45 por ciento son dispuestos en rellenos sanitarios, 7 por ciento aprovechados por los recicladores informales y escaso 5 por ciento se reincorpora al ciclo productivo, esperamos que los alcaldes adopten soluciones estructurales inmediatas para la adecuada disposición de los residuos sólidos.”

El reto para mejorar la gestión de los residuos sólidos urbanos recae básicamente en los Gobiernos Locales. A pesar de tener esta responsabilidad, la gran mayoría de Gobiernos municipales carecen de recursos suficientes para resolver estos déficit, imponiéndose la necesidad de movilizar recursos locales y fomentar compromisos de los actores locales, para desarrollar sistemas participativos y sustentables que garanticen una mejor gestión de los residuos sólidos.

En la actualidad el desafío de las autoridades locales de las ciudades es desarrollar sistemas integrales y sustentables para la gestión de residuos.

Población Objetivo:

Con esta monografía se elaboran una serie de documentos sobre Rellenos sanitarios que serán de gran utilidad a técnicos municipales, personal de las áreas involucradas con la gestión de los residuos sólidos y al público interesado.

El objetivo general de esta monografía es:

Dar a conocer los lineamientos técnicos tanto en la construcción como en la operación de un relleno sanitario, en función de la normatividad vigente.

Los objetivos específicos son:

1. Se darán definiciones básicas sobre los diferentes tipos de relleno sanitario así como sus ventajas e importancia.
2. Se tratarán aspectos técnicos, es decir, una guía para la construcción y/o la operación de los rellenos sanitarios; los criterios básicos para determinar la vida útil del relleno sanitario a partir del área disponible; de las características del entorno y de la generación de residuos en una ciudad.
3. Además, se hará una descripción de los métodos de relleno sanitario más utilizados y algunos aspectos básicos para su desarrollo, construcción y otros aspectos referidos a la implementación y operación de un relleno sanitario entre los que se incluyen aspectos importantes como: la habilitación y construcción de la infraestructura, una descripción de las actividades principales de manejo de residuos, etc.
4. Presentar ayudas graficas y fotográficas para completar las definiciones a tratar.

1. RELLENO SANITARIO

1.1. DEFINICION

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura.

La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, para confinar la basura en un área lo menor posible, colocar los residuos, extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen al mínimo y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

En la figura 1 se muestra la foto de un relleno sanitario en operación.

FIGURA 1

RELLENO SANITARIO



En la actualidad, el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control.

Un relleno sanitario ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva puesta en valor del sitio gracias a su eventual utilización en usos distintos al relleno sanitario; como son actividades lúdicas y/o agropecuarias a largo plazo.

1.2. DIFERENCIA ENTRE UN BOTADERO A CIELO ABIERTO Y UN RELLENO SANITARIO

Teniendo en cuenta varios factores como los ecológicos, sanitarios y sociales a continuación se muestra un paralelo entre un botadero a cielo abierto y un relleno sanitario:

Factores	Tiradero a Cielo Abierto	Relleno Sanitario
Suelo	Grave contaminación, pérdida de valor. Terrenos inútiles.	Evita contaminación, recuperación de terrenos inútiles.
Agua	Contaminación de agua superficial y subterránea.	Si se hace correctamente se minimiza el impacto.
Aire	Producción de polvo, humo y gases tóxicos (por incendios).	Menor impacto por emisiones
Fauna nociva	Proliferación de moscas, ratas, etc.	Controlada.
Sanitarios	Proliferación de vectores de enfermedades infectocontagiosas y de otros tipos.	Control de vectores.

Socioeconómicos	<p>Afecta actividades agrícolas, pecuarias, comerciales, acuícola recreativas y de asentamientos humanos. Alienta actividades económicas en condiciones deplorables. Selección de terrenos según el POT</p>	<p>Afectación mínima. Selección de terrenos según el POT</p>
-----------------	---	--

En la figura 2 se muestra un botadero a cielo abierto donde se evidencia claramente los problemas ambientales que este genera.

FIGURA 2

BOTADERO A CIELO ABIERTO



Una de las diferencias fundamentales entre un relleno sanitario y un botadero a cielo abierto es la utilización de material de cobertura para separar adecuadamente las basuras del ambiente exterior y confinarlas al final de cada jornada diaria.

1.3. VENTAJAS DE UN RELLENO SANITARIO

El relleno sanitario, como método de disposición final de los residuos sólidos urbanos, es sin lugar a dudas la alternativa más conveniente para nuestros países. Sin embargo, es esencial asignar recursos económicos y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.

Algunas de las ventajas más representativas de un relleno sanitario son:

- ✦ La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implantar cualquiera de los métodos de tratamiento: incineración o compostación.
- ✦ Un relleno sanitario es un Método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de residuos sólidos; obviando los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición en la compostación.
- ✦ Generar empleo de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo (Plantas de reciclaje).
- ✦ Recuperar gas metano en grandes rellenos sanitarios que reciben más de 200 ton/día, lo que constituye una fuente alternativa de energía.
- ✦ Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- ✦ Recuperar terrenos que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de parques, áreas recreativas, campos deportivos, etc.
- ✦ Se considera flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas, y también debido a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de residuos sólidos con poco incremento de personal.

1.4. DESVENTAJAS DE UN RELLENO SANITARIO

Un relleno sanitario también tiene desventajas que hay que tener presentes, como las siguientes:

- ✦ La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada en general por factores tales como:
 - La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.
 - Asociarse el término "relleno sanitario" al de un "botadero de basuras a cielo abierto".
 - La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales.
 - El rápido proceso de urbanización que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte.
- ✦ La supervisión constante en la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones. En las pequeñas poblaciones, la supervisión de rutina diaria debe estar en manos del encargado del servicio de aseo, debiendo éste contar a su vez con la asesoría de un profesional idóneo, dotado de experiencia y conocimientos técnicos adecuados, quien inspecciona el avance de la obra cada determinado tiempo, a fin de evitar fallas futuras.
- ✦ Existe un alto riesgo de transformarlo de relleno sanitario en botadero a cielo abierto por la carencia de voluntad política de las administraciones municipales, ya que se muestran renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento.
- ✦ Los asentamientos del terreno más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado el relleno sanitario, por lo tanto se dificulta el aprovechamiento de este suelo.

1.5. MÉTODOS DE RELLENO SANITARIO

El método de construcción y la secuencia de la operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno escogido, aunque también dependen de la fuente del material de cobertura y de la profundidad del nivel freático.

1.5.1 MÉTODO DE TRINCHERA O ZANJA

Este método de trinchera o zanja es apropiado en zonas donde se dispone de una profundidad adecuada de material de cobertura y donde el nivel freático no se encuentra cerca de la superficie.

Este método se utiliza generalmente cuando la carga es inferior a 10 ton/día, la pendiente del terreno es inferior al 5% y cuando la precipitación es inferior a los 2.000 mm/año y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos(2) o tres(3) metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga y cuya geometría depende del tamaño específico del relleno. Es de anotar que existen experiencias de excavación de trincheras hasta de siete(7) metros de profundidad para un relleno sanitario. (1)

En la figura 3 se puede ver la construcción de un relleno sanitario tipo trinchera.

FIGURA 3

RELLENO SANITARIO TIPO TRINCHERA



1 PINEDA M, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos. Bogotá. Editorial Acodal, 1998. Pagina 16

Este tipo de sistema de disposición es probablemente uno de los más prácticos y apropiados en pequeños municipios.

Se debe tener cuidado en época de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. Por lo tanto, se deben construir canales perimetrales para captarlos y desviarlos e incluso proveerlos de drenajes internos. En casos extremos, puede requerirse el bombeo del agua acumulada. Las paredes longitudinales de las zanjas tendrán que ser cortadas de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie del suelo no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

Es necesario que se cumplan dos requisitos principales:

- Se seleccione una zona plana donde el material excavado tenga las características aptas y sea suficiente para servir de cobertura a los desechos a ser depositados.
- El nivel de aguas freáticas no se debe encontrar cerca de la superficie, ya que entre el fondo de la trinchera y esta lámina de agua debe existir por lo menos cinco (5) metros de espaciamiento.

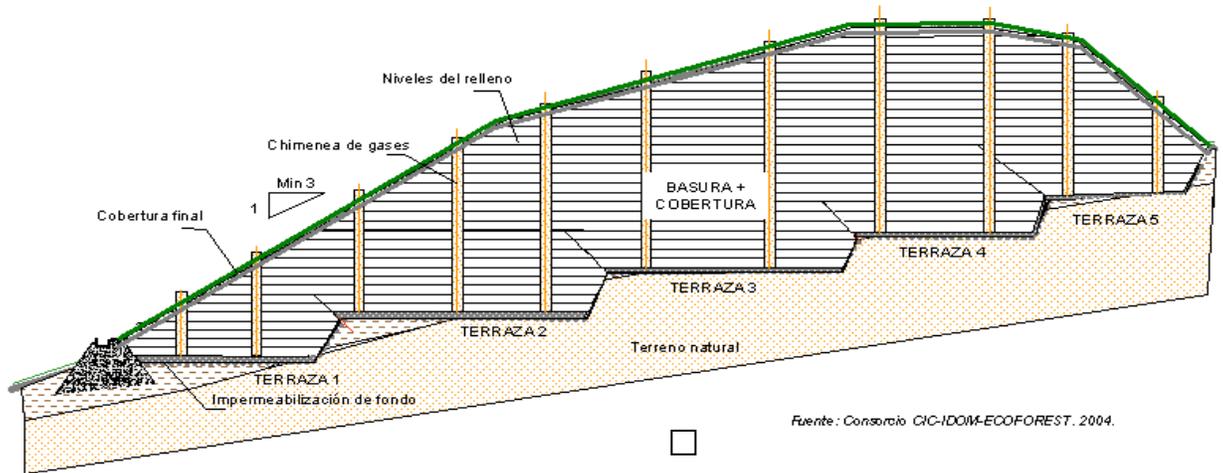
1.5.2 METODO DE AREA O TERRAZA

Este método es apto en zonas donde se dispone de depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno, o en su defecto se debe proporcionar lo más cerca posible del relleno sanitario para evitar el encarecimiento de los costos por transporte. La operación de descarga de los residuos sólidos y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.

En la figura 4 se detalla cómo sería la secuencia de construcción de celdas de un relleno sanitario tipo área o terraza.

FIGURA 4

METODO DE AREA



1.5.3. METODO DE RAMPA ESCALONADA

Ese método es típico en lugares donde las vías de acceso al frente del vertido se acomodan a la topografía y a los escalones que servirán de soporte a los residuos. Se utiliza en terrenos de declive moderado o en aquellos que tienen una capa delgada de material susceptible de ser usada para recubrimiento o como sello del relleno. Puede planearse para ir formando escalones de terreno de pendiente más o menos pronunciada haciendo pequeñas excavaciones para lograr el material de recubrimiento, como se puede ver en la figura 5.

FIGURA 5

RELLENOSANITARIO TIPO RAMPA ESCALONADA



1.6. CLASIFICACIÓN DE LOS RELLENOS SANITARIOS

1.6.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN CLASE DE RESIDUO DEPOSITADO

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

1.6.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO UTILIZADO

- En áreas planas o llanuras: Más que relleno es un depósito en una superficie. Las celdas no tienen una pared o una ladera donde apoyarse, es conveniente construir pendientes adecuadas utilizando pretiles de apoyo para evitar deslizamientos. No es conveniente hacer este tipo de relleno en zonas con alto riesgo de inundación.
- En terreno quebrado: Se debe acondicionar el terreno estableciendo niveles en terraza, para brindar una base adecuada que soporte las celdas. Se deben realizar las obras necesarias para interceptar las aguas que

normalmente escurren por el terreno quebrado y entregarlas a su cauce aguas abajo del relleno.

- En depresiones: Se debe cuidar el ingreso de aguas a la depresión, tanto provenientes de la superficie o de las paredes por agua infiltrada. Se debe presentar acumulación normal de agua dentro del relleno sanitario. La forma de construir el relleno dependerá del manejo que se realice al biogás y a los líquidos percolados.
- En laderas de cerros: Normalmente se hacen partiendo de la base del cerro y se va ganando altura apoyándose en las laderas del cerro. Es similar al relleno de quebrada. Se deben establecer terrazas en las laderas del cerro aprovechando la tierra sacada para la cobertura y tener cuidado de captar aguas lluvias para que no ingresen al relleno.
- En ciénagas, pantanos o marismas: Método muy poco usado por lo difícil de llevar a cabo la operación, sin generar condiciones insalubres. Es necesario aislar un sector, drenar el agua y una vez seco proceder al realizar el relleno. Se requiere equipamiento y mano de obra especializada.

1.6.3 CLASIFICACIÓN EN RELACIÓN CON LA TECNOLOGÍA UTILIZADA:

- **RELLENO SANITARIO MECANIZADO:**

El relleno sanitario mecanizado es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 ton/día. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto último está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos sólidos, la planificación, la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno sanitario, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos sólidos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones y los gastos de operación y mantenimiento.

Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra: tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volqueta, etc.

- **RELLENO SANITARIO SEMI-MECANIZADO:**

Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 ton/día de

residuos sólidos en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno al que podríamos llamar semi-mecanizado. Con base en experiencias previas, se puede afirmar que es necesario el empleo de equipos de movimiento de tierras (tractores de orugas o retroexcavadoras) en forma permanente cuando al relleno sanitario se llevan más de 40 ton/día de residuos sólidos. Por su versatilidad, el tractor agrícola puede servir para prestar o apoyar el servicio de recolección de basura si de preferencia se le engancha un remolque con volteo hidráulico de unos 6 a 8 metros cúbicos de capacidad o bien una caja compactadora, dependiendo de las necesidades y recursos de la localidad.

Ocasionalmente, este mismo equipo podrá emplearse en la realización de algunas obras públicas en el municipio, con lo que se aprovecharía al máximo la inversión realizada.

- **RELLENO SANITARIO MANUAL:**

Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen menos de 15 ton/día, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento. El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutado con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.

2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SITIO PARA UN RELLENO SANITARIO

Uno de los aspectos más importantes al momento de diseñar un relleno sanitario es la selección del sitio apropiado:

Se realiza un sondeo para obtener información sobre las condiciones ambientales, económicas y sociales del área donde se va a desarrollar el proyecto.

Deben determinarse las áreas de influencia directa e indirecta del proyecto. Para la delimitación de las áreas de influencia se tendrá en cuenta los aspectos económicos, ambientales, sociales y culturales.

Las características constructivas y de operación de un relleno sanitario se encuentran relativamente estandarizadas. Teóricamente podría decirse que la construcción de dos o más rellenos en un mismo lugar podría realizarse con base a un único diseño.

El emplazamiento del relleno sanitario, sin embargo, se condiciona y se restringe fundamentalmente al diseño, construcción y operación del relleno sanitario. El diseño de un relleno sanitario no puede ser aplicado a otro con diferente emplazamiento, debiendo analizarse una serie de aspectos para obtener los nuevos parámetros de diseño, construcción y operación correspondientes a la nueva ubicación. Estos aspectos corresponden básicamente a:

- **DISTANCIA DE TRANSPORTE**

Si bien la proximidad del relleno al centro geométrico de su área de servicio es una condición deseable, debe equilibrarse esta distancia con los distanciamientos exigidos por la normativa local o, de no existir, con las recomendaciones internacionales al respecto.

- **RESTRICCIONES DE LOCALIZACIÓN**

Actualmente la mayoría de las comunidades cuentan con instrumentos de ordenamiento territorial (POT, PBOT, EOT), los cuales establecen los distintos usos de suelo posibles para el área comunitaria. De acuerdo a la normativa

municipal, debe condicionarse el emplazamiento del relleno sanitario a aquellas zonas que la autoridad ambiental (Corporaciones Autónomas) ha establecido como aptas para la instalación de infraestructura sanitaria.

Teniendo en cuenta lo anterior hay zonas que por algunas características, tanto humana, social, ecológica, política o económica no pueda ser considerada para la habilitación de un relleno sanitario.

Los casos más típicos son los siguientes

- ✦ **Distancias mínimas:** La distancia del sitio de disposición a la residencia más cercana, pozo de suministro de agua, fuente de agua potable, hotel, restaurante, procesador de alimentos, colegios, iglesias o parques públicos debe ser a lo mínimo de trescientos (300) metros (o el equivalente indicado por la regulación).

- ✦ **Distancias a aeropuertos:** La distancia entre el aeropuerto comercial y el punto seleccionado es importante si en el relleno sanitario van a recibirse residuos de alimentos (tanto domiciliarios como de algún proceso industrial), pues estos pueden atraer pájaros en un radio de varios kilómetros. Si la operación del residuo es apropiada el problema puede ser aminorado. Se recomiendan distancias de ocho (8) kilómetros, sin embargo, este valor puede ser reducido si es justificado. Lo anterior queda sujeto al concepto técnico de la Aeronáutica Civil, autoridad de la aviación.

- ✦ **Distancias a cursos de agua superficial:** La distancia entre la carga de los residuos y el curso de agua superficial más cercano debe ser a lo mínimo de cien (100) metros (o el equivalente a la regulación correspondiente). Este parámetro dependerá fundamentalmente de las condiciones hidrogeológicas del sitio.

- ✦ **Distancias a áreas inestables:** El sitio seleccionado debe estar a un mínimo de cien (100) metros de áreas inestables (por ejemplo área de derrumbes) para asegurar la estabilidad estructural del sitio.

- ✦ **Distancias a áreas de exclusión:** El sitio debe estar localizado fuera de los límites de cualquier área de exclusión delimitada por la autoridad correspondiente.

Rara vez se encuentran en un terreno todas estas condiciones. El ingeniero debe clasificar los terrenos que reúnan las mejores características, analizando sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles, estableciendo un orden de preferencias para cada sitio.

Es conveniente realizar una preselección considerando tres o más sitios viables para que los ingenieros responsables del proyecto hagan la evaluación y selección final de uno de ellos; el botadero a cielo abierto existente deberá estudiarse como un sitio alternativo que puede transformarse en relleno sanitario.

Es muy importante tomar en cuenta que nadie quiere un relleno sanitario cerca de su casa, o cerca de su terreno y por esta razón los municipios deben realizar acciones paralelas de información y concientizar sobre las características y ventajas de un relleno sanitario.

Las condiciones ideales que debe reunir un sitio para ser utilizado como relleno sanitario en ciudades medias son las siguientes:

- Estar ubicado a menos de quince (15) Kilómetros de la zona urbana.
- Ser de fácil y rápido acceso vial para los camiones recolectores.
- Permitir su utilización para depósito por largo plazo, de preferencia por más de diez (10) años.
- Contar con una topografía tal que permita el mayor volumen aprovechable por hectárea.
- Tener condiciones y características construcción y operación tales que no afecten en alto grado el entorno y los recursos naturales.
- Estar localizado de modo que el relleno sanitario no sea rechazado por la población, debido a molestias por la operación del mismo.
- Ofrecer tierra para cobertura, en cantidad y calidad adecuada, dentro o muy cerca del relleno sanitario.
- Tener en regla todo lo relacionado con el uso y tenencia de la tierra.
- De preferencia debe ser un terreno inútil para otros usos.

La construcción de un relleno sanitario no es un hecho trivial, sino una compleja obra de ingeniería que debe ser adecuadamente diseñada y planificada, de modo que constituya una solución técnica y económicamente viable, a la vez de eliminar o mitigar los impactos negativos que pudiera generar sobre su entorno.

- **DISPONIBILIDAD DE TERRENO**

El terreno seleccionado debe contar con la superficie suficiente para realizar el vertido durante un período denominado "vida útil" que usualmente bordea los treinta (30) años. Además de la zona de vertido, el terreno debe contar con la superficie necesaria para la construcción de la infraestructura requerida (instalaciones, caminos, etc.) y los deslindes necesarios a los predios vecinos.

- **ACCESIBILIDAD**

El emplazamiento del relleno sanitario en sitios de difícil acceso se traduce en cuantiosas inversiones por la construcción de nuevos y largos caminos de acceso, lo cual puede hacer inviable el proyecto desde el punto de vista económico. Por otra parte, el acceso al relleno sanitario a partir de vías densamente usadas se traduce en un impacto vial que debe ser mitigado o eliminado.

- **CONDICIONES DE SUELO Y TOPOGRAFÍA**

El requerimiento de material de cobertura es siempre una limitante al momento de planificar un relleno sanitario, por lo cual debe estudiarse la composición de los suelos del sector para evaluar si existirá el suministro requerido. Por otra parte, la topografía del sector puede indicar la necesidad de realizar movimientos de tierra impracticables desde el punto de vista económico, haciendo inviable el proyecto.

- **CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS**

Las condiciones climatológicas pueden traducirse en la imposibilidad de acceder al lugar en período de invierno debido a la persistente precipitación pluvial o desprendimientos de terreno. El viento puede traducirse en el desplazamiento de olores y material liviano a comunidades vecinas. Un terreno muy seco puede traducirse en la producción permanente de partículas de material.

Para ello debe realizarse los siguientes estudios e investigaciones:

✦ **Clima**

- Valores promedio mensual y anual de precipitación pluvial
- Lluvia máxima horaria media
- Temperatura promedio mensual y anual
- Humedad relativa y evaporación
- Vientos: dirección y velocidad, rosa de los vientos
- Radiación
- Brillo solar

✦ **Calidad del aire**

Indicar las principales fuentes de contaminación atmosférica del área de influencia

Presentar una caracterización de la calidad del aire en el área de influencia del proyecto, donde se contemple, entre otros aspectos: partículas en suspensión, gases, olores. Proyección de la dispersión de olores y contaminantes en el área de influencia. Se tendrá en cuenta la rosa de los vientos y su comportamiento en las diferentes horas del día.

Presentar un mapa del área donde se observen los cambios de acuerdo a las horas y donde se ubiquen los asentamientos poblacionales, establecimientos industriales, comerciales, de servicios y de otro tipo y ubicar las principales fuentes generadoras de ruido.

✦ **Temperatura**

Debe obtenerse y analizarse la información correspondiente a la temperatura media mensual, preferentemente durante un periodo de observación de al menos 25 años. En zonas o épocas de temperaturas altas se favorece el proceso de fermentación de los residuos llegando a producir fenómenos de auto combustión y olores desagradables que se deben evitar con el cubrimiento diario, o si es necesario, más de una vez al día.

✦ **Precipitación**

Debe determinarse la precipitación mensual media, la precipitación media diaria, correspondiente al mes más lluvioso registrado en todo el periodo de observación y la intensidad de lluvia máxima horaria media, a partir de registros que abarquen un periodo de 25 años como mínimo.

✦ **Vientos**

Debe determinarse la dirección media de los vientos reinantes, la dirección media de los vientos dominantes y su posible variación en las diferentes épocas del año, de manera que se construyan defensas que eviten la acción intensa de los vientos sobre los materiales.

• **HIDROLOGÍA DE AGUAS**

El relleno no puede emplazarse en lugares en que exista el riesgo potencial de inundaciones ni tampoco interponiéndose al flujo natural de aguas o escorrentías superficiales. En caso de que se afecte algún flujo, debe estudiarse las características de la cuenca y definir un adecuado sistema de drenaje.

De acuerdo al RAS 2000 (2) Para rellenos sanitarios proyectados con una disposición final de residuos sólidos menor o igual a 15 ton/día, se deben considerar los siguientes aspectos en el estudio hidrogeológico:

- Establecer la ubicación y distribución de todos los cuerpos de agua subterránea superficiales (no confinados) y profundos (confinados), a escala regional y local.

2 Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS 2000 del Ministerio de desarrollo económico. Bogotá 2000.

- Determinar la conductividad hidráulica, posición del nivel freático y composición físico química del agua subterránea.

Para rellenos sanitarios proyectados para una disposición final de residuos sólidos mayor a 15 ton/día, se deben considerar los siguientes aspectos en el estudio hidrogeológico:

- Establecer la ubicación y distribución de todos los cuerpos de agua subterránea superficiales (no confinados) y profundos (confinados), a escala regional y local.
- 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 de la zona.
- Determinar los valores de la conductividad hidráulica, carga hidráulica, porosidad efectiva en partículas del sistema de flujo y posición del nivel freático, con los cuales se definirá la dirección y velocidad del agua subterránea. Se debe analizar la composición fisicoquímica del agua
- subterránea con el fin de calcular los niveles de fondo de la calidad del agua.

En todos los casos deben tenerse en cuenta los siguientes referente a hidrología:

✦ **Aguas Superficiales permanentes y/o no permanentes**

- Identificación de la cuenca que drena el área del proyecto. Cuantificación (estudio hidrológico) de toda el área tributaria.
- Identificación de las corrientes hídricas superficiales del área de influencia: nacimientos, quebradas, ríos, etc.
- Usos actuales y potenciales aguas arriba y abajo del proyecto
- Identificación de los usuarios aguas abajo del proyecto que se abastecen del recurso: Se identificarán los diferentes usos que hacen de él. La cantidad que utilizan.
- Caracterización físico – química y bacteriológica del agua
-

✦ **Aguas Subterráneas**

- Usos actuales y potenciales

- Medición del nivel freático (épocas de verano e invierno) en los piezómetros que se construyan. Identificación del o los posibles acuíferos existentes.
- Ubicación de pozos en el área, sitios, uso, distancia a la que se encuentran
- Caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua*
- Determinación de la vulnerabilidad natural de los acuíferos que existan en la zona con base en la profundidad del nivel freático, litología de la zona no saturada y ensayos de permeabilidad.

✦ **Identificación de la red de drenaje de las aguas lluvias en la zona del relleno**

Los caudales de la red drenante en la zona, serán calculados de acuerdo a elementos de diseño y en función del área e información consignada en reportes, considerando aguaceros de 25, 50, 75 y 100 años de frecuencia.

Para el análisis físico químico y bacteriológico de aguas superficiales y subterráneas se deben medir los siguientes parámetros, según el RAS 2000 Título F, página F99

Temperatura	Alcalinidad Total	Nitratos
PH	Cloruros	Sulfatos
DBO ₅	Calcio	Potasio
DQO	Fosfatos	Coliformes Totales
Sólidos Totales	Hierro Total	Coliformes Fecales
Sólidos Suspendidos	Manganeso	Fenoles
Sólidos Disueltos	Nitrógeno Total	Metales Conductividad

• **CONDICIONES GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS**

Definen el suelo de fundación del relleno sanitario y permiten diseñar el sistema de impermeabilización de fondo del depósito. Determinan los riesgos de contaminación de acuíferos en cuanto a la profundidad a la que se encuentran las napas y la permeabilidad del terreno.

Según el RAS 2000 Se requieren estudios geológicos regionales y locales para evaluar las condiciones del sitio destinado para la disposición final de los residuos sólidos.

Se debe cumplir con las siguientes características:

- Estudios geológicos regional y local.
- Determinar el marco geológico regional y local con el fin de identificar las diferentes unidades litológicas, su geometría, distribución e identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas; e identificar posibles fenómenos de inestabilidad de laderas.

✦ **Geología y Geomorfología**

- Estudio geológico: estructural del sitio, que determine litología, estratigrafía, origen geológico y las diferentes discontinuidades, fallas, plegamientos, fracturas, zonas de cizalla, etc., y su actividad actual o reciente.
- Cartografía de formaciones geológicas superficiales del sitio: coluviones, aluviones, suelos residuales, depósitos de ladera, afloramientos rocosos, etc.
- Identificación de procesos morfo dinámicos activos, recientes y antiguos presentes en la zona, que puedan constituir factores de inestabilidad y que ameritan un manejo particular durante la ejecución de la obra (fallas geológicas).
- Estudio de estabilidad del terreno ante eventos sísmicos, correspondiente a las condiciones naturales del terreno con relación al valor de aceleración establecido para esta zona del país.
- Mapa de ingeniería geológica que caracterice ingenierilmente cada uno de los materiales encontrados en el mapa de formaciones geológicas superficiales, con base a la observación directa en el terreno de las propiedades de las rocas (tipo de roca, composición mineralógica, color, dureza, consistencia, textura, grado de fracturamiento, grado de meteorización) y los suelos (tipo, composición, textura, estructura, consistencia, compactación, meteorización y espesor). Este mapa deberá permitir a su vez determinar áreas críticas, zonas de manejo y tratamiento especial, zonas de fallas geológicas.
- Aspectos geotécnicos: caracterización geomecánica de los suelos y rocas para la evaluación de la estabilidad de la zona. Con base en el mapa de ingeniería geológica se establecerá un plan de exploración del subsuelo con la realización de estudios indirectos por métodos geofísicos, métodos directos con sondeos manuales como apiques,

trincheras, perforaciones u otros procedimientos exploratorios reconocidos por la práctica, con el fin de determinar la profundidad del nivel freático, ejecutar ensayos directos en el terreno, y obtener muestras para realizar ensayos de laboratorio: permeabilidad, resistencia al corte, compactación, límites de consistencia, humedad natural, potencial expansivo, compresión confinada o inconfiada, capacidad portante, penetración estándar.

✦ **Suelos**

Desarrollo de levantamiento topográfico y elaboración de planos con información del lugar:

- Límites.
- Topografía.
- Pendientes.
- Aguas superficiales.
- Caminos.
- Instalaciones.
- Casas.
- Clasificación agrologica de los suelos.
- Uso actual y potencial., etc.
- Descripción de las características de los suelos de la zona: profundidad, textura, pH, estructura, porosidad, humedad, permeabilidad, humedad, espesor; indicando el volumen del banco de material disponible para cobertura, facilidad de excavación, estabilidad.
- Prueba de infiltración.
- Lecho de rocas (profundidad, tipo, presencia de fracturas).

• **ESTUDIOS PREVIOS**

Para las áreas potenciales de disposición final definidas en el POT, PBOT o EOT según sea el caso, se deben realizar los siguientes estudios, según el RAS 2000 capítulo F.

✦ **Estudio topográfico**

Se deben compatibilizar los niveles del proyecto del relleno sanitario con el levantamiento Planimétrico y altimétrico y las dimensiones del terreno, de manera que se puedan seleccionar y diseñar los frentes de trabajo, establecer métodos de operación, determinar la capacidad volumétrica, ubicar el material disponible para efectuar trabajos de rellenos y de cobertura y planificar el sistema de control de contaminación ambiental. El estudio topográfico debe localizar toda servidumbre que contenga el terreno y también se debe realizar un levantamiento del área de influencia determinando fundamentalmente las vías de acceso y las características urbanísticas del entorno.

- **Planimetría**

- Todos los puntos en sus vértices deben estar referenciados al Datum de nivel fijo y de ser posibles oficiales, con objeto de rehacer la poligonal cuando se requiera.
- La poligonal del terreno debe estar referida a un sistema de coordenadas.
- La poligonal del terreno en cada uno de sus vértices debe contar con ángulos internos, rumbos y azimuts.
- Al plano Planimétrico se deben anexar las libretas de campo.

- **Altimetría**

- El Datum de nivel deben estar referidos a bancos oficiales.

- Las curvas de nivel se deben trazar de acuerdo con los siguientes requerimientos: en equidistancias de curvas a cada medio metro para sitios planos y ligeramente ondulados, y cada metro para ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados.
- **Secciones**
- Se deben ubicar secciones a partir del K0+000 del camino de acceso, referenciadas a las estaciones establecidas sobre el perfil del camino. Las secciones son siempre perpendiculares al eje del camino de acceso y deben abarcar 20 m a cada lado del eje, como mínimo.

✦ Estudio geotécnico

Nivel de detalle del estudio geotécnico.

Se define como nivel de detalle como el resultado de la aplicación de dos criterios conjuntos, el uno dependiente de la cantidad de residuos a disponer y el segundo dependiente de la variabilidad del subsuelo sobre el que se apoya el relleno sanitario.

Según el RAS 2000, en el estudio geotécnico se definen los niveles de detalle I, II, III y IV, según el cuadro 1.

CUADRO 1
DEFINICIÓN DEL NIVEL DE DETALLE DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO

Cantidad de resíduos dispuestos Ton./día	Variabilidad del subsuelo		
	Baja	Media	Alta
Menor o igual a 15	I	II	II
Mayor a 15	II	III	IV

✦ Investigación del subsuelo

Información previa. El ingeniero geotecnista debe recopilar y evaluar los datos disponibles sobre las características del sitio y del proyecto

- Del sitio. Esta información debe ser obtenida por el ingeniero encargado del estudio geotécnico y comprende: capacidad portante, geología, sismicidad, clima, vegetación, infraestructuras y estudios anteriores. El ingeniero geotecnista responsable del proyecto debe dar fe de que conoce el sitio y lo ha visitado para efectos de la elaboración del estudio.
- Del proyecto. La siguiente información debe ser suministrada al ingeniero geotecnista: levantamiento topográfico, altura del relleno, secuencias de construcción, niveles de excavación, cargas, redes de servicio y los demás aspectos que el ingeniero geotecnista estime necesarios para la realización del estudio.
- Exploración de campo. Deben realizarse apiques, trincheras, perforaciones estáticas o dinámicas, u otros procedimientos reconocidos en la práctica, con el fin de ejecutar pruebas directas o indirectas en el terreno y obtener muestras para ensayos de laboratorio. La exploración debe ser amplia y suficiente para garantizar un adecuado conocimiento del subsuelo hasta la profundidad afectada por el relleno sanitario
- Número mínimo de sondeos. El número mínimo de sondeos de exploración se define de acuerdo con el nivel de detalle, según el cuadro 2.

CUADRO 2
NÚMERO MÍNIMO DE SONDEOS

Nivel de detalle	Número mínimo de sondeos
I	3
II	3
III	5
IV	10

Las características y distribución de los sondeos deben cumplir las siguientes disposiciones:

- Los sondeos con recuperación de muestras deben constituir como mínimo el 50% de los sondeos practicados en el estudio definitivo.
- Las muestras, en tal caso, se toman en cada cambio de material o por cada 1.5 m de longitud del sondeo.
- Los sondeos practicados dentro del desarrollo del estudio preliminar pueden incluirse como parte del estudio definitivo, siempre y cuando hayan sido ejecutados con la misma calidad y siguiendo las especificaciones dadas en este reglamento.
- El número de sondeos finalmente ejecutado debe cubrir el área que ocupa el relleno sanitario.
- Profundidad de los sondeos. Por lo menos el 50% de todos los sondeos debe alcanzar la máxima profundidad dada por las siguientes alternativas:
 - Profundidad en la que el incremento de esfuerzos causados por el relleno sanitario sobre el terreno sea el 10% del esfuerzo con el terreno natural.
 - En los casos donde se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos asimilables o rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, los sondeos deben penetrar un mínimo de 3 m en dichos materiales. Sin embargo, el ingeniero debe evaluar las condiciones geológicas para comprobar que debajo de este estrato no exista un estrato de menor resistencia.
- Ensayos de laboratorio. Deben ensayarse muestras de tamaño representativo de manera que las pruebas no varíen en un rango amplio debido al contenido de suelo.
- Selección de muestras. Las muestras obtenidas de la exploración de campo deben ser seleccionadas por el ingeniero geotecnista, quien debe ordenar los ensayos de laboratorio que permitan conocer con claridad la clasificación, peso unitario, humedad natural, propiedades de resistencia al corte, deformación, permeabilidad, compresibilidad y capacidad portante de los diferentes materiales.

- Tipo y número de ensayos. El tipo y número de ensayos depende de las características propias de los suelos o materiales rocosos por investigar y del criterio del ingeniero geotecnista.
- Ensayos para suelos. Para suelos deben realizarse como mínimo ensayos de clasificación, completa para cada uno de los estratos o unidades estratigráficas, sus niveles de meteorización, su humedad natural, peso unitario y permeabilidad.
- Ensayos para rocas. Para materiales rocosos deben realizarse como mínimo ensayos de peso específico, compresión simple, absorción, alterabilidad y permeabilidad.

- **CONDICIONES AMBIENTALES LOCALES**

Cada municipio establece su propia normativa en cuanto a restringir la localización de los rellenos sanitarios, a fin de evitar impactos negativos tales como tráfico, ruido, polvo, olores, impacto visual, vectores sanitarios, etc. Si bien las condiciones de diseño se formulan para evitar que los impactos anteriormente mencionados ocurran, debe analizarse las condiciones locales para evitar efectos acumulativos o desencadenadores de nuevos impactos.

- ✦ **Control de residuos sólidos**

El control de los residuos que ingresan a relleno sanitario inicia antes de que éstos sean captados por los vehículos de recolección. El operador debe conocer a quienes están transportando residuos al relleno sanitario y tener información de la fuente y las características de los residuos recibidos en el sitio. Los residuos no autorizados por los instrumentos legales vigentes, no deben ser admitidos en ninguna de las instalaciones de relleno sanitario, que según el RAS 2000 son aquellos que por características infecciosas, combustibles, inflamables, explosivos, radioactivos, volátiles, corrosivos reactivos o tóxicos pueden causar daño a la salud humana o al medio ambiente.

Es la responsabilidad del operador identificar las fuentes prohibidas y restringir su ingreso.

En los rellenos sanitarios, la disponibilidad de espacio es vital, por lo que, una vez que los residuos sólidos son depositados en el frente de trabajo, es responsabilidad del operador, obtener la máxima densidad para los residuos depositados dentro de un lugar específico, para aprovechar al

máximo dicho espacio. La máxima densidad debe ser alcanzada mediante la compactación y cobertura de los residuos.

✦ **Controles adicionales de la operación.**

La densidad se puede incrementar por el paso frecuente del tráfico vehicular sobre las áreas rellenadas.

La sobrecarga de áreas rellenadas, con bancos de material de cubierta, también ayudará a la compactación.

• **USO FINAL DEL TERRENO**

Las posibilidades de uso final de un terreno empleado para construir un relleno sanitario están limitadas por los instrumentos del plan de ordenamiento territorial locales, por lo que deben ser tomadas en cuenta para que no interfieran con el desarrollo urbano de la zona de influencia.

• **OTRAS CONSIDERACIONES**

Complementariamente, existen aspectos internacionalmente recomendados que restringen la localización de un relleno sanitario y se refieren a:

-Zonas de fallas o de riesgo sísmico, por el riesgo de deslizamiento inherente a estas zonas. -

-Proximidad de un aeropuerto, para evitar accidentes aéreos provocados por las aves que frecuentan un relleno.

-Terrenos aluviales, para que no se obstaculice el flujo de inundaciones.

-Humedales o vegas, por la posibilidad de contaminar cursos de agua superficiales o el riego para la flora y fauna asociada a estos lugares.

Para hacer la evaluación de la flora y fauna asociada al relleno sanitario, se deben realizar estudios, donde se incluyan los siguientes puntos:

-Recolección de información

-Métodos de campo

-Inventario de fauna y flora georeferenciado, incluyendo coordenadas y

referencias geográficas. Se debe anexar una tabla donde se incluyan los datos tomados a las especies capturadas

-Análisis ecológico de fauna y flora en relación con la cadena alimenticia, composición, diversidad, abundancia, dominancia (Número de individuos) y las observaciones de Historia Natural por ejemplo: alimentación, uso del bosque, comportamiento, reproducción para fauna, fenología y hábitat para flora. Todo este análisis debe enmarcarse en el contexto de como las diferentes obras a realizar y como estas afectan los recursos faunísticos y florísticos.

-Identificación de especies amenazadas, endémicas, migratorias, latitudinales y utilizadas por el hombre. Se debe consultar a la autoridad ambiental.

-Recomendaciones acerca de programas para minimizar y compensar los efectos negativos sobre la fauna y la flora silvestre.

2.1 CRITERIOS EN LA LOCALIZACION DE SITIOS PARA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS:

Para la localización de áreas potenciales para disposición final de residuos sólidos, mediante la tecnología de relleno sanitario, los entes territoriales deberán tener en cuenta los criterios y la metodología de evaluación que se expone a continuación:

-El área donde se ubicará el relleno sanitario, debe ser suficiente para permitir que la vida útil de éste sea compatible con la producción proyectada de residuos sólidos a disponer en el mismo, considerando tanto el municipio receptor como aquellos ubicados dentro de un radio de 60 kilómetros del mismo. Por lo tanto, este criterio se calificará en función de la cantidad de residuos sólidos que se puedan disponer dando 0 puntos para una capacidad igual o menor a 0.5 veces la producción de residuos producidos en treinta (30) años, hasta 200 puntos para una capacidad igual o mayor a 1.5 veces la producción de residuos sólidos producidos en treinta años (30) años, calificándose en forma lineal a partir de 0.5 veces la producción de residuos producidos en los treinta (30) años.

Para cuantificar en esta fase la cantidad de residuos sólidos producidos para el periodo de 30 años, se deberá utilizar el parámetro de producción per cápita y las proyecciones de incremento poblacional, dando como resultado el nivel de complejidad del proyecto.

A continuación se enumeran los Criterios y metodología para la localización de áreas para disposición final de residuos sólidos, mediante la tecnología de relleno sanitario según el Artículo 5 del Decreto 838 de 2005 expedido por el presidente de la república Álvaro Uribe Vélez y del RAS 2000.

El puntaje máximo de la evaluación será de 1000 puntos. El puntaje obtenido por cada área potencial no indica el descarte o rechazo de alguna de las mismas, sino que indica una posición dentro de un orden de elegibilidad, de mayor a menor, de acuerdo con el valor del puntaje obtenido, y con base en este orden se incorporarán al POT, EOT o PBOT, según sea el caso, de cada ente territorial.

La identificación y ubicación de los proyectos de rellenos sanitarios, dentro de las áreas potenciales para la disposición final de residuos sólidos señaladas en el POT, EOT o PBOT, según sea el caso, de cada entidad territorial, corresponderá a los prestadores del servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición, mediante la tecnología de relleno sanitario.

La localización específica del predio, se podrá realizar a partir de los mapas de aptitud presentados en el estudio. A partir de los mapas de aptitud, el interesado podrá evaluar 4 o 5 predios en los cuales deberá evaluar las condiciones topográficas del sitio, las características del subsuelo mediante prospección geofísica, el uso del suelo, la proximidad a viviendas y vías, la presencia de líneas eléctricas o ductos, la proximidad a cuerpos de agua y sus usos aguas abajo.

Metodológicamente el predio ideal es aquel que obtenga 1000 puntos, sin embargo, el resultado de la evaluación permitirá obtener un orden de elegibilidad en el que el predio que obtenga el mayor puntaje será el más recomendable para ubicar el proyecto.

**CUADRO 3
CRITERIOS DE SELECCION**

CONSIDERACIONES DE INFORMACION.	PASOS Y CRITERIOS		NUMERO DE LUGARES POTENCIALES
FASE 1. 	1. EXCLSION DE LUGARES (CATASTRO NEGATIVO). CRITERIOS POR LOS CUALES SE EXCLUYEN LA UTILIZACION DE UN LUGAR (EJEMPLOS SOLAMENTE).	-AREAS PROTEGIDAS PARA AGUA POTABLE. -AREAS DE INUNDACION -SUELO INESTRABLE -MORFOLOGIA EXTERNA -CERCANIA A UNA AREA POBLADA -PARQUE NACIONAL, BIOTOPE -CENTRO TURISTICO -CERCA DE UN AEROPUERTO.	 APROX 70%
FASE 2. 	2. SELECCION DE LUGARES POTENCIALES. CRITERIOS DE ANALISIS Y EVALUACION	-ANALISIS DE CONFLICTO SOCIAL -DISPONIBILIDAD DEL LOTE -UTILIZACION DEL AREA (AGRICULTURA) -ASPECTOS METEREOLÓGICOS -ASPECTOS GEOTECNICOS -RECURSOS DISPONIBLES DE INVERSION	REDUCCION DE NUMEROS DE SITIOS A 5 LUGARES
FASE 3. 	INVESTIGACION DE LOS LUGARES SELECCIONADOS.	-EXPLORACION DE SUELOS -GASTOS, BENEFICIO, ANALISIS -ANALISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	 2-3 LUGARES
FASE 4.	DESICION FINAL		1 LUGAR

Fuente: Manejo y Disposición de Residuos Sólidos Urbanos.
Samuel Ignacio Pineda.

En todo caso, desde el punto de vista normativo, la ubicación de rellenos sanitarios debe acogerse a lo establecido en el Artículo 5 Decreto 838 de 2005; y/o a las NORMAS Y PARAMETROS DEL TITULO F,RAS 2000.

- **OCUPACIÓN ACTUAL DEL ÁREA.**

Determina las actividades que actualmente se vienen realizando con el objeto de prever posibles impactos sobre la comunidad o los recursos naturales dando un puntaje así:

- Suelo rural	80 puntos
- Suelo suburbano	60 puntos
- Suelo de expansión urbana	40 puntos
- Suelo urbano	20 puntos
- Otros suelos de protección	8 puntos

- **ACCESIBILIDAD VIAL.**

Este criterio corresponde a la facilidad y economía que la persona prestadora del servicio público de aseo en el componente de recolección y transporte, tiene para llevar los residuos sólidos al área en que se efectuará dicha disposición final, mediante la tecnología de relleno sanitario. El criterio se divide en los siguientes subcriterios:

✦ Condiciones de la vía principal (puntaje máximo 20 puntos)	
- - Pavimentada	20 puntos
- - Sin pavimentar	8 puntos
✦ Pendiente de la vía principal (puntaje máximo 20 puntos)	
- - 0 – 3%	20 puntos
- - 3,1% - 5%	12 puntos
- - 5,1% - 7%	8 puntos
- - 7,1 y mayores	0 puntos

- ✦ Distancia de la vía de acceso (puntaje máximo 20 puntos)
 - 0 kms a 5 kms 20 puntos
 - 5,1 kms a 10 kms 12 puntos
 - 10,1 kms a 15 kms 4 puntos
 - mayor de 15 kms 0 puntos

- ✦ Pendiente de la vía de acceso (puntaje máximo 20 puntos)
 - - 0 – 3% 20 puntos
 - - 3,1% - 5% 12 puntos
 - - 5,1% - 7% 8 puntos
 - - 7,1 y mayores 0 puntos

- ✦ Número de vías de acceso (puntaje máximo 20 puntos)
 - 2 o más vías 20 puntos
 - Una vía 8 puntos
 - No hay vías 0 puntos

- ✦ Condiciones de la vía de acceso (puntaje máximo 20 puntos)
 - Pavimentada 20 puntos
 - Afirmado 12 puntos
 - Carreteable 8 puntos
 - Trocha/no existe 0 puntos

- **CONDICIONES DEL SUELO Y TOPOGRAFÍA.**

Este criterio determina las facilidades de construcción, operación y trabajabilidad en el área en que se efectuará dicha disposición final, mediante la tecnología de relleno sanitario, calificadas bajo los siguientes subcriterios:

- ✦ Pendiente promedio del terreno (puntaje máximo 80 puntos)
 - 0,1% - 3% 80 puntos
 - 3,1% - 7% 60 puntos
 - 7,1% - 12% 40 puntos
 - 12,1% - 25% 20 puntos
 - mayor de 25% 0 puntos

- ✦ Manejabilidad para su remoción y forma de la Zona de Manejo Ambiental Territorial (puntaje máximo 40 puntos)
 - Muy fácil 40 puntos
 - Fácil 32 puntos
 - Regular 20 puntos
 - Difícil 12 puntos
 - Imposible 0 puntos

Distancia entre el perímetro urbano, respecto del área para la disposición final de residuos sólidos, mediante la tecnología de relleno sanitario. Este criterio se asocia a los costos de transporte en que incurriría la persona prestadora del servicio público de aseo para llevar los residuos sólidos desde el perímetro urbano, incluida la zona de expansión urbana, al área en la que se efectuará la disposición final de residuos sólidos (puntaje máximo 140 puntos)

- 2 km a 5 kms 140 puntos
- 5,1 km a 10 kms 100 puntos
- 10,1 km a 25 kms 60 puntos
- 20,1 km a 50 kms 20 puntos
- mayores a 50 kms 0 puntos

- **DISPONIBILIDAD DE MATERIAL DE COBERTURA.**

Este criterio se asocia a los costos de transporte en que incurre la persona prestadora del servicio para obtener y llevar el material de cobertura necesario para dar cumplimiento a las especificaciones técnicas y ambientales en los procesos de operación diaria y cierre y clausura del relleno sanitario, calificado bajo dos subcriterios así:

- ✦ Distancia del sitio de obtención de material de cobertura hasta el área de disposición final (puntaje máximo 40 puntos)
 - 0 kms a 2 kms 40 puntos
 - 2,1 kms a 4 kms 32 puntos
 - 4,1 kms a 6 kms 20 puntos
 - 6,1 kms a 10 kms 12 puntos
 - mayor de 10 kms 0 puntos

✦ Calidad del material de cobertura medida por su textura (puntaje máximo 40 puntos)

- Recebo granular	40 puntos
- Arcilla arenosa	32 puntos
- Limo arenoso	20 puntos
- Arcilla	16 puntos
- Limo arcilla	8 puntos
- Limos	0 puntos

• **DENSIDAD POBLACIONAL EN EL ÁREA.**

Este criterio determina la posible afectación de la población ubicada en el área de influencia directa del área en la que se efectuará las disposiciones de residuos sólidos:

- 0 habitantes/hectárea a 2 habitantes/hectárea	40 puntos
- 2,1 habitantes/hectárea a 5 habitantes/hectárea	20 puntos
- Mayor de 5 habitantes/hectárea	0 puntos

• **INCIDENCIA EN LA CONGESTIÓN DE TRÁFICO EN LA VÍA PRINCIPAL.**

Este criterio determina la incidencia que puede tener sobre el tráfico de la vía principal, el desplazamiento de los vehículos que transportarán desde el perímetro urbano hasta el del área en la que se efectuará la disposición de residuos sólidos, cuantificados así:

- Ninguna	40 puntos
- Moderada	20 puntos
- Grande	0 puntos

- **DISTANCIAS A CUERPOS HÍDRICOS.**

Este criterio establece la relación que tendrá el área en la que se efectuará la disposición final de residuos, respecto a las fuentes hídricas superficiales existentes en la zona, cuantificándose de la siguiente forma.

- mayor de 2000 metros	40 puntos
- 1000 metros a 2000 metros	32 puntos
- 500 metros a 999 metros	20 puntos
- 50 metros a 499 metros	12 puntos
- menor de 50 metros	0 puntos

- **DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS.**

Este criterio determina la incidencia que puede tener la dirección de los vientos con respecto al casco urbano, en la operación de la infraestructura instalada en el área en que se efectuará la disposición final de residuos:

- Dirección en sentido contrario al casco urbano más cercano	40 puntos
- Dirección en sentido del casco urbano más cercano	0 puntos

- **GEOFORMAS DEL ÁREA RESPECTO AL ENTORNO.**

Este criterio hace referencia a la incidencia que puede tener sobre el paisaje y el entorno calificándose respecto a la zona urbana, la operación de la infraestructura ubicada en el área en que se efectuará la disposición final de residuos, así:

- Zona quebrada y encajonada	40 puntos
- Zona en media ladera parcialmente encajonada	32 puntos
- Zona en media ladera abierta	20 puntos
- Zona plana y abierta	12 puntos

- **RESTRICCIONES EN LA DISPONIBILIDAD DEL ÁREA.**

Este criterio hace referencia a la viabilidad ambiental del área en que se efectuará la disposición final de residuos, con base en las restricciones definidas en el Artículo 6° Numeral 2 del decreto mencionado, calificándose de acuerdo con el número de posibles restricciones así:

- No existen restricciones	20 puntos
- Existe una restricción	13 puntos
- Existen dos restricciones	7 puntos
- Existen más de dos restricciones	0 puntos

2.2 PROHIBICIONES Y RESTRICCIONES EN LA LOCALIZACIÓN DE ÁREAS PARA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Según el artículo 6 del decreto 838 de 2005, en la localización de áreas para realizar la disposición final de residuos sólidos, mediante la tecnología de relleno sanitario, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **PROHIBICIONES:**

Corresponden a las áreas donde queda prohibido la localización, construcción y operación de rellenos sanitarios, a saber:

- ✦ **Fuentes superficiales.** Dentro de la faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, como mínimo de treinta (30) metros de ancho o las definidas en el respectivo POT, EOT y PBOT, según sea el caso; dentro de la faja paralela al sitio de pozos de agua potable, tanto en operación como en abandono, a los manantiales y aguas arriba de cualquier sitio de captación de una fuente superficial de abastecimiento hídrico para consumo humano de por lo menos quinientos (500) metros; en zonas de pantanos, humedales y áreas similares.
- ✦ **Fuentes subterráneas:** En zonas de recarga de acuíferos.
- ✦ **Hábitats naturales críticos:** Zonas donde habiten especies endémicas en peligro de extinción.

- ✦ **Áreas con fallas geológicas.** A una distancia menor a sesenta (60) metros de zonas de la falla geológica.
- ✦ Áreas pertenecientes al Sistema de Parques Nacionales Naturales y demás
- ✦ Áreas de manejo especial y de ecosistemas especiales tales como humedales, páramos y manglares.

- **RESTRICCIONES:**

Corresponden a las áreas donde si bien se pueden localizar, construir y operar rellenos sanitarios, se debe cumplir con ciertas especificaciones y requisitos particulares, sin los cuales no es posible su ubicación, construcción y operación:

- ✦ **Distancias al suelo urbano:** Dentro de los mil (1.000) metros de distancia horizontal, con respecto al límite del área urbana o suburbana, incluyendo zonas de expansión y crecimiento urbanístico, distancia que puede ser modificada según los resultados de los estudios ambientales específicos.
- ✦ **Proximidad a aeropuertos.** Se deberá cumplir con la normatividad expedida sobre la materia por la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil o la entidad que haga sus veces.
- ✦ **Fuentes subterráneas.** La infraestructura instalada, deberá estar ubicada a una altura mínima de cinco (5) metros por encima del nivel freático.
- ✦ **Áreas inestables.** Se deberá procurar que las áreas para disposición final de residuos sólidos, no se ubiquen en zonas que puedan generar asentamientos que desestabilicen la integridad de la infraestructura allí instalada, como estratos de suelos altamente compresibles, sitios susceptibles de deslizamientos y aquellos donde se pueda generar fenómenos de carsismo.
- ✦ **Zonas de impacto sísmico.** En la localización de áreas para disposición final de residuos sólidos, se deberá tener en cuenta que su ubicación no se efectúe en zonas de alto riesgo sísmico.

En el evento que las condiciones geotécnicas, geomorfológicas e hidrológicas de la región, se deba ubicar infraestructura para la disposición final de residuos sólidos en áreas donde existen restricciones, se garantizará la seguridad y estabilidad de la infraestructura en la adopción de las respectivas medidas de control, mitigación y compensación que exija la autoridad ambiental competente.

2.3. ESTUDIOS Y CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO DEFINITIVO

Cuando ya ha sido elegido el sitio con mayor puntaje según los criterios evaluados en el capítulo anterior y antes de realizar cualquier diseño definitivo de un relleno sanitario se deberán realizar los estudios previos en el lugar seleccionado para ser el receptor de los residuos sólidos, estos estudios arrojarán la información específica necesaria para definir los parámetros de diseño y así poder entregar un diseño definitivo.

Dichos estudios previos a cualquier diseño que se deben realizar sobre el sitio escogido para disposición final son los siguientes:

- **AREA REQUERIDA**

Uno de los parámetros más relevantes en la realización del diseño es la estimación del área requerida para el proyecto.

El área estimada debe incluir, el área útil para el relleno, espacio para vías, zona de manejo de lixiviados, zona de oficinas y parqueadero, así como una franja de aislamiento ambiental aproximadamente de 30 m de ancho en la parte perimetral de cada predio.

La capacidad del relleno sanitario debe ser tal que pueda atender holgadamente la producción de desechos residenciales, comerciales, institucionales, industriales, producción de barridos y otros; además permitir eventualmente la incorporación de unidades administrativas.

Para tal efecto, se realiza el siguiente procedimiento:

- Con base en la proyección de residuos, la densidad de compactación y la cantidad de cobertura aplicada, se puede estimar la capacidad requerida o el volumen requerido de relleno.
- Para los rellenos tipo terraza y tipo trinchera, se debe realizar una estimación del volumen requerido año a año, siendo la capacidad requerida la suma de todos los años durante el horizonte del plan.

- **TOPOGRAFÍA**

La topografía del predio constituye el insumo básico para adecuar los diseños conceptuales a las condiciones particulares del predio y son necesarias para:

- Definir la apariencia final del proyecto
- Distribuir las obras de ingeniería
- Establecer métodos de operación
- Ubicar lugares tanto de disposición de material sobrante como de canteras de extracción de material de cobertura.

La topografía se debe adelantar en la totalidad del predio disponible para el proyecto con curvas de nivel cada metro y una escala apropiada para realizar las obras de ingeniería.

El levantamiento topográfico debe incluir la localización de la posible infraestructura que pueda poseer el predio (vías, redes), así como cuerpos de agua, cercas y zonas boscosas.

El levantamiento topográfico puede ser utilizado para realizar el inventario de todos los árboles del predio, con el fin de que se pueda realizar posteriormente un inventario forestal requerido evaluar los impactos ambientales generados por el proyecto.

La topografía debe estar preferiblemente referida a un origen de coordenadas centro u oeste del, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) lo cual debe ser especificado en los planos.

- **PLANOS DE DISEÑO**

Uno de los productos relevantes del diseño son los planos de diseño. Los planos de diseños son esquemas a escala apropiada necesarios para adelantar las obras civiles a nivel de campo.

En el cuadro 3 se presenta la descripción de los planos de diseño que se requieren para tener una descripción completa del proyecto.

Para facilitar la realización de los planos de diseño se elaboran un conjunto de planos que sirven como guía en los diferentes tipos de proyecto. De esta manera, estos planos hacen parte del diseño conceptual y están concebidos para que se puedan adaptar a cualquier municipio o región.

CUADRO 3

LISTA DE PLANOS DE DISEÑO DE UN PROYECTO DE RELLENO SANITARIO

N	NOMBRE O TIPO DEL PLANO	CONTENIDO
1	Localización del proyecto	Indicar en un plano, la localización respecto al municipio y el país, indicando las coordenadas referidas a un origen IGAC.
2	Topografía inicial el terreno	Indica las características topográficas del predio sobre el cual se realiza el diseño. Debe incluir obras de infraestructura existentes (vías, redes, instalaciones existentes), cuerpos de agua, zonas boscosas, etc.
3	Planta general	Presenta la descripción general del proyecto, con la localización de zona de relleno sanitario (apariciencia final), vías de acceso, caseta de registro y control, zona de oficinas, planta de lixiviados, procesos complementarios (compostaje, lombricultura, celda de especiales, etc.).
4	Excavación general	A nivel de planta muestra, la excavación de todo el relleno, con sus pendientes y cotas de fondo.

5	Adecuación inicial	<p>La adecuación inicial muestra las obras mínimas de construcción necesarias que permiten recibir y disponer los residuos.</p> <p>Muestra la excavación de la etapa o terraza 1 del proyecto, con cotas de fondo incluyendo el sistema de impermeabilización. Incluye canales perimetrales de agua lluvia, subdrenes para agua subsuperficial, filtros principales y secundarios, pendientes de fondo, diques de estabilización.</p>
6	Apariencias parciales	<p>Comprende un conjunto de planos que indican las apariencias parciales de cada una de las etapas o terrazas, así como las adecuaciones de las siguientes fases. Los planos pueden ser denominados de la siguiente manera:</p> <p>Apariencia parcial de la terraza 1 – Adecuación de la etapa 2.</p> <p>Apariencia parcial de la terraza 2 – Adecuación de la etapa 3.</p> <p>Apariencia parcial de la terraza 3 – Adecuación de la etapa 4., etc.</p> <p>Estos planos son útiles para estimar la vida útil de cada etapa y poder programar las adecuaciones de las etapas posteriores.</p>
7	Apariencia final del relleno	<p>Muestra la topografía final del relleno cuando se ha colmado su capacidad. Incluye el sistema de manejo de aguas lluvias interno y externo, localización de chimeneas, localización de sistemas de monitoreo de la estabilidad geotécnica, bermas de estabilización, pendientes del talud externo del relleno.</p> <p>Este plano permite conocer la capacidad total del relleno expresada en metros cúbicos y consecuentemente la vida útil del relleno.</p>
8	Secciones	<p>Incluye cortes de la apariencia final del relleno en forma longitudinal y transversal, mostrando el sistema de impermeabilización de fondo, las pendientes de fondo, niveles del relleno, etc. Las secciones son útiles para evaluar la estabilidad geotécnica del relleno.</p>
9	Vía de acceso	<p>Comprende la planta-perfil de la vía, con la localización de los puntos requeridos para su localización en campo (PI, PC, PT, etc.). La vía debe estar debidamente abscisada, y mostrar la localización de cunetas, peraltes, rellenos, excavaciones (secciones), cámaras de manejo de agua lluvia, alcantarillas, señalización, etc.</p>

10	Planta de tratamiento de lixiviados	Incluye la descripción de las obras civiles e hidráulicas de cada uno de los procesos de tratamiento de lixiviados.
11	Detalles constructivos.	Debe incluir detalles de las estructuras que componen el relleno tales como: sistema de impermeabilización de fondo, secciones de los canales de manejo de agua lluvia,

3. OBRAS CIVILES REQUERIDAS PARA OPERAR UN RELLENO SANITARIO

Siguiendo el orden lógico del proceso y de acuerdo a los estudios previos realizados sobre el terreno, el ingeniero encargado realizará el diseño del relleno sanitario, que son la base para adelantar las labores de adecuación del terreno, consistentes en un conjunto de obras civiles y de manejo ambiental, requeridas para permitir el acceso, disponer adecuadamente los residuos y administrar y controlar todos los procesos.

Para un relleno sanitario, la adecuación inicial comprende la primera fase, que se refiere a una extensión suficiente para atender por lo menos la cantidad de residuos esperada en los primeros 6 meses.

Las etapas principales para construir un relleno sanitario requieren las operaciones e instalaciones siguientes:

- Mejoramiento de la vía de acceso existente.
- Mejoramiento del cerramiento del predio.
- Desviación o manejo de cauces presentes dentro del predio.
- Adecuación del terreno donde se van a disponer los residuos.
- Preparación del fondo y taludes del terreno (desmante, descapote, excavación y rellenos).
- Construcción drenes y subdrenes para el drenaje de agua subsuperficial.
- Construcción del sistema de recolección de lixiviados de fondo.
- Construcción canales de aguas lluvias.
- Construcción sistema de manejo y tratamiento de lixiviados.
- Construcción de la tubería de conducción de lixiviados hasta el pondaje de control
- Construcción pondaje de control de lixiviados.

- Construcción de pozos de monitoreo perimetral.
- Construcción instalaciones eléctricas.

La primera labor, antes de intervenir el terreno consiste en realizar la localización física topográfica del proyecto sobre el terreno y el replanteo de las diferentes obras que se realizarán durante la construcción del relleno sanitario, tales como la vía perimetral, primera fase del relleno, canales, piscinas de lixiviados y conducciones, entre otros.

Los trabajos de construcción del sitio no comienzan hasta que un estudio hidrogeológico haya permitido definir la localización de la capa freática, su profundidad y la permeabilidad del suelo o de la roca y se haya confirmado que se dan las condiciones adecuadas para que pueda instalarse en el sitio la celda de enterramiento.

Se debe haber seleccionado el método de disposición final de los residuos: Tipo, forma, capacidad del relleno sanitario respecto a los usuarios esperados y la cantidad de basura producida, teniendo en cuenta el horizonte del proyecto.

El método se define haciendo el análisis y procesamiento de la información topográfica.

Luego de la localización topográfica y teniendo claro el diseño realizado por el ingeniero se empiezan las labores de adecuación del terreno

3.1 LABORES DE PREPARACION DEL TERRENO

La preparación del terreno es definitiva para adecuarlo y facilitar las operaciones de ingreso de los desechos, la construcción de celdas y las operaciones del relleno sanitario, por lo que deberán realizarse la limpieza y desmonte del sitio.

En su orden las labores a desarrollar son las siguientes:

- **REMOCIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL**

La remoción de la cobertura vegetal se debe realizar sobre las zonas y vegetación autorizada en la licencia ambiental del proyecto.

La vegetación normalmente es utilizada como material para obras de construcción. Para el material excedente normalmente se define una zona de disposición final en forma controlada.

- **DESCAPOTE**

El descapote comprende la remoción de la primera capa de suelo o capa orgánica como se ve en la figura 6.

Esta capa es normalmente retirada y almacenada en forma independiente al resto del material de excavación. Para evitar su deterioro se puede cubrir con plástico o con lonas.

El material almacenado es posteriormente empleado en los programas de recuperación y protección de taludes expuestos en vías y diques, así como en la cobertura final del relleno sanitario o de zonas de disposición de materiales de excavación.

FIGURA 6

DESCAPOTE



- **EXCAVACIONES Y RELLENOS**

Las excavaciones y rellenos, se deben llevar hasta lograr la geometría, cotas y pendientes previstos en los planos de diseño.

Las excavaciones y rellenos siguen las recomendaciones geotécnicas desarrollada dentro del estudio de suelos y reflejadas en los planos de diseño. En la figura 7 la excavación del terreno para la construcción de un relleno sanitario.

FIGURA 7
EXCAVACION



3.2 CELDAS DE ENTERRAMIENTO

Con tractor se construirán las celdas de enterramiento, sus módulos y submódulos, todo de acuerdo al diseño elaborado por el ingeniero. (Número, ancho, largo, profundidad, altura, inclinación, niveles de excavación, cargas, secuencia de construcción. Número de terrazas, especificaciones, bermas)

Para construir las celdas, en el diseño que ha sido elaborado debe especificarse:

- Cálculo de excavaciones y movimientos de tierra para cada una de las celdas.
- Compactación: especificaciones
- Metodología: Tipo de relleno a construirse.

- Etapas de construcción del relleno, proyectar el funcionamiento de relleno (%de área ocupada, altura, vida útil restante) para cada año.
- Estabilidad de taludes naturales y artificiales: Indicar estabilidad interna que tendría el relleno en cuanto taludes parciales y talud final, considerando el componente sísmico.
- Definir las cotas superiores de la plataforma superior, indicar volúmenes reales a rellenar y a excavar.

La construcción de celdas implica grandes volúmenes de excavación y relleno.

Las pendientes de las paredes y del fondo de las celdas se realizan con mucha precisión y se nivelan cuidadosamente para que el sistema multicapas que descansará sobre estas superficies, funcione eficazmente y no se dañe.

- **CELDA DE SEGURIDAD PARA RESIDUOS PELIGROSOS**

- Localización dentro del proyecto
- Área disponible
- Zonificación de acuerdo al residuo
- Aislamiento
- Diseño especial: especificaciones, impermeabilización, obras de control ambiental para lixiviados, gases, aguas lluvias, cubrimiento etc.

Con la información que ya se tiene sobre la generación de residuos sólidos totales por día, se diseña el sistema de acomodo de la basura estableciendo diferentes etapas de ocupación del relleno.

La celda diaria queda definida en altura, largo y ancho en valores mínimos y máximos con especificaciones condicionadas a la maquinaria que se va a utilizar.

La altura más recomendable es de 2.5 a 3.0 m

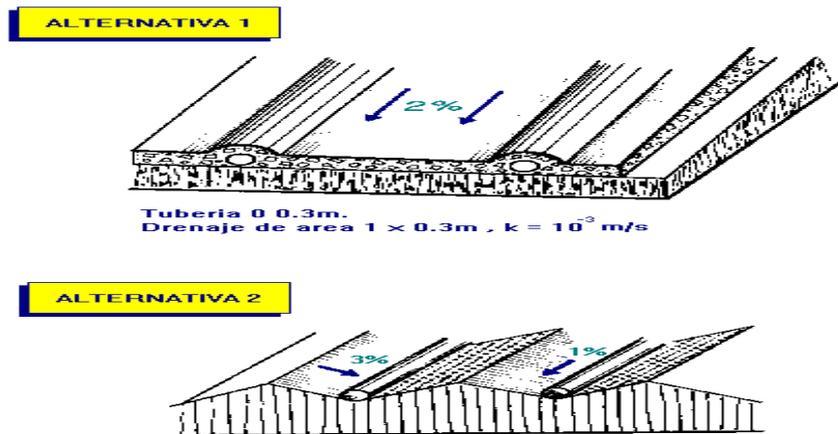
3.3. RED DE DRENAJE PARA LAS AGUAS SUPERFICIALES

Para impedir el drenaje de aguas superficiales en la celda de enterramiento, las aguas pluviales se interceptan antes de que entren en contacto con los desechos.

Para ello se debe construir zanjas y conductos hacia la red de drenaje externo, de tal forma que la cantidad de agua de lixiviación durante el funcionamiento de la celda se reduzca al mínimo. (Figura 8)

FIGURA 8

SISTEMA DE DRENAJE DE AGUAS SUPERFICIALES



En caso de que los niveles freáticos se encuentren altos, o en caso de que se detecten flujos de agua subsuperficial que puedan generar presiones de agua sobre la base del relleno, es necesaria la construcción de sistemas de alivio de agua.

Para tal efecto, sobre el terreno ya adecuado se pueden construir subdrenes consistentes en zanjas rectangulares provistas de geotextil y material granular que permitan la captación de agua y su evacuación hasta las redes externas de manejo de aguas lluvias.

Los subdrenes se deben localizar directamente sobre el terreno natural y debajo de sistema de impermeabilización de fondo.

3.4 IMPERMEABILIZACION DEL RELLENO

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

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

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

En el diseño de un relleno sanitario es de primordial importancia tomar en cuenta las medidas para evitar el contacto de los residuos con el ambiente.

Se definen tres elementos o barreras independientes:

- El pre tratamiento adecuado de los residuos
- La técnica de aislamiento a través de un sistema combinado de impermeabilización permanente con un drenaje eficaz para los lixiviados
- Un sitio favorable desde el punto de vista geológico.

Para ello se deben hacer los siguientes análisis:

- Tipo de impermeabilización para el fondo del relleno y paredes laterales
- En el diseño indicar si se realizará impermeabilización natural por las características del terreno o si es necesario la conformación de una barrera artificial

- Si se realizará la impermeabilización natural indicar el tipo de material a emplear, espesor, especificaciones técnicas, sitios de origen, cantidad necesaria, pruebas que se realizarán.
- Si se requiere impermeabilización artificial indicar en cuanto a la geomembrana a utilizar: criterios técnicos de selección, especificaciones técnicas, controles de calidad para la geomembrana, método de instalación y cantidad requerida.
- Especificar qué tipo de sistema de control para la fuga de lixiviados será instalado por debajo de la geomembrana en el fondo y taludes del vaso del relleno.
- Se presentaran las condiciones especiales para la impermeabilización de la celda de enterramiento.

Dependiendo de los estudios básicos, fundamentalmente el geológico y el geohidrológico se determinan si existe un riesgo de infiltración de los líquidos lixiviados al subsuelo, lo cual podría significar la contaminación del acuífero.

Según los resultados será necesario establecer un método de impermeabilización; los más usados son:

- **IMPERMEABILIZACION POR BARRERA GEOLOGICA**

La selección del sitio permitirá la ubicación del relleno en una zona donde exista una barrera geológica natural. De no existir, también se pueden modificar las características del suelo para crear una barrera geológica.

La barrera geológica debe cumplir una función protectora durante la operación normal del relleno y en caso de rupturas de las barreras técnicas

Durante la operación normal del relleno, la barrera geológica debe permitir estabilidad e impermeabilidad.

La estabilidad implica resistencia a la erosión y difusión, alta densidad, ceder suficientemente sin rupturas y ser poco soluble en el agua. La barrera geológica, además, debe ser impermeable, tener una profundidad suficiente y debe extenderse bajo todo el relleno. Asimismo, debe estar poco petrificado y con capas geológicas poco inclinadas para evitar rupturas geológicas.

En el caso de ruptura de las barreras técnicas, la barrera geológica debe ser poco permeable, resistente a la dispersión y difusión de contaminantes y debe tener baja presión hidráulica. Asimismo, esta barrera debe contener bastante arcilla,

poder absorber el contaminante y tener capacidad limitada para hincharse.

Esta es la última barrera en caso de ruptura y daño de las otras barreras. Las condiciones limitantes pueden garantizar la función de esa barrera a largo plazo.

Según las clases de rellenos recomendados en esta guía, la barrera geológica es indispensable para los rellenos de residuos peligrosos.

Si la zona seleccionada para el relleno no es homogénea o tiene mayor permeabilidad que la que se requiere, entonces será necesario cambiar los suelos y sustituirlos por material apropiado, que se encuentre la napa freática a una distancia menor de 1 m (en su nivel más alto) a la base proyectada del relleno, será necesario levantar el área con material apropiado.

Así mismo, el perfil del suelo es de gran importancia para la estabilidad del relleno. Si ha habido la necesidad de reemplazar sedimentos, el área del relleno deberá ser menor al área de reemplazo dejando 5 metros a cada lado como medida de prevención. Si el índice de pendiente del terreno es menor de 1:7 entonces el relleno podrá ser instalado sin modificar el perfil. Sin embargo si este índice supera esta proporción, el perfil del terreno deberá ser modificado, instalándose el relleno en terrazas.

La importancia de la barrera geológica hace que se requiera una investigación profunda de campo para medir parámetros tales como permeabilidad, homogeneidad, composición del suelo, de la roca, etc. así como una evaluación completa de las condiciones geológicas e hidrogeológicas.

Dado que el nivel del agua subterránea es bastante profundo, la zona insaturada tendrá una función atenuante. Esta zona se caracteriza por un flujo lento de agua y tiene una gran capacidad de absorción de líquidos percolados, por ello constituye un elemento de seguridad adicional. Se debe procurar tener una barrera geológica con una profundidad mínima de 3 metros con una permeabilidad máxima de 10^{-5} m/s.

Para la impermeabilización de fondo de las terrazas primero se debe revisar si el material que se encuentra en el fondo es arcilloso y si cumple con los requerimientos de permeabilidad y especificaciones necesarias.

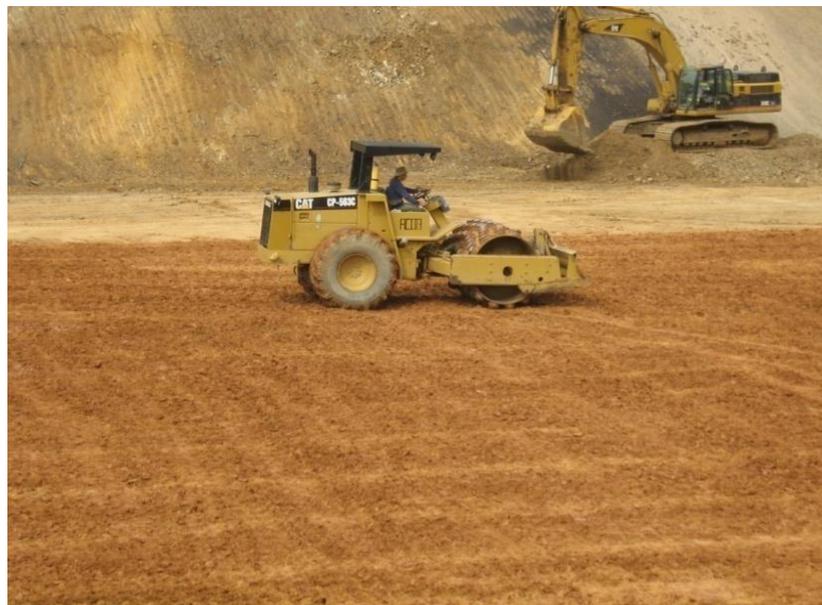
En caso tal de no cumplirse con el requisito se reemplazará así:(Ver figura 9)

- Sobre el terreno emparejado se colocaran 0.60 metros de material arcilloso, homogéneo, sin contenido orgánico, con no menos de 40% de su peso seco

- Este material se colocara en capas de 0.20 o 0.30 metros, con una humedad algo mayor a la optima determinada por el ensayo Proctor Modificado compactándose cada capa con rodillo pata de cabra o similar hasta obtener una densidad seca no inferior a 90% de la densidad seca máxima establecidas por el ensayo citado.
- El coeficiente de permeabilidad en el laboratorio para el material arcilloso no será superior a $K=10^{-6}$ (cm/s).

FIGURA 9

IMPERMEABILIZACION CON ARCILLA



- La capa de arcilla compactada, deberá mantenerse permanentemente húmeda para evitar su agrietamiento, hasta que se cubra con basura, por lo que se recomienda construir esta impermeabilidad solo con la extensión necesaria para ejecutar con comodidad el relleno sanitario.
- Últimamente se ha empleado bastante la arcilla en espesores de 20 a 30 cm. con polietileno de alta densidad entre medios, el espesor de este polietileno oscila entre 1 y 2 mm.

- Se debe usar material mineral apropiado en 3 capas con un espesor mínimo de 30 cm. cada una.
- Cada capa debe contener suficiente arcilla como para asegurar una permeabilidad (K) no mayor a 10^{-9} m/s.
- Para lograr esta permeabilidad en el campo, el material debe demostrar una permeabilidad de 5×10^{-10} m/s en el laboratorio.
- Se deben realizar ensayos de Proctor en el laboratorio para asegurar las condiciones óptimas de este material.
- En caso de no lograr la permeabilidad que se requiere se pueden utilizar aditivos como lo son bentonita, caolinita, entre otros.
- Por la dificultad que presentan durante el trabajo de campo, no se recomienda emplear aditivos con índices plásticos mayores a 30% - 40 %.

Con respecto a la compactación del material de impermeabilización, el Título F, RAS 2000, recomienda las siguientes especificaciones para el equipo de compactación:

- Peso mínimo = 1.800 Kg
- Longitud mínima del pie = 180 mm a 200 mm
- Número mínimo de pasadas del compactador aprobado y verificado para obtener la densificación de referencia = 5
- Los requisitos mínimos a cumplir con respecto a la compactación se refieren a alcanzar, por lo menos, el 95% de la densidad máxima del Proctor Estándar y el 90% de la densidad máxima de Proctor Modificado.

- **IMPERMEABILIZACION POR GEOMEMBRANAS**

Lo más recomendable es la impermeabilización con materiales de polietileno de alta densidad denominados geomembranas y geotextiles.

Las geomembranas están fabricadas con materiales reconocidos por su impermeabilidad, su alta resistencia a una enorme variedad de productos químicos y sus notables propiedades mecánicas la cual corresponde a un plástico de polietileno o PVC, siendo el recomendable el polietileno de alta densidad por ser más resistente.

Para evitar la perforación de una soldadura defectuosa, se implementa un programa de garantía de calidad y de control de calidad durante la instalación de las mismas. (Figura 10)

El calibre de la geomembrana debe atender el procedimiento de cálculo establecido por el RAS 2000, sin embargo, es recomendable que para rellenos sanitarios tipo terraza y trinchera se emplee un calibre mínimo de 1.0 mm (40 Milis).

El geotextil se debe extender sobre todo el fondo y sobre los taludes de excavación

FIGURA 10

IMPERMEABILIZACION CON GEOMEMBRANA



Normativamente todos los rellenos sanitarios deberán contar con un sistema de impermeabilización de fondo.

La función de este es proteger al subsuelo natural adyacente además de las aguas subterráneas de una posible contaminación a causa de los residuos depositados o de los lixiviados que de estos se desprenden. Igualmente protege el relleno sanitario de posibles infiltraciones de agua subsuperficial hacia la masa del relleno.

En caso de que la superficie del suelo natural no sea muy homogénea y presente elementos rocosos que puedan deteriorar la geomembrana, es recomendable instalar un geotextil no tejido, de protección debajo de la geomembrana.

Como medida de prevención, para el caso que pudiera producirse un orificio en esta geomembrana, se suele ocupar una barrera secundaria de protección, entre el suelo y ella. Esta barrera secundaria en el pasado estaba constituida por una capa de arcilla, pero actualmente ha sido reemplazada por un geosintético denominado GCL (geosynthetic clay liner), el cual brinda una protección 100 veces mejor que la de la arcilla.

Sobre la geomembrana se coloca un geosintético denominado geotextil, el cual la protege de la capa de arena y tierra que debe depositarse en la parte superior para permitir el tránsito de vehículos y maquinaria pesada.

A lo anterior se agrega otro geosintético denominado geonet, entre el geotextil y la geomembrana, pero esto forma parte del sistema de drenaje y su función es permitir que el lixiviado circule a través de él, rumbo al sistema de captación (tubería perforada, piscina de acumulación).

- **CONDICIONES ESPECIALES DE LAS AREAS DE CLIMA DESERTICO**

Existen zonas en la Región de América Latina donde la cantidad de lluvia anual es muy baja, por lo que se las considera desérticas. En estos lugares se presentan condiciones especiales que permiten mayor flexibilidad de los requerimientos para el diseño de los rellenos de seguridad.

Se considera que una zona desértica tiene una precipitación anual menor de 200 mm. Por lo general, la vegetación en estas zonas es mínima, y la napa freática se encuentra a una profundidad de 20 metros o más. Asimismo, la relación precipitación/ evapotranspiración es muy baja.

Como resultado, el riesgo de generación de lixiviados por percolación de lluvias es mínimo. Aún así se requiere un manejo adecuado de los residuos y medidas preventivas.

A continuación se discuten las modificaciones posibles a los lineamientos dados en las secciones anteriores.

- Para el aislamiento de la base se debe instalar una capa de arcilla de una profundidad de 0.3 metros con una conductividad hidráulica de por lo menos 10^{-9} m/s.

- Debido a que la velocidad de evaporación del agua en las zonas desérticas tiende a ser elevada, es necesario tomar precauciones para conservar el tenor de humedad óptimo de la arcilla con el fin de lograr la impermeabilización deseada.
- Si no es posible tener la barrera geológica recomendada, se puede compensar esta deficiencia con una capa adicional de 0.3 metros y permeabilidad no mayor a 10^{-9} m/s.
- Sobre esta(s) capa(s) de aislamiento se requiere colocar una capa de drenaje de 0.3 metros, con permeabilidad igual o mayor que 10^{-3} m/s. En este caso no se requiere la instalación de tuberías de drenaje dentro del relleno.
- En el punto más bajo del relleno se deberá instalar un sistema de captación de lixiviados. Este requerirá una capa sintética de aproximadamente 10 metros por 10 metros con fundición de doble seguridad a la tubería de salida,
- Otras geomembranas bastante usadas son el polietileno cloro sulfonado (Hypalon) y el polivinil clorado (PVC), en ocasiones las geomembranas son usadas con geotextiles (tejidos esponjosos) con el fin de protegerlas de desgarramientos y/o punzonamientos.

3.5 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS

La descomposición o putrefacción natural de la basura, produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, muy parecido a las aguas residuales domésticas (aguas servidas), pero mucho más concentrado.

De otro lado, las aguas de lluvias que atraviesan las capas de basura, aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los desechos; de ahí la importancia de interceptar y desviar las aguas de escorrentía y pequeños hilos de agua antes del inicio de la operación, puesto que si el volumen de este líquido aumenta demasiado, puede causar no sólo problemas en la operación del relleno, sino también contaminar las corrientes de agua, nacimientos y pozos vecinos.

Desde el punto de vista normativo y para garantizar la viabilidad ambiental del relleno sanitario, se requiere de un sistema de recolección y tratamiento de lixiviados.

Para el diseño e implementación de una planta se requiere estimar los caudales de lixiviado a tratar, para lo cual se puede hacer un balance hídrico año a año.

Sin embargo, es importante señalar que la producción de lixiviados depende de factores externos, constructivos y operativos que incluyen los siguientes:

- Factores climáticos (precipitación y evaporación)
- Propiedades de los residuos, tales como la composición fisicoquímica y principalmente el contenido de humedad.
- Tamaño del frente de Trabajo o frente de descargue.
- Materiales y espesores utilizados como sistema de Impermeabilización de la cobertura final.
- Tiempo en el cual se alcanza la cobertura final, asociado a la secuencia de llenado.
- Pendientes de drenaje durante construcción y final del relleno
- Calidad de las obras.

El flujo constante de líquido percolado hasta el depósito de acumulación y el no afloramiento del mismo a los pies de las celdas con residuos es un indicador del correcto funcionamiento del sistema de drenaje.

Por todo lo anteriormente mencionado para recolectar las aguas de lixiviación se instala una red de recolección en el fondo de las celdas, que consta de varios componentes así:

- **FILTROS DE RECOLECCIÓN Y DRENAJE DE LIXIVIADOS**

La recolección y evacuación de los lixiviados en las terrazas se debe realizar por medio de filtros.

Existen dos tipos de filtros:

- Los principales que siguen el sentido longitudinal del relleno.
- Los secundarios que siguen el sentido transversal del mismo.

Los filtros siguen la pendiente de adecuación de fondo, por lo cual se recomienda que ambos tengan una pendiente mínima del 3% para garantizar mayor eficiencia en la labor de drenaje.

Estos filtros se deben distribuir en forma de espina de pescado, aunque preferiblemente en ángulos rectos ya que estos son más eficientes en interceptar las corrientes de flujo del lixiviado y facilitan la labor de instalación de la geomembrana.

Cada tipo de filtro está compuesto de una tubería y un lecho en material de grava.

La grava que recubre la tubería perforada del filtro debe contar con una granulometría que varíe entre 0,5 a 1,5 pulgadas, para facilitar su infiltración.

Por norma, la tubería debe diseñarse bajo una condición de cabeza hidráulica de 0.30 m sobre la tubería; sin embargo, es recomendable emplear tamaños de tubería mucho mayores ya que el fluido a transportar presenta altos riesgos de incrustación lo que finalmente se traduce en una pérdida del diámetro efectivo de la tubería.

De esta manera se recomienda que el diámetro mínimo de tubería para todos los rellenos sea de 150 mm.

El material de la tubería debe ser de polietileno de alta densidad ya que esta es resistente al aplastamiento; en todo caso la tubería que se emplee debe contar con especificaciones de carga máxima de aplastamiento, ya que ésta va a estar sometida a cargas importantes que son ejercidas por los residuos, la cobertura y la maquinaria.

Para efectos de mantenimiento periódico, es recomendable que la tubería de los filtros principales y secundarios, se extienda por los taludes del relleno y lleguen hasta la parte externa del relleno, de tal forma que cuando se complete la configuración final del relleno, se pueda inyectar agua a presión, químicos o sondas que permitan limpiar los filtros.

El filtro principal desembocará en una caja de recolección, la cual estará ubicada en el punto más bajo del relleno sanitario y de allí se conducirán los lixiviados, en tubería hasta el pondaje (piscina de lixiviados) lugar en el cual saldrán posteriormente hacia una planta de tratamiento.

La tubería de conducción de lixiviados deberá ir protegida en cruces viales por medio de lechos, cajas o tuberías de concreto que absorban las carga impuestas por los rellenos y el paso de los vehículos y maquinaria pesada.

- Para rellenos tipo terraza los diámetros recomendados en filtros principales es de 200 mm
- En rellenos sanitarios tipo trinchera, debido a su baja altura, la carga de aplastamiento es baja, por lo que en lugar de tuberías de polietileno, se pueden emplear otros tipos de materiales que de todas maneras garanticen la resistencia de aplastamiento ejercida por el relleno.

Para los rellenos tipo trinchera se diseña un filtro longitudinal de fondo, el cual está conformado por tubería perforada RDE 21 de 150 mm de PVC, la cual va embebida en grava de granulometría de 1" a 2".

Durante la adecuación dicho filtro va completamente sellado con una geomembrana temporal de polietileno de alta densidad de 20 Milis, la cual se va retirando progresivamente a medida que se llena la trinchera con residuos durante su operación.

El sello temporal está previsto para que el agua lluvia no ingrese al filtro de lixiviados e incremente su volumen y solo los residuos estén en contacto con el material granular del filtro

La tubería del filtro de lixiviados, desembocará en el punto más bajo de la trinchera en el cual se construirá una caja de fondo para lixiviados, de donde saldrán los lixiviados por la tubería hacia una caja externa de lixiviados donde se pueden captar los lixiviados de varias trincheras. Los lixiviados deben ser finalmente conducidos a la planta de tratamiento.

Cabe la pena aclarar, que el diseño de los rellenos tipo trinchera debe estar previsto para manejar las aguas lluvias y los lixiviados en forma independiente.

- **SISTEMA DE CONDUCCION DE LIXIVIADOS**

Consiste en la instalación de la tubería de conducción que llevará el lixiviado generado en el relleno y recolectado por el filtro de fondo de la misma, hasta el pondaje de control.

La colocación de esta tubería incluye la construcción de cajas de cambio de dirección o de quiebre.

Los conductos recolectores están perforados y son de polietileno de alta densidad.

Dichos tubos son colocados en fosas y posteriormente cubiertos con grava y un geotextil de filtración para minimizar los riesgos de obstrucción. (Figura 11)

FIGURA 11

RED DE RECOLECCION DE LIXIVIAD



- **SISTEMA DE AFORO**

Consiste en la instalación de una canaleta tipo parshall para medir los caudales de lixiviados generados en el relleno y que ingresan al pondaje de control.

Las especificaciones de la canaleta dependen de los caudales a manejar. Es recomendable que esta se construya en fibra de vidrio o material similar resistente al ataque químico de los lixiviados.

- **PONDAJE DE CONTROL**

El diseño ha previsto la construcción de un pondaje cuya finalidad es la de permitir la regulación del caudal previo a su envío a través de las líneas de conducción para su disposición final.

Dicho pondaje permite además la homogenización del lixiviado.

Debido a su edad y nivel de estabilización, se espera que dichos lodos presenten características estables por lo que no se requiere tratamiento biológico previo a su disposición final.

Sin embargo, su contenido de humedad es alto por lo que se hace necesaria su deshidratación previa a la aplicación de cal. La deshidratación puede realizarse mediante su aplicación en una placa de concreto.

Para la estabilización con cal a los lodos se les puede aplicar una dosis del 5% (en peso). Posteriormente, el lodo puede ser dispuesto en el relleno sanitario.

- **PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS**

Se construyen lagunas para recolectar y tratar las aguas de lixiviados que provienen de las celdas de desechos sólidos, donde la degradación de los contaminantes orgánicos se logra por medio de la acción bacteriana.

El sistema de manejo habitual empleado en los rellenos sanitarios hasta el momento ha sido el de recirculación de lixiviados, también podemos citar algunos tratamientos como:

Evaporización de lixiviados

Tratamiento conjunto con las aguas residuales

Tratamiento biológico aerobio

Tratamiento biológico anaerobio

Tratamiento físico químico

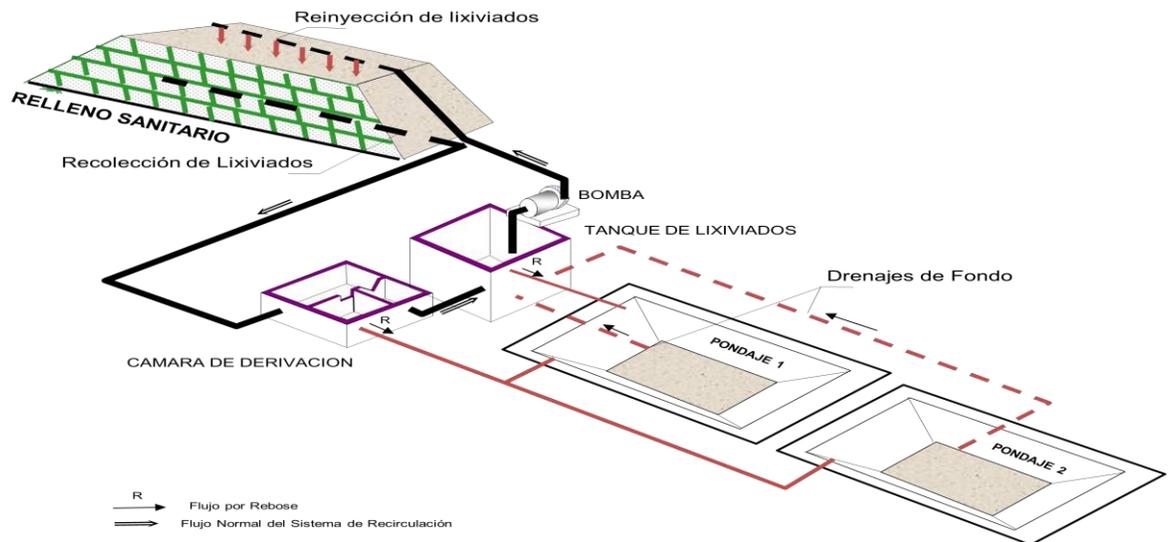
Proceso biológico Biomembrat

El proceso de recirculación de lixiviados, si bien no constituye un sistema de manejo final, representa una alternativa eficiente y económica de manejo primario, aunque debe necesariamente contemplarse una etapa de tratamiento posterior.

La recirculación del lixiviado se efectúa captándolo en sectores que se muestran saturados e inyectándolo en puntos de baja o nula acumulación. Este hecho favorece además la distribución de los líquidos percolados en la masa de basuras, abarcando un mayor radio de acción y mejorando las condiciones para la formación del biogás.

En la figura 12 se muestra todo los componentes de la planta de tratamiento de lixiviados.

FIGURA 12
PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS



Si, por obstrucción del sistema de drenaje o excesivo volumen de generación de lixiviados, se producen afloramientos de percolado a los pies de las celdas, se construyen pretils de 1 m. de altura y 2 m. de base, con material arcilloso o similar al empleado en la cobertura de las celdas.

Si se forman canales de lixiviado entre el pie de la celda y el pretil, se cubren mediante armazones de madera anclados al pretil y a la celda, forrados en polietileno de 0,2 mm para evitar el esparcimiento de malos olores y que el líquido pueda entrar en contacto con aguas lluvia.

Como planta de tratamiento de lixiviados se ha sido previsto tratamiento físico-químico, el cual consta de los siguientes elementos.

✦ Tanque de reacción.

En el tanque de reacción se llevan a cabo los procesos de alcalinización, mediante adición de suspensión de cal o de solución de soda; coagulación, mediante adición de una solución de coagulante; y floculación, mediante la adición de polímero floculante.

Una vez llevados a cabo estos procesos, el agua se deja en reposo para permitir la sedimentación de los flocos formados, con lo cual se obtiene un agua clarificada que es descargada a través de válvulas ubicadas en la parte lateral del tanque. (Figura 12)

FIGURA 12
TANQUE DE REACCION DE LIXIVIADOS



Una vez retirada el agua clarificada, en el fondo quedará un lodo, el cual es ajustado con más polímero y luego es descargado a sacos de polietileno, en los cuales se libera parte del agua, obteniéndose un lodo bastante concentrado que debe ser deshidratado y estabilizado con cal antes de su disposición en el relleno.

✦ **Bomba de alimentación.**

Una bomba sumergible, la cual envía el agua desde el tanque colector hasta el tanque de reacción. La potencia de la bomba depende del caudal a tratar y la cabeza hidráulica del sistema. Puede poseer sensor de nivel de flotador para protegerla de operación en seco.

✦ **Preparación de reactivos.**

Los reactivos se pueden preparar en tanques. Los reactivos incluyen el alcalinizante, el coagulante y el polímero floculante.

La preparación de la suspensión de cal o solución de soda del coagulante y del polímero floculante se puede efectuar en tres tanques de 75 litros de

capacidad, fabricados en polietileno. La agitación para disolución de los reactivos se puede realizar con un agitador manual, fabricado en acero inoxidable.

La adición de cada uno de los reactivos se hará en forma manual, midiendo, en un balde aforado de 10 litros, las cantidades correspondientes de cada uno y descargándolas al tanque de reacción, en el orden requerido.

✦ **Tablero eléctrico.**

Un tablero eléctrico con gabinete en acero al carbono, en donde se encuentran ubicados el variador de velocidad que controla al moto reductor del agitador del tanque de reacción y los elementos eléctricos de la Bomba. Es apto para operar a la intemperie.

Para asegurar el crecimiento de las bacterias se agregan abonos a base de fosfato, fertilizantes y potasio. Para suministrar oxígeno a las bacterias y garantizar un mezcla eficaz de lixiviado, se instalan aireadores.

El tratamiento dura aproximadamente 45 días y permite reducir la cantidad de lixiviado. Después del tratamiento el lixiviado se desinfecta, lo que permite entonces descargarlo a la red de drenaje local, o bien utilizarlo para riego o para facilitar la compactación y la biodegradación de desechos.

• **POZOS DE MONITOREO**

En la parte periférica del relleno sanitario se debe construir cuatro pozos de monitoreo.

Cada pozo consiste de una tubería vertical perforada de 0.15m a una profundidad hasta de 10.00 m, rodeada de material de grava. Ver figura 13

El piezómetro está destinado para detectar la presencia de humedad en la zona periférica del relleno y a la toma de muestras en caso de que ésta sea detectada con el fin de poder determinar la efectividad del sistema de impermeabilización y control ambiental.

FIGURA 13

POZO DE MONITOREO LIXIVIADOS



3.6 SISTEMA DE DRAJAJE DE GASES

Un relleno sanitario no es otra cosa que un digestor anaeróbico en el que, debido a la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos, no sólo se producen líquidos, sino también gases y otros compuestos.

La descomposición natural o putrefacción de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, ocurre en dos etapas: aerobia y anaerobia.

- La aerobia es la etapa en la que el oxígeno está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados, siendo rápidamente consumido.
- La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario y produce cantidades apreciables de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), así como trazas de gases de olor repugnante como ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos.

Ambos gases son incoloros e inodoros, por lo que son otros gases, como el ácido sulfhídrico y el amoníaco los que le otorgan el olor característico al biogás y permiten su detección por medio del olfato.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen.

Los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno; aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir, pudiendo originar altas concentraciones de metano con el consiguiente peligro de explosión en las áreas vecinas.

Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases.

Este control se puede lograr, construyendo un sistema de drenaje vertical en piedra, colocado en diferentes puntos del relleno sanitario, para que éstos sean evacuados a la atmósfera. También se pueden emplear chimeneas las cuales se construyen a una altura de un nivel de residuos durante la adecuación inicial y se continúan construyendo a medida que la altura del relleno sanitario se va incrementando.

Como el gas metano es combustible, se puede quemar simplemente encendiendo fuego en la salida del drenaje, una vez concluido el relleno sanitario.

También se puede aprovechar este gas como energía como lámpara para iluminar el terreno.

Es de anotar que la recuperación y aprovechamiento del gas metano con propósitos comerciales, sólo se recomienda para rellenos sanitarios que reciban más de 200 ton/día, y siempre que las condiciones locales así lo ameriten.

En un relleno sanitario, la cantidad de gas producido y su composición depende del tipo de residuo orgánico, de su estado y de las condiciones del medio que pueden favorecer o desfavorecer el proceso de descomposición.

En los rellenos sanitarios de área, se utilizan varios niveles de celdas para dar disposición a los residuos, por lo que es probable que se tenga una producción continua de biogás después de algunos años, cuando se alcancen unos tres niveles de celdas.

Por esta razón resulta conveniente instalar chimeneas de drenaje, equidistante entre sí.

Cuando los rellenos sanitarios son construidos en depresiones, ya sean naturales o artificiales resulta conveniente hacer un drenaje perimetral con el fin de evitar la migración lateral, este puede ser continuo o constituido por chimeneas colocadas

a menores distancias que las ubicadas al interior del relleno.

El gas de los drenes puede ser quemado en el mismo relleno o ser extraído para almacenarlo en gasómetros y luego enviarlo al consumo domiciliario o industrial.

De acuerdo con el Título f, RAS 2000, los rellenos tipo terraza deben contar con chimeneas provistas de tuberías y material granular, instaladas en una densidad de 4 unidades/Ha.

Durante la adecuación inicial la estructura de la chimenea se levantará sobre la capa drenante de fondo, empezando por su cimentación la cual está compuesta por un gavión de donde sale la tubería conductora de los gases de polietileno de alta densidad.

Para el caso del relleno tipo trinchera se puede emplear el mismo diseño realizado para relleno tipo terraza; sin embargo, debido al bajo espesor y tomando en consideración que el sistema de tratamiento de lixiviados es recirculación, se debe prever en el diseño conceptual la construcción de chimeneas superficiales, que se colocarían junto con la cobertura final del relleno.

Para realizar estos diseños se debe tener con antelación los siguientes datos:

- Estimativos de la producción de gas y composición a esperarse
- Sistema de drenajes para la evacuación de gases, método a utilizar: Chimeneas, especificar, altura, diámetro, material a utilizar, método constructivo, número de chimeneas ubicación, distancia entre ellas, interconexión etc.
- Contemplar el área correspondiente a la parte del manejo de los residuos peligrosos (celdas de seguridad).
- Especificar si se dará un tratamiento a los gases, o si existen alternativas de utilización.
- Sistemas de control.
- La producción de biogás debe calcularse y consecuentemente, hacerse el diseño de los medios de captación y control para conducir los gases a la atmósfera, disminuyendo los riesgos de incendio o explosión.
- Dependiendo del volumen de basura a manejar, se determina el diámetro y distribución de los pozos del biogás.

El sistema constructivo para evacuar los gases contempla las siguientes partes:

✦ CHIMENEAS HORIZONTALES PARA LA EXTRACCIÓN DE GAS

Se podrán diseñar chimeneas horizontales, las cuales se deberán instalar a partir del segundo nivel, en donde se deberá realizar excavaciones en los residuos sólidos, conformando zanjas con base de 0,60 m y altura de 1,20 m.

Las zanjas serán rellenas de grava hasta la mitad, para instalar posteriormente la tubería perforada de 0,25 m de diámetro, y sobre esta mas grava hasta llenar la zanja, para luego continuar con la disposición de residuos sólidos. Tal como lo muestra la figura 14.

FIGURA 14
CHIMENEAS HORIZONTALES



Será opción del diseñador la colocación de geotextil en la zanja antes de instalar la grava y la tubería, el cual dependerá de la compactación realizada a los residuos sólidos y las características de los residuos sólidos.

Las juntas de la tubería deberán ser abiertas, que le permitirá un adecuado funcionamiento aún, cuando se presenten asentamientos, las zanjas se

colocarán en intervalos verticales de 20 m y en intervalos horizontales cada 60 metros.

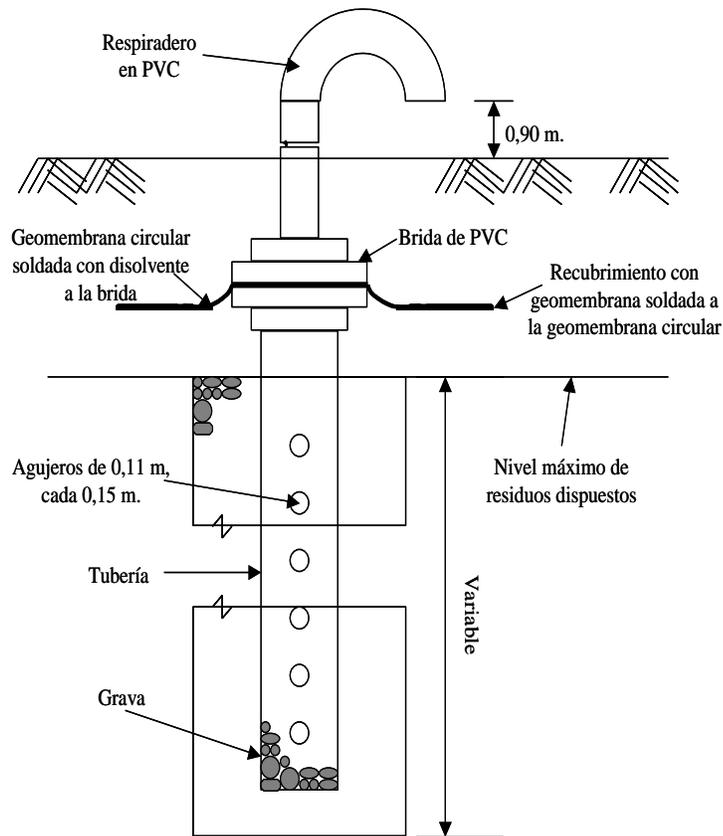
Las tuberías ubicadas en las zanjas se conectarán a un tubo colector de gas que será instalado en el límite del relleno sanitario adyacente a las paredes del nivel del suelo existente.

✦ **CHIMENEAS VERTICALES PERIMETRALES AL RELLENO SANITARIO PARA EXTRACCIÓN DE GAS Y CONTROL DE OLORES.**

- Este sistema es recomendado para rellenos sanitarios con profundidad mínima de 8 m.
- Las chimeneas verticales se localizan dentro o en el borde del relleno sanitario.
- Cada chimenea se conecta a un tubo colector común que debe estar conectado a un soplador centrífugo de manera que conduzca una presión negativa en el colector y en las chimeneas individuales.(Figura 15)
- La pendiente del colector es del 3% para permitir el movimiento del condensado hasta las trampas de recolección.
- Debe ventilarse o quemar el gas extraído del relleno de una forma controlada, en la estación del soplador.
- La chimenea consistirá de una tubería de 0.10 m a 0.16 m, colocada en una perforación de 0.45 m a 0.90 m
- Del tercio a la mitad inferior se perfora y se coloca en un relleno de tierra o en su defecto de residuos sólidos.
- Para prevenir la entrada de aire, las chimeneas deben ser equipadas con tomas para el muestreo de gas y válvulas para controlar el flujo.

FIGURA 15

CHIMENEA VERTICAL



✦ ZANJAS PERIMETRALES AL RELLENO SANITARIO PARA LA EXTRACCIÓN DEL GAS.

El sistema de zanjas se recomienda en rellenos con profundidades menores de 8 m. Estas zanjas son instaladas en el suelo original adyacente al perímetro del relleno; están llenas de grava y tuberías perforadas conectadas lateralmente a un colector y compresor centrífugo de extracción.

Las zanjas pueden extenderse verticalmente desde la superficie del relleno hasta la profundidad total de los residuos, sellándose en la superficie.

Se pueden utilizar válvulas de control para el caudal.

✦ CHIMENEAS PERIMETRALES AL RELLENO CON INYECCIÓN DE AIRE.

En este sistema debe instalarse chimeneas verticales en el suelo original entre los límites del relleno y las instalaciones que deben protegerse contra la intrusión del gas.

Este sistema es recomendado para rellenos sanitarios con profundidad mínima de 7m, en zonas de suelo inalterado entre el relleno y las propiedades potencialmente afectadas.

Opcionalmente las chimeneas se pueden construir 1 a 2 años después de logradas las cotas definitivas de diseño. Esta opción es particularmente aplicable para rellenos sanitarios de gran altura (más de 20 m), donde los asentamientos y desplazamientos horizontales que ocurren principalmente en los dos primeros años, pueden destruir las chimeneas.

3.7 TRAMA VIAL

Otro elemento fundamental de infraestructura lo constituye la red de caminos de acceso y los caminos internos a través de los cuales circulan los camiones recolectores de basura y la maquinaria pesada.

El diseño y las obras civiles deben permitir la circulación en el relleno todos los días del año, incluyendo días lluviosos.

Para la operación del relleno se requiere la construcción de una vía de acceso principal o vía interna que permita el ingreso de los vehículos y su arribo hasta la zona del relleno.

En la figura 16 se muestra la vía interna de un relleno sanitario.

FIGURA 16

VIA INTERNA DE RELLENO SANITARIO



Las vías de acceso se deben construir teniendo en cuenta los cálculos de

- Relación oferta vial-demanda requerida para el proyecto.
- Número de vehículos que acudirán diariamente.
- Cálculo de flujo por hora.
- Tipo de vehículos que van a operar.
- Capacidad del relleno.
- Estado actual del suelo.

Se presentaran los respectivos diseños de la red vial, especificando longitud, ancho, pendiente, radio de giro etc.

Sin embargo para su implementación se recomienda que estas tengan las siguientes especificaciones técnicas:

- Ancho : 8.0 m. con doble pendiente transversal de bombeo
- Cunetas : Dos de 1 metro de ancho revestidas en concreto
- Estructura: Afirmado o pavimentado para rellenos de más de 250 ton/día
- Pendiente: Máxima del 5% en menos de 20 m.

La vía debe incluir la respectiva señalización, de acuerdo con las condiciones particulares de la misma. En ese sentido se recomienda la incorporación de señales de tipo informativo, preventivo y obligatorio.

La vía, permitirá acceder al área del relleno durante las obras de adecuación del terreno y de igual forma servirán para el tránsito de los vehículos durante la operación.

Las cunetas deben ser conectadas a los canales principales previstos para el drenaje de aguas lluvias.

Para el acceso principal a la zona de disposición, se proyecta una vía de Ocho (8) metros que permitirá la circulación de los vehículos en los dos sentidos y cumplirá con todas las especificaciones técnicas requeridas.

Para el diseño de las pendientes se debe tener en cuenta las recomendaciones de los fabricantes de los equipos compactadores que se tienen proyectados utilizar.

Las vías van incrementando su pendiente a medida que llegan a los otros niveles.

3.8 OBRAS COMPLEMENTARIAS

Un relleno sanitario generalmente cuenta con otros conceptos de obra e instalaciones como son:

- Valla informativa
- Caseta de entrada, control y vigilancia.
- Almacén y oficinas administrativas.
- La báscula y caseta de pesaje
- Los señalamientos viales,
- La cerca perimetral
- Patio de maniobra
- Área de emergencia
- Caseta de vigilancia
- Malla protectora para papeles

- Las bermas de contención,
- Las obras de desvío de aguas pluviales,
- Los talleres para resguardo y mantenimiento de maquinaria,
- La acometida eléctrica, e instalaciones hidráulicas

- **CERCO PERIMETRAL.**

Se proyectará la construcción de un cerco perimetral que sirva para controlar el acceso al relleno sanitario y evitar la entrada de personas ajenas a la obra, así como garantizar los trabajos previstos, como también para que durante la operación los materiales que puedan ser arrastrados por el viento se queden adheridos a él, además servirá para retener los posibles olores que se puedan presentar y minimizar el impacto visual que se presente.

Este cerco se debe realizar en toda el perímetro del relleno y puede hacerse en cerca viva para que armonice con el paisaje.

El nivel en que se coloque debe estar de acuerdo a las cotas superiores del relleno.

- **BASCULA.**

Para llevar un control exacto de las basuras que estarán entrando al Relleno Sanitario se tiene proyectado la instalación de una Báscula en la entrada, al lado de la portería, con una capacidad mínima 50 Toneladas.

Un ejemplo de báscula el que se muestra en la figura 17.

FIGURA 17
BASCULA DE PESAJE DE RESIDUOS SOLIDOS



Este control a la entrada permitirá hacer un seguimiento, con el cual se podrán hacer los ajustes necesarios que se requieran para conservar lo previamente diseñado, y de esta forma verificar que realmente el Relleno Sanitario tendrá la vida útil para la cual fue diseñado.

- **INSTALACIONES ELÉCTRICAS E HIDRÁULICAS**

Durante la adecuación inicial se deben construir las redes e instalaciones eléctricas necesarias para la iluminación de las vías de acceso y frente de trabajo.

Para tal efecto se realizarán conexiones de la red que se localiza junto al área del proyecto.

De igual forma se realizarán las redes hidráulicas para el sector de oficinas, casetas y almacén.

4. PROCESO DE OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO

4.1 INGRESO DE RESIDUOS

La complejidad de la operación de un relleno sanitario, estará en función del tipo de residuos que reciba.

A continuación se describe la atención que se requiere, cuando por causas de fuerza mayor, es necesario recibir y disponer residuos especiales:

- **RESIDUOS VOLUMINOSOS.**

Entre los residuos voluminosos se incluye aparatos eléctricos, muebles, troncos de árbol etc. Estos residuos deben manejarse de la siguiente manera:

- Disponerse en un área separada del área principal de trabajo.
- Descargar en el pie de talud y compactar otros residuos alrededor de ellos.
- Compactar los objetos voluminosos en suelo firme, para incrementar la compactación.

- **RESIDUOS INFECCIOSOS.**

Los residuos infecciosos requieren una aprobación especial para su manejo y disposición final. Deberá contarse con la misma, antes de iniciar su depósito.

- Preferentemente, deberán ser incinerados o esterilizados previamente a la disposición final para eliminar los agentes patógenos;
- Disponerse en un área separada del área principal de trabajo.
- No practicar la disposición final conjunta.
- En caso de que por alguna circunstancia se tengan que recibir residuos sin esterilizar, deberá aplicarse un método de disposición final que garantice la seguridad laboral y pública durante las

actividades de relleno sanitario. Todo bajo estricta autorización y supervisión de la autoridad correspondiente.

- Cubrir inmediatamente para prevenir contaminación o separación de subproductos.

- **ANIMALES MUERTOS.**

En los sitios de disposición final es común que lleguen animales muertos a las áreas de relleno. Por tanto, en algunas ocasiones será necesario recibirlos y los procedimientos recomendados para su manejo dentro del relleno sanitario son:

- Las mascotas domésticas, pueden enterrarse conjuntamente con los residuos sólidos.
- Los animales mayores deberán disponerse en un área separada del área principal de trabajo.
- Cuando por causas de fuerza mayor, se depositen los animales grandes con los residuos sólidos, será necesario cubrir con un espesor mínimo de 0.30 m de material de cubierta.
- Los animales grandes deben ser enterrados a 0.90 m de profundidad como mínimo, para evitar que otros animales los descubran.
- Es recomendable colocar los cadáveres de animales en bolsas de plástico antes de enterrarlos.

- **RECIPIENTES DE PLAGUICIDAS.**

Los recipientes de plaguicidas solamente podrán aceptarse en cantidades pequeñas y bajo la autorización y supervisión de la autoridad correspondiente, siempre que cumplan con lo siguiente:

- Deberán estar vacíos y haber sido enjuagados tres veces como mínimo.
- Deben recibirse por separado para inspeccionarlos.
- Remover el fondo de los recipientes o perforarlos en diferentes partes.

- Disponerse conjuntamente con otros residuos.

- **ASBESTOS.**

Para los asbestos se debe seguir un procedimiento especial y también contar con la autorización y supervisión de la autoridad competente. A continuación se presenta el procedimiento recomendado:

- Deberán envasarse en recipientes o bolsas perfectamente cerrados, las cuales pueden ser fácilmente verificadas;
- Los materiales voluminosos deben ser humedecidos y cubiertos antes de ser transportadas al relleno sanitario;
- La velocidad del viento no debe exceder los 16 Km. /h durante la disposición de estos materiales.
- Los materiales se depositarán en un área separada o bien al pie del talud del frente de trabajo y se cubrirán inmediatamente con residuos sólidos manteniendo por lo menos un espesor de 0.15 m.

- **LLANTAS.**

Las llantas crean problemas en la operación del relleno sanitario. Para su disposición adecuada, se recomienda lo siguiente:

- Colocarlas en la base del frente de trabajo y posteriormente compactar los residuos sólidos encima de ellas.
- Las llantas almacenadas deben ser retiradas del área de relleno activa.
- Cortar o triturar las llantas antes de descargarlas en el frente de trabajo.

4.2 PROCESO OPERATIVO:

La operación del relleno sanitario constituye la construcción propiamente del mismo, por cuanto son los residuos recibidos los que dan origen a las celdas que son las unidades constructivas básicas del relleno.

Para habilitar el relleno sanitario se debe tener en cuenta los diseños de celda elaborados por el ingeniero, para saber donde se iniciará a depositar las basuras.

Es importante antes de empezar a operar el relleno sanitario, capacitar a todos los trabajadores en la construcción, operación y mantenimiento del relleno sanitario, lo mismo que durante todo el proceso del manejo de los residuos sólidos, destacando la importancia de cada actividad y del papel de su participación para lograr un buen trabajo.

La conformación del relleno involucra la realización de las siguientes acciones:

- Conformación de los niveles con los residuos que ingresan diariamente al relleno. Cada nivel está conformado por el conjunto de celdas que se conforman con los residuos que ingresan diariamente. De esta forma la altura de la celda diaria, corresponderá a la altura del nivel.
- Los niveles se deben conformar ordenadamente de la parte más lejana a la más próxima con respecto al acceso de cada nivel. La pendiente de los niveles en cualquier dirección no debe ser superior al 3%.
- Los niveles irán provistos de cobertura intermedia, por lo cual, la labor de compactación es de carácter relevante para una apropiada operación.
- Con miras a mejorar la operación de los vehículos recolectores y cuando ello se requiera, se deben conformar corredores de 20.0 m de ancho para permitir el acceso de los vehículos hasta el frente de trabajo. El corredor debe ser conformado en material de afirmado el cual deberá ser retirado a medida que avance el relleno. Dicho material podrá ser utilizado en la conformación de nuevos corredores.
- Para acceder a los niveles superiores se debe construir vías sobre el relleno con pendientes no superiores del 5% de acuerdo con lo señalado en los diseños.

El proceso de operación de un relleno consiste en una serie de pasos consecutivos a seguir así:

- a) Señalar en el terreno el área que ocupará la primera celda con la basura del día, de acuerdo con las dimensiones estimadas, basadas en el volumen que se espera ingrese al relleno y el grado de compactación que se obtendrá.
- b) Los camiones recolectores de basura que ingresan al relleno, son registrados en la caseta de control y pesados antes de pasar al frente de trabajo donde se localizan los equipos de acomodo y compactación. En ocasiones es necesario permanecer en la zona de espera en los periodos de mayor afluencia de vehículos. Una vez que le toca el turno al vehículo, el acomodador indica el sitio donde se vaciará la basura
- c) Los vehículos deben ingresar hasta el frente de descargue, luego en reversa descargan los residuos en una franja menor a 5m. Para el acceso de los vehículos se deben conformar corredores de vía debidamente adecuados en material de recebo de forma tal que permitan la operatividad de los vehículos que ingresan a la zona de descargue.

La pendiente de las vías construidas sobre los niveles de residuos no debe superar el 3% ya que el tránsito de vehículos se dificultaría en temporadas lluviosas.

- d) Esparcir la basura en capas delgadas de 30 cm en capas de abajo hacia arriba y compactar hasta tener una altura de la celda, de 2.85 Mts y 15 cm de material de cobertura para una altura de 3.00 Mts Trabajar con una pendiente de 1:3 (V.H)
- e) Cubrir los residuos completamente con una capa de tierra, de un espesor de 15 cm, cuando la celda haya alcanzado la altura máxima.

En el caso de no contar con suficiente material para la cobertura diaria, debido a algún imprevisto, se puede cubrir temporalmente con material sintético (plástico o lona) que cumpla con la función de evitar presencia de insectos, roedores y aves, quemas, humos, malos olores, humedad y residuos dispersos, hasta iniciar las labores de disposición de residuos de la jornada siguiente.

- f) Al final de día o a partir del momento en que no se reciban mas residuos, éstos deben ser tapado con el material de cobertura y atendiendo los espesores exigidos en los planos de diseño.

En la figura 18 se resume el proceso antes mencionado.

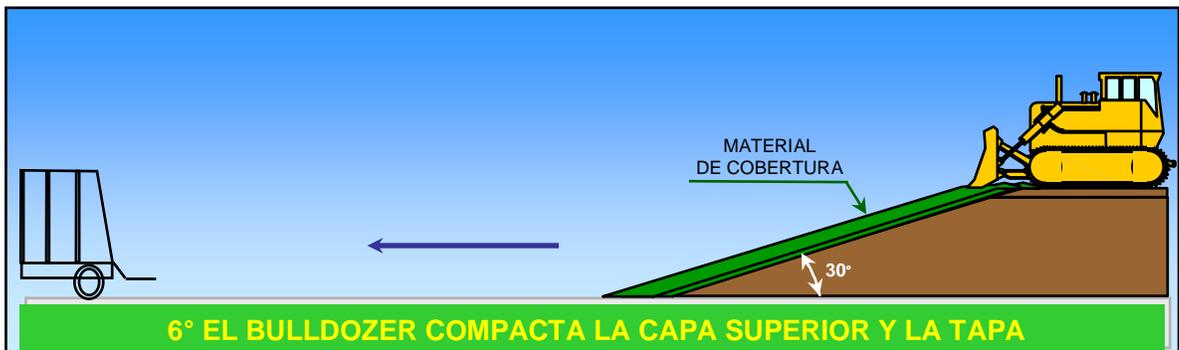
La cobertura debe ser compactada y dispuesta de tal forma que no se observe presencia de residuos. Se recomienda que previamente a la colocación de la cobertura se realice una rectificación de la superficie de la basura con maquinaria tendiente a lograr una superficie plana.

Esto facilita la colocación de la cobertura, su compactación y de esta manera permite que la cobertura cumpla mas efectivamente con sus funciones de minimizar el ingreso de agua lluvia, minimizar la proliferación de vectores, minimizar la emisión de olores y mejorar las condiciones estéticas y paisajísticas del relleno sanitario.

FIGURA 18

PROCESO OPERATIVO DE UN RELLENO SANITARIO





Fuente Cconsorcio CIC-IDOM-ECOFORREST. 2004

Al transcurrir el tiempo, los residuos sólidos se descomponen (parte se transforma en gas y parte en líquido), la tierra de recubrimiento y la humedad penetran en sus espacios vacíos provocando hundimientos o asentamientos en el relleno sanitario.

Como el asentamiento no es uniforme, se producen depresiones en la superficie del relleno, donde se acumula el agua de lluvia por lo que se requiere hacer nivelaciones al terreno y mantenerlo con buena pendiente para su drenaje.

Cuando se ha alcanzado el nivel final de operación de una celda, ésta se cubre con un techo de protección multicapas formado de:

- Una primera capa de terraplén de 30 cm. de espesor;
- Una geomembrana impermeable;
- Una segunda capa de terraplén;
- Una última capa de tierra orgánica para favorecer el crecimiento de la vegetación.

Las labores en el relleno sanitario deben estar organizadas y supervisadas para alcanzar los objetivos propuestos, esto se logra mediante:

- Control de ingreso de residuos sólidos.
- Control de flujo de vehículos.
- Orientación del tráfico y descarga.
- Supervisión en la descarga de trabajo.
- Control del tamaño y conformación de las celdas.
- Distribución adecuada del programa de trabajo.
- Mantenimiento del equipo y dotación de implementos de protección a los trabajadores.
- Vigilancia, para prohibir el ingreso de personas ajenas al relleno sanitario que, intenten depositar residuos no permitidos en este tipo de rellenos y de animales para evitar que dañen las celdas ya conformadas.

Generalmente en los rellenos sanitarios hay un horario para el funcionamiento de la maquinaria pesada, por lo que durante algunas horas los residuos pueden

quedar acumulados hasta que reinicien las actividades de compactación y cobertura.

Lo más recomendable es que no se permita el acceso a recicladores, pues su presencia puede significar accidentes y una operación ineficiente de los equipos.

El control del relleno comprende aspectos operativos, administrativos y ambientales.

- ✦ El control operativo permite el funcionamiento continuo y permanente de los equipos; la solución a problemas como pueden ser la formación de grietas en la masa de basura, el atascamiento de los camiones, la falta de combustibles, etc.
- ✦ El control administrativo facilita la eficiencia operativa mediante el uso de estadísticas de rendimiento así como de ingresos y egresos.
- ✦ El control ambiental consiste en la verificación de una buena impermeabilización del subsuelo y del funcionamiento eficiente de los sistemas de control de líquidos lixiviados y de biogás; es obligatorio el monitoreo de biogás en pozos especialmente contruidos para este fin y de agua con muestreos a diferentes distancias y profundidades del relleno.

Existen varios aspectos generales a tener en cuenta en el proceso de funcionamiento de un relleno sanitario como son:

- -Debe considerarse que el volumen diario de residuos sólidos se incrementará cada año, y en consecuencia también lo hará el tamaño de la celda, lo que indica que puede ser necesario reevaluar anualmente la mano de obra requerida.
- -La generación de biogás en un relleno sanitario, en general, comienza alrededor de los 6 a 8 meses después de colocados los residuos sólidos y se prolonga por un lapso de 15 años después del término de la operación final del relleno.

En el transcurso de la operación de un relleno sanitario se debe realizar por parte del ingeniero ambiental un análisis de impactos socio-ambientales.

Los análisis de impactos ambientales buscan identificar anticipadamente los efectos positivos y negativos que tiene todo proyecto de relleno sanitario en sus distintas fases: selección del sitio, construcción, operación y clausura.

La medición de los impactos debe ser interdisciplinaria y realizarse en los componentes naturales tanto del sitio como del entorno (agua, suelo y aire), al igual que en las variables de tipo económico y social, como son:

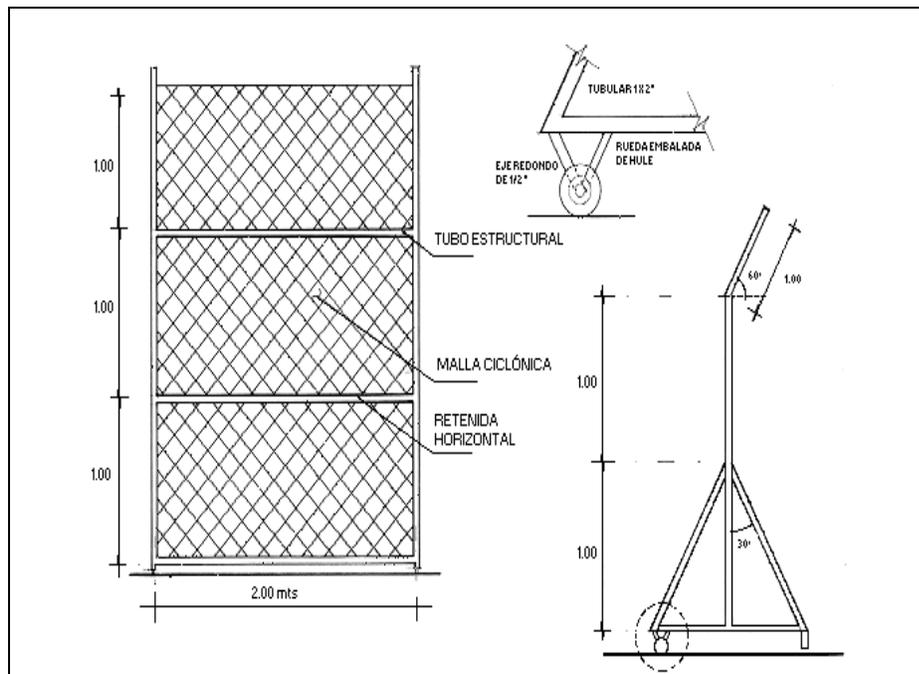
✦ Materiales Ligeros.

Estos materiales (papeles, plásticos, etc.), cuando no son manejados apropiadamente, pueden dispersarse a los alrededores del sitio de disposición final. Para su control se recomienda aplicar los siguientes procedimientos:

- Caja abierta: exigir el uso de cubiertas (lonas), en aquellos vehículos de caja abierta.
- Condiciones de viento: cambiar el frente de trabajo hacia áreas protegidas, usar barreras perimetrales, mallas móviles para control de materiales ligeros (figura 19), plantar árboles que actúen como barreras rompedoras de viento, depositar los residuos en el piso, empujarlos sobre el talud, compactarlos y cubrirlos y cerrar aquellas áreas o sitios que llegan a ser inmanejables.

FIGURA 19

MALLA MOVIL PARA CONTROL DE MATERIALES LIGEROS



- Técnicas de Operación: cubrir pronto y adecuadamente las celdas diarias, compactar los residuos conforme llegan, depositar los residuos al pie de talud de la celda diaria, empujar los residuos sobre la pendiente controlar la velocidad del tractor, mejorar la compactación y aplicar la cubierta diaria. No aceptar materiales o residuos pulverizados en los días de mucho viento.
- Actividades de Descarga: pedir a los transportistas que tomen menos tiempo en salir del sitio.
- Colección de Materiales Ligeros: es importante que se recolecten los materiales ligeros dispersos dentro del sitio, porque pueden ser arrastrados nuevamente hacia afuera. Es mucho más fácil su control en la fuente, pero cuando esto no es posible se puede realizar en el perímetro del sitio. Así el control resultará en menor tiempo de desgaste, que si los ligeros estuvieran esparcidos en áreas colindantes al sitio.

✦ **Polvos**

- Dentro de las medidas de control para polvos, se incluyen:
- Caminos: En caminos transitables en toda época del año (asfaltados) únicamente dar mantenimiento permanente. En caminos de terracería aplicar cloruro de calcio en proporción de 220 a 450 gramos por metro cuadrado sobre el suelo previamente humedecido con agua. (más del 30 % de humedad).
- Actividades de movimiento de tierras: no existen controles específicos que regulen ésta actividad para reducir los posibles impactos fuera del sitio.
- Viento: éste actúa en la cubierta final y en áreas aparentemente terminadas. Para su control se recomienda plantar árboles que sirvan como una barrera, con el propósito de reducir su velocidad (también reduce la visibilidad del sitio).
- Depósito, esparcido, compactación y cobertura de residuos: mojar las áreas de trabajo para reducir el impacto hacia el exterior del sitio durante condiciones de remolinos de viento o de fuertes vientos.(Figura 20)

FIGURA 20
CONTROL DE RESIDUOS LIGEROS



✦ **Olores.**

Los olores normalmente son estacionales por naturaleza y pueden ser controlados a través de:

- La colocación de una cubierta sobre aquellos residuos que han alcanzado un estado avanzado de descomposición; si éstos requieren un manejo especial, se recomienda descargarlos y cubrirlos inmediatamente. El plan de control en las áreas de trabajo dependerá de la dirección del viento.
- Es posible el uso de sustancias químicas para enmascarar los olores en casos especiales, sin embargo, éste método es muy caro y no siempre el más efectivo.
- El adecuado venteo del biogás.
- La recolección, minimización y tratamiento de lixiviados.

✦ **Ruido.**

El ruido puede ser controlado mediante:

- El adecuado manejo de las fases de operación para crear una zona o barrera de amortiguamiento entre la fuente y el receptor.
- Mantenimiento adecuado del equipo.
- Regular las horas de operación de tal forma que sean compatibles con los usos del suelo adyacente.
- Distancias apropiadas.

✦ **Insectos.**

Los insectos básicamente incluyen moscas y mosquitos. Los problemas potenciales de insectos son principalmente la transmisión de enfermedades, mala imagen y molestias a los habitantes cercanos.

El control de insectos puede ser realizado por:

- La cobertura oportuna de los residuos, para poner fuera de su alcance el alimento, el refugio y las áreas para su reproducción.
- Aplicación de soluciones insecticidas, sobre los residuos descargados en el frente de trabajo.

✦ **Roedores.**

Los roedores pueden provocar enfermedades, daños a la propiedad, y contaminación de alimento.

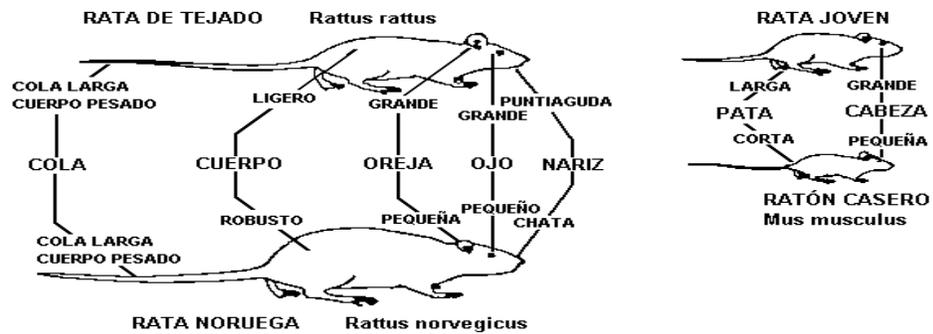
En la figura 21 se muestra el reconocimiento de la presencia de roedores y esta es a través de la inspección de las diferentes áreas del relleno y la identificación de:

- Excrementos.
- Madrigueras.
- Hoyos en construcciones y bermas del relleno.

- Materiales roídos.
- Observación directa de los roedores.

FIGURA 21

IDENTIFICACION DE ROEDORES



RATA NORUEGA



- 1/2" - 3/4" Largo
- 1/4" Espesor

Los roedores, usualmente no son visibles durante las horas normales de trabajo. Si son observados, es un indicador de una severa infestación en el sitio.

- Los procedimientos recomendados para el control de roedores son los siguientes:
- La cobertura oportuna de los residuos.
- Contratar a expertos en eliminación de plagas.
- Tener un estricto control del programa, ya que la simple eliminación de alimento, solamente causará el traslado del problema a otro sitio.
- Eliminación de sus refugios.
- Envenenamiento, mediante el uso de cebos.

✦ Aves

Los gallinazos frecuentemente usan los rellenos sanitarios como una fuente de alimento. Su presencia constituye un riesgo y una fuente de contaminación para las aguas superficiales. Además interfiere en la aeronavegación.

El control de aves es muy difícil. Algunas de éstas podrían pertenecer a especies protegidas o en peligro de extinción y por ello necesitarse permisos especiales si se pretende establecer un programa de eliminación.

-

Los métodos para el control de aves que han sido usados con diferentes grados de éxito, se listan a continuación:

Un método exitoso en el control de aves es el uso de cuerdas elevadas sobre el relleno, las cuales causan interferencia en el sistema de radar de los gallinazos y otros pájaros. En la Figura 22, se presentan los detalles constructivos de dicho sistema.

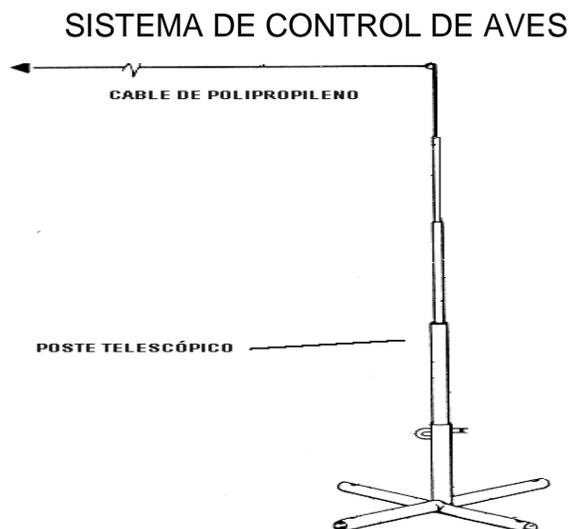
La cobertura oportuna de los residuos.

Sistemas de emisión de ruidos.

Uso de venenos y cebos.

Emisión de grabaciones con sonidos de aves en situación de peligro.

FIGURA 22



4.3 CLAUSURA DEL RELLENO SANITARIO:

Al finalizar la vida útil de un relleno sanitario se continúa con el proceso de Clausura.

El relleno sanitario debe tener consideraciones estéticas y paisajísticas, para que, una vez concluida su vida útil, pueda integrarse al ambiente natural y se armonice con el entorno.

Dependiendo de la normativa local y de lo establecido en los planos reguladores locales para el uso del suelo en el que está emplazado el relleno, se realiza el proceso de recuperación del terreno

Una vez que el relleno ha sido saturado con los residuos sólidos municipales, al término de su vida útil se procede a efectuar el sellado final.

El sellado consiste en la compactación de material de baja permeabilidad con una capa cobertura final compactada de 0,4 a 0,6 metros, como mínimo. (Figura 23)

FIGURA 23

CUBRIMIENTO CON CAPA VEGETAL



Así mismo, se construyen obras complementarias de control de escurrimientos, de contención de taludes, de control de biogás u caminos interiores, entre los más importantes.

Para concluir con el relleno se hacen los drenajes de aguas de escorrentía y la red de evacuación de gases, son esenciales para la vida vegetal sobre el relleno, la que se restringe a especies de raíces cortas mientras el relleno se estabiliza.

Se recomienda sembrar en toda el área arbustos de raíces cortas que no traspasen la cobertura.

Se admite también el plantío en hoyos rellenados con tierra abonada más pasto o grama, a fin de evitar la erosión y el aumento del lixiviado.

A medida que se terminen algunas áreas del relleno, conviene sembrar el pasto sin esperar a que se acabe toda la superficie de las plataformas o terraplenes.

El comienzo de estas actividades está condicionado al grado de consolidación que haya experimentado el terreno, producto de la degradación de la materia orgánica, lo cual se puede establecer a partir de levantamientos topográficos elaborados periódicamente, los cuales indican el momento en que el proceso de asentamiento del terreno está prácticamente acabado.

Lo más común es establecer un área verde con árboles, arbustos y pasto para fijar la capa final de tierra y conformar un paisaje agradable, de tal manera que a mediano plazo permita utilizar el terreno como un sitio de recreo y esparcimiento o bien puede dársele simplemente un uso como área verde. En la figura 24, se muestra la clausura de un sector del relleno sanitario del Oasis en Sincelejo, con cobertura vegetal, para lograr un lugar agradable.

Para minimizar los riesgos y propiciar el crecimiento de especies vegetales mayores, es recomendable que al sitio se le dé un espacio de por lo menos 10 años, para darle el uso apropiado.

FIGURA 24

CLAUSURA RELLENO SANITARIO COMBEIMA



Lo anterior, es debido a que la producción de biogás puede continuar durante 20 a 30 años más después de que el relleno ha sido clausurado y la producción de líquidos lixiviados también continúa durante varios años, además, de que el área cubierta experimentará asentamientos diferenciales debido a la estabilización de los residuo confinados.

Se recomienda que los análisis se efectúen por lo menos 2 veces al año y a medida que transcurra el tiempo y en función de los resultados que se vayan obteniendo, se reducirá el número de parámetros a únicamente los más importantes

La clausura de la celda provisional se efectúa a los 36 meses. Los planes de clausura deben ser congruentes con el uso final propuesto de suelo. En general las clases de uso de suelo son las siguientes:

- Comercial
- Industrial
- Agrícola
- Recreación

Cada una de estas clases tiene una variedad de actividades, densidades de población y tipos de instalaciones que pueden ser construidas. Existen pros y

contras para cada actividad las mismas que deben ser consideradas para la decisión del uso final del sitio.

Generalmente los costos de clausura han sido ignorados en la planeación de los rellenos sanitarios. Desafortunadamente, las autoridades han descubierto muy tarde que la clausura de un sitio de disposición final puede ser muy cara y difícil de cumplir con los requerimientos mínimos. Para esta actividad deben ser alcanzadas dos metas básicas: La primera, la clausura deberá minimizar la necesidad de un adicional mantenimiento del sitio y la segunda, la clausura deberá equipar al relleno sanitario en una posición tal que evite en lo posible hasta los mínimos daños provocados por el impacto ambiental futuro.

A continuación se describen los lineamientos que se deben cumplir durante el proceso de clausura de un relleno:

- Planeación preliminar
- Revisión de los planos relativos a la topografía final del sitio.
- Preparar los planos de drenaje del sitio.
- Especificar las fuentes de material de cobertura.
- Preparar los planos de cubierta vegetal y del paisaje del sitio.
- Identificar la secuencia de cierre para la fase de operación.
- Especificar los procedimientos de ingeniería para el desarrollo de obras complementarias.

El proceso a seguir es:

- **TRES MESES ANTES DE LA CLAUSURA:**

Se debe:

- -Revisar los planos de clausura para complementarlos.
- -Preparar las cédulas de registro del cierre.
- -Preparar el calendario final de las actividades de clausura.
- -Notificar a la institución reguladora.

- -Notificar a los usuarios del sitio (municipio y/o privados)

- **EN LA CLAUSURA**

- Levantamiento de un cercado o estructuras adecuadas para limitar el acceso.
- Colocar un letrero en donde se indique que el sitio esta clausurado y la localización del nuevo sitio para la disposición de los residuos sólidos.
- Colectar los materiales ligeros que se encuentren dispersos en el lugar y colocarlos en la última celda y cubrir.
- Cubrir con material aquellas zonas con residuos descubiertos.

- **TRES MESES DESPUÉS DE LA CLAUSURA.**

- Terminar las obras de drenaje.
- Terminar las obras de control de biogás y lixiviados, así como de monitoreo de agua subterránea y biogás.
- Instalación de dispositivos para la detección de hundimientos.
- Instalar el espesor requerido de material de cubierta sobre el relleno sanitario.
- Establecer la cobertura vegetal.

Las características deseables de la vegetación son:

- Raíces poco profunda
- Pasto de rápido crecimiento
- Resistencia del biogás
- Capacidad para soportar la falta de agua

- Que las raíces del pasto se extiendan horizontalmente sobre el área para prevenir la erosión.

A continuación se citan a manera de información general varias especies de pastos con sus características más importantes:

Agrostis stolonífera. Son especies que forman un césped muy denso. Soporta fácilmente casi todos los suelos, incluso los ácidos. Son muy agresivas, pues se extiende con facilidad por estolones subterráneos y superficiales. No soporta el corte continuo. Se propagan fácilmente por semilla y por multiplicación vegetativa al comienzo y al final de la estación cálida. Son notables las variedades "Penncross", "Toronto", "Seaside" y "Washington".

Andropogon scoparios y A. Virginicus. Comúnmente llamada anaróspura. Especies perennes que pueden alcanzar tallo alto. De consistencia basta, es apropiada para fijar taludes. Soporta bien los suelos áridos y secos. Debe cortarse siempre por encima de 10cm. y se puede multiplicar por plantación vegetativa.

Bromus inermis. Especie perenne de gran desarrollo aéreo y radicular. Es estolonífera, con hojas planas algo toscas y gran cantidad de renuevos; puede formar praderas aceptables en suelos de cualquier tipo, con tal que sean fértiles y estén bien drenados. Soporta los climas extremos y la salinidad. Se multiplica por semilla.

Chloris gayana. Especie perenne de talla elevada, que se desarrolla por tallos rastreros. Es muy fuerte y se adapta esencialmente a climas templados y cálidos, soportando bien todo tipo de suelos. Constituye una excelente colonizadora de taludes. Se siembra al comienzo de la estación cálida.

Cynodon dactylon. Es el pasto o grama de las Bermudas, especie perenne de talla pequeña y muy agresiva.

Tiene gran capacidad estolonífera y se desarrolla bien en todo tipo de suelos, aunque sean semiáridos o se encuentren al borde del mar, Se multiplica fácilmente por semillas, por estolones y por esqueje, durante la estación cálida. Existen infinidad de variedades: "Bayshore", "Oimond", "Sunturf", "Fifgreen", "Uganda", etc.

Dactylis glomerata. Especie perenne de talla alta, con hojas anchas y plegadas. Es una planta muy rústica que soporta cualquier suelo aunque resulte seco y poco fértil. Se utiliza para céspedes fuertes y poco cuidados, multiplicándose fácilmente por semilla.

Festuca ovina. Especie perenne de talla baja y con numerosas hojas basales. Es muy rústica en cuanto al frío y para cualquier tipo de suelo, incluso salino y árido. Se propaga fácilmente por semilla. Se utiliza en praderas de montaña. Son notables sus variedades "Tenvifolia" y "Duriuscula".

Festuca rubra. Especie perenne de talla mediana, provista de abundantes hojas lisas con la base rojiza. Es la festuca más utilizada en las praderas de jardín. Forma céspedes muy densos y tiene cierta tendencia estolonífera. Es rústica en casi todos los suelos, aunque se desarrolla mejor en los calizos. Es excelente en la montaña. Se multiplica fácilmente por semillas. La variedad principal es la "Stolonífera".

4.4 POSTCLAUSURA O MANTENIMIENTO DE LARGO PLAZO

El mantenimiento de largo plazo del relleno sanitario clausurado estará en función del uso final del sitio.

Además la mayoría de estos sitios tienen algunos sistemas de control y monitoreo de biogás y lixiviados que requerirán una continua atención después de haber sido clausurado el sitio.

El monitoreo de agua subterránea debe ser también considerado dentro del diseño para revisar el funcionamiento de los sistemas de control de lixiviados. Otros factores que requerirán un grado de atención continua, son las instalaciones de control del drenaje y el control de la erosión.

Es importante señalar que los cuidados en la etapa de pos clausura de un sitio de disposición final, debe estar sujeta de a una estricta regulación y en la etapa de planeación (diseño y financiamiento) se incluye el aspecto de la pos clausura.

El periodo de la pos clausura abarcará como mínimo un periodo de 10 años.

COMENTARIO FINAL.

A través del ejercicio profesional como topógrafo, he participado en la planeación y construcción de muchos proyectos de infraestructura y saneamiento básico, pero ninguno con tanto impacto en diferentes áreas de la ingeniería como la planeación para la construcción de un Relleno Sanitario Regional.

Todo comienza con la necesidad de encontrar un lote óptimo para trasladar las basuras producidas por la ciudad de Cali (Valle del Cauca) y algunas ciudades vecinas, que depositan en el Basuro de Navarro, hoy con el inminente cierre por estar ya en su cota (Altura) máxima de llenado.

Lo anterior genera la postulación de varios proyectos en el departamento del Valle del Cauca, con el fin de brindar una solución inmediata dentro del marco jurídico y la legislación nacional.

Es así, que durante el desarrollo, y bajo la supervisión de la autoridad ambiental CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca), se depuró este proceso y se perfiló como alternativa más viable, un lote de terreno con características propicias para dar cumplimiento con las exigencias requeridas para la construcción de un Relleno Sanitario Regional.

Dicho lote, ubicado en el municipio de Yotoco, presenta características ideales de topografía, distancia cercana a vía principal, escasa fauna y flora, zona semidesértica, cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos retirados de la zona de influencia, fuera de la trayectoria de líneas aéreas comerciales, etc.

Motivado por lo anterior, se crea la Empresa de Aguas y Aseo del Pacífico S.A. E.SP. (EMAPA), cuyo principal objetivo es la realización de los estudios necesarios para la construcción del nuevo Relleno Sanitario Regional, dando como resultado un equipo multidisciplinario conformado por Ingenieros Sanitario, Civil, Ambiental, Geólogos, Dibujante, Topógrafo, Biólogo, Abogado, Administrador y demás.

En la confección del diseño, y siendo la topografía base del proyecto, se interactúa de manera permanente con los profesionales involucrados, recibiendo de cada uno de ellos, en forma directa, una formación técnica que permita alcanzar la comprensión total de lo que se pretende con el objetivo trazado.

La ampliación del glosario técnico, la aplicación de conceptos adquiridos en la formación profesional, la presentación de nuevas propuestas conducentes a

optimizar los estudios exigidos; pero ante todo, ver representada la academia en un proyecto de tanta envergadura.

Es decir, las materias cursadas durante los estudios de obras civiles, en gran parte tuvieron aplicación directa, ratificando una vez más, el acierto de haber elegido dicha carrera como profesión a desarrollar en un futuro.

A la fecha, y tras haber adquirido capacitación técnica específica para realizar estudios de Rellenos Sanitarios, he participado en otros procesos, como son: Visita de campo al relleno sanitario de Manizales, celda de emergencia (Girardot), celda de emergencia (Toro), Estudios para relleno sanitario regional del norte (Toro).

Es una satisfacción haber participado en la consecución del Relleno Regional de Yotoco, pues a la fecha cuenta con sus correspondientes licencias (Ambiental y Construcción), y en pocos días la recepción residuos sólidos. Una socialización del proyecto ampliada a zonas aledañas, y lo más importante, cambiar de mentalidad a la comunidad acerca del impacto que genera la inadecuada disposición final.

También se está educando a la comunidad para realizar separación en la fuente, que no es otra cosa dista a realizar reciclaje domestico a fin de optimizar los recursos que llegan al depósito final.

Por todas estas experiencias, por la formación adquirida y las nuevas tecnologías, acerca de la disposición final, creo que es de mucha importancia seguir en el proceso cognoscitivo a fin de poder ayudar en parte a la solución de uno de los problemas graves que afronta nuestro país.

Espero que este documento haga un aporte al desarrollo de nuevos estudios en beneficio de la comunidad estudiantil, a administraciones municipales y a todo aquel que se sienta identificado con nuevas soluciones.

BIBLIOGRAFIA

Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente, División de salud y ambiente, ops / oms, "rellenos sanitarios Manuales", 2001.

Cepis, Diagnóstico del manejo de residuos sólidos en América latina y el caribe, Centro panamericano de ingeniería Sanitaria y ciencias de ambiente. 1998.

Cepis. 1993. guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. Cepis: lima.

Cepis, guía para el diseño de rellenos de seguridad en América latina, 1999

Collazos Peñaloza. Héctor, "Diseño y operación de rellenos sanitarios", acodal-aidis, Santa fé de Bogotá, 2001.

Curso internacional sobre diseño y disposición final de los residuos sólidos (rellenos sanitarios). Marzo, 1994.

Decreto 838 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Gobernación de Antioquia, departamento administrativo de planeación, "relleno sanitario manual – guía para el diseño, construcción y operación", Medellín 1992

Ipes. Metodología para la localización de rellenos sanitarios en ciudades de América latina. Setiembre 2001.

Jaramillo Pérez, Jorge, Manual, guía para el diseño, construcción y operación de un relleno sanitario: Medellín, abril, 1988. pp. 153.

Jaramillo, Jorge. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, ,1991.

Jurgen Ehrig, H. Cantidad y contenido de lixiviados de rellenos domésticos. 1992.

López Sánchez Felipe. Diseño del relleno sanitario y obras complementarias para Latinoamérica. Curso internacional sobre diseño y disposición final de residuos sólidos. Marzo de 1994.

Lund Herbert F., Manual mcgraw hill de reciclaje. madrid:editorial mcgraw hill.1996. vol. i y ii

Merrit frederick, loftin kent, ricketts jonathan. Manual del ingeniero civil. México: McGraw-Hill, 2001. Tomo i y ii

Ministerio de desarrollo económico, República de Colombia. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS 2000.

Ops/eup/cepis, Programa regional de mejoramiento de los servicios de aseo urbano. Módulo: disposición final de residuos sólidos. Mayo 1981.

Ops/eup/cepis, Programa regional de mejoramiento de los servicios de aseo urbano. Módulo: disposición final de residuos sólidos. Mayo 1981

Organización panamericana de la salud - organización mundial de la salud, ops/oms, "guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales", 1991

Organización panamericana de la salud- organización mundial de la salud programa de salud ambiental, guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Serie técnica no 28- enero de 1997

Pineda m, Samuel Ignacio. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos, Santafé de Bogotá: editorial acodal.1998. 338p.

Tchobanoglous george, thersen hilary y vigil samuel a.gestión integral de residuos sólidos, Madrid: editorial mcgraw hill.1994. vol. i y ii.

Vidales Albarrán, Humberto. Generación y cuantificación de biogás. Curso internacional sobre diseño y disposición final de residuos sólidos. Marzo de 1994

Zamora González Luis Manuel. Metodología para la ubicación de zonas aptas para rellenos sanitarios, proyecto de graduación ingeniería civil - san José, costa. rica, Zamora g, 1994 143h; ils. - 27 refs.

Zepeda porras francisco, Jaramillo Jorge guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Curso internacional sobre diseño y disposición final de residuos sólidos. Marzo de 1994

Cursos en línea: Relleno sanitarios-Diseño, construcción y operación; en las páginas web:

www.emagister.com
www.solomanuales.org

Páginas web consultadas:

www.miambiente.gov.co/discursos/290905_fundacion_codesarrollo.pdf
www.pqualc.org
www.binasss.sa.cr
www.minambiente.gov.co
www.accefyn.org.co
www.ing.unal.edu.co
www.arquys.com
www.sisbib.unmsm.edu.pe
www.red-de-autoridades.org
www.construaprende.com