



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

62
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

“MAQUINARIA Y EQUIPOS EN LA OPERACION DE
RELLENOS SANITARIOS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A

ALEJANDRA MEDINA AREVALO



DIRECTOR DE TESIS: M.C. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS

MEXICO, D. F.

28/12/00

DICIEMBRE DEL 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-023/98

Señorita
ALEJANDRA MEDINA AREVALO
Presentes

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

"MAQUINARIA Y EQUIPOS EN LA OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS"

INTRODUCCION

- I. LEGISLACION RESPECTO A LOS RELLENOS SANITARIOS**
- II. GENERALIDADES SOBRE RELLENOS SANITARIOS**
- III. OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO**
- IV. EQUIPO PARA MOVIMIENTO DE TIERRA**
- V. EQUIPOS PARA COMPACTACION**
- VI. ANALISIS DE LOS EQUIPOS MAS ADECUADOS AL MEDIO NACIONAL**
- VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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

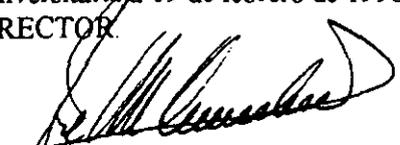
Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

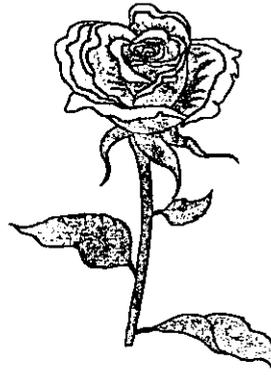
Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria a 19 de febrero de 1998.

EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP*lmf



Agradecimientos:

- * A Dios por permitirme vivir y lograr todo lo hasta ahora realizado.*
 - * A mis padres, por hacer de mí una persona con decisión y responsabilidad, por todo el apoyo que me han brindado aun costa de grandes sacrificios suyos.*
 - * A mi familia, principalmente a mis tíos, los cuales siempre acudieron a mi llamado cuando los necesite.*
 - * Al Ing. Constantino Gutiérrez por saber orientarme en la elaboración de este trabajo.*
 - * A mis sinodales por la orientación de este trabajo.*
 - * Al Arg. Ramiro González del Sordo, por enseñarme a tener confianza en mis conocimientos.*
 - * Al Ing. José Julio Ortigoza por las oportunidades y sus atenciones.*
 - * A la U.N.A.M., por darme la oportunidad de pertenecer a la Facultad de Ingeniería y adquirir los conocimientos para realizarme como profesional.*
-



Dedicatorias

- * A Teófila, mi madre por siempre estar a mi lado en todo momento, como mi amiga y por contar con su apoyo. A Daniel, mi padre por permitirme seguir estudiando y por hacer de mí una persona con carácter.
 - * A Elidé, mi hermana por estar junto a mí en los momentos difíciles y por ser una gran amiga.
 - * A Dalila, mi prima y amiga por escucharme, por disfrutar junto a mí los momentos más felices y contar con su apoyo siempre aún estando lejos.
 - * A Naemi, mi amiga por enseñarme a disfrutar la vida y aunque no te encuentres con nosotros, yo sé que dedicas un poco de tu tiempo a cuidarme, gracias.
 - * A mis amigas y amigos de la Facultad, especialmente; Dulce, Ana María, Marisol y Engelberth por regalarme esos 5 años de momentos tan especiales.
 - * A Rebeca, Silvia y Norma por ser mis amigas y por escucharme siempre que las necesito.
 - * A Miguel Ángel, por guiarme hacia nuevos horizontes, los cuales han sido de gran utilidad en mi vida. Con amor
-

INDICE

INDICE	i
INDICE DE TABLAS	iii
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE GRÁFICAS	v
GLOSARIO Y ABREVIATURAS	vi
INTRODUCCIÓN.	x
I. LEGISLACIÓN RESPECTO A LOS RELLENOS SANITARIOS.	1
1.1. Leyes y Reglamentos	2
1.2. Normas Oficiales Mexicanas	6
1.3. Otros ordenamientos	14
II. GENERALIDADES SOBRE RELLENOS SANITARIOS	16
2.1. Definiciones básicas.	17
2.2. Aspectos básicos de un proyecto.	19
2.3. Tipos de rellenos sanitarios.	34
2.4. Maquinaria y equipos requeridos.	38
III. OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO.	43
3.1. Fases de la operación.	45
3.1.1. Recepción y descarga de los residuos sólidos.	48
3.1.2. Acomodo y compactación de los residuos.	51
3.1.3. Movimiento de tierras.	52
3.1.4. Cubierta diaria de la celda.	53
3.1.5. Cubierta final	55
3.1.6. Control de la compactación	56
3.2. Operación nocturna	58
3.3. Operación con lluvia	59
3.4. Ciclos Operativos	60
3.5. Monitoreo Ambiental	62
IV. EQUIPOS PARA MOVIMIENTO DE TIERRA.	70
4.1. Tipos de equipos.	73
4.2. Operación y rendimientos.	91
4.3. Costos.	100
4.4. Selección.	101

V. EQUIPOS PARA COMPACTACIÓN.	102
5.1. Tipos de equipos.	103
5.2. Operación y rendimientos.	113
5.3. Costos.	117
5.4. Selección.	119
VI. ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS MÁS ADECUADOS AL MEDIO NACIONAL.	121
6.1. Análisis Técnico.	121
6.2. Análisis Económico.	124
6.3. Ventajas y desventajas.	139
6.4. Selección.	140
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	142
7.1. Conclusiones	142
7.2. Recomendaciones	144
ANEXOS:	
1. NOM-083-ECOL-1996 y proyecto NOM-084-ECOL-1996.	146
2. Parámetros para el análisis fisicoquímico y bacteriológico de lixiviados.	169
3. Registro de datos para la curva masa.	171
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	173

INDICE DE TABLAS

Capitulo	Tabla No.	Nombre	Página
1	1.1.	Artículos de la LGEEPA relacionados con la disposición final.	5
	1.2.	Pesos volumétricos de los residuos sólidos municipales.	9
	1.3.	Obras complementarias vs. Rango de población.	10
	1.4.	Criterios básicos para la construcción de caminos	13
2	2.1.	Rellenos en operación en México	16
	2.2.	Valor promedio de características de los rellenos sanitarios.	25
	2.3.	Frente de trabajo recomendable.	27
	2.4.	Personal mínimo en un relleno sanitario.	33
3	3.1.	Cronograma de actividades en un relleno sanitario.	43
	3.2.	Tipo de suelo y sus aplicaciones.	55
	3.3.	Espesor de cubierta necesario.	56
	3.4.	Parámetros de un monitoreo ambiental	65
	3.5.	Impactos generados en las actividades de un relleno sanitario	69
4	4.1.	Especificaciones de tractores de cadenas.	74
	4.2.	Especificaciones de las hojas topadoras	76
	4.3.	Tipos y especificaciones de cargadores de cadenas.	79
	4.4.	Especificaciones de cargadores de cadenas	80
	4.5.	Accesorios especiales	81
	4.6.	Tipos de cargadores de ruedas y especificaciones	83
	4.7.	Tipos de motoescrepas en tándem	85
	4.8.	Tipos y especificaciones de motoescrepas autocargadoras	86
	4.9.	Tipos y especificaciones de las retroexcavadoras	88
	4.10.	Tipos de cucharones en una retroexcavadora.	89
	4.11.	Tipos de volquetes articulados.	90
	4.12.	Maquinaria vs. distancia	91
	4.13.	Velocidades de los cargadores de cadenas	92
	4.14.	Velocidades de los cargadores de ruedas	94
	4.15.	Velocidades de las motoescrepas	95
	4.16.	Velocidades de las retroexcavadoras cargadoras	95
	4.17.	Velocidades de los camiones articulados	96
	4.18.	Periodos de posesión basado en la aplicación y condiciones de operación	97
	4.19.	Consumo de combustible	99

Capitulo	Tabla No.	Nombre	Página
5	5.1.	Máquinas vs. Población tonelaje	103
	5.2.	Densidades obtenidas por los equipos de compactación	104
	5.3.	Especificaciones de los compactadores de rellenos sanitarios	107
	5.4.	Especificaciones de las hojas de los compactadores de rellenos sanitarios	108
	5.5.	Especificaciones de las hojas del compactador de rellenos Balderson	108
	5.6.	Especificaciones de las hoja sdobles V del compactador de rellenos Balderson	109
	5.7.	Características de los compactadores cilíndricos	110
	5.8.	Características de los compactadores de ruedas de acero	111
	5.9.	Características de las motoniveladoras	113
	5.10.	Especificaciones de motoniveladoras	114
	5.11.	Consumo de combustible de compactadores de rellenos sanitarios	115
	5.12.	Guía del factor de carga vs. actividades	115
	5.13.	Velocidades de motoniveladoras	116
	5.14.	Consumo de combustible en las motoniveladoras	116
	5.15.	Guía del factor de carga vs. Actividades	116
	5.16.	Periodos de posesión basado en la aplicación y condiciones de operación	117
	5.17.	Mantenimiento preventivo en la maquinaria	120
6	6.1.	Resumen de rendimiento de equipos	123
	6.2.	Potencia calcula del equipo	123
	6.3.	Valores de "Q"	126
	6.4.	Factores para determinar la vida económica de las llantas	130
	6.5.	Factores de conservación de las llantas del equipo de construcción y vida económica de las llantas	131
	6.6.	Factores de rendimiento	132
	6.7.	Ventajas y desventajas de los equipos	139
	6.8.	Resumen de costos hora-máquina y adquisición	140
	6.9.	Resumen de costos máquina	141

INDICE DE FIGURAS

Capítulo	Figura No.	Nombre	Página
2	2.1.	Método de trinchera	35
	2.2.	Método del área	36
	2.3.	Método combinado	37
3	3.1.	Ciclo operativo de los residuos sólidos para el método de trinchera	60
	3.2.	Ciclo operativo de los residuos sólidos para el método de área	61
4	4.1.	Tractor de cadenas	73
	4.2.	Composición del tractor de cadenas	77
	4.3.	Cargador de cadenas	79
	4.4.	Cargador de ruedas	82
	4.5.	Motoescrepas	84
	4.6.	Retroexcavadora sobre orugas	88
	4.7.	Volquete articulado	91
5	5.1.	Compactador de residuos sólidos	105
	5.2.	Compactador de residuos sólidos	106

INDICE DE GRAFICAS

Capítulo	Gráfica No.	Nombre	Página
5	5.1.	Densidades obtenidas por los equipos de compactación	119

GLOSARIO

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

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

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

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

Áreas naturales protegidas.- Son las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en las cuales el entorno original no ha sido significativamente alterado por la actividad del hombre.

Banco de nivel.- Es una marca o estaca, que indica una elevación que servirá de referencia para determinar las demás elevaciones del terreno

Banco de préstamo.- Es el lugar del cual se extrae el material de cubierta para ser transportado al relleno sanitario.

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

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

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

Curva de nivel.- Es la representación del terreno, en la cual se indican las formas y accidentes, tanto en su posición en el plano horizontal como en sus alturas.

Curva masa.- Es una gráfica, en la cual se representa a las abscisas como el cadenamamiento de la línea y sus ordenadas a los volúmenes de excavación.

Degradable.- Es una cualidad que tienen algunas sustancias o compuestos para descomponerse parcialmente por medios físico o químicos o biológicos.

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

Evaporación.- Es el proceso por el cual las moléculas de agua en la superficie de ésta o humedad del suelo adquieren suficiente energía a través de la radiación del sol para escapar del estado líquido al estado gaseoso.

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

Fauna nociva.- Es el conjunto de especies animales que dañan a la salud y la economía, los cuales nacen, crecen, reproducen y se alimentan de los residuos que son depositados en tiraderos y basureros.

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

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

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

Infiltración.- Es la introducción suave de un líquido entre los poros de un sólido referido al agua.

Monitoreo.- Es el conjunto de actividades que se realizan para determinar la calidad de un determinado elemento del ambiente.

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

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

Permeabilidad.- Es la propiedad que tiene una formación geológica para permitir el paso de un fluido a través de ella, sin deformar su estructura bajo la carga producida por un gradiente hidráulico..

Porosidad efectiva.- Es la relación del volumen de vacíos de una roca o suelo dividido por el volumen total de la muestra.

Relleno sanitario.- La Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles, ASCE, lo define de la siguiente manera: "Es una técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicios al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública; este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en la menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable y cubriendo la basura así depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria o por lo menos al fin de cada jornada".

Residuo peligroso.- Es aquel que debido a sus características físicas, químicas y biológicas, representa desde su generación un daño para el ambiente.

Reuso.- Es la acción de usar un residuo sólido sin previo tratamiento.

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

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

ABREVIATURAS

CNA= Comisión Nacional del Agua

EPA= Environmental Protection Agency

INE= Instituto Nacional de Ecología

LGEEPA= Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

NOM= Normas Oficiales Mexicanas

SEDESOL= Secretaria de Desarrollo Social

SEDUE= Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología

SEMARNAP= Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

PROFEPA= Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

INTRODUCCION

Debido a la gran sobreexplotación del hombre hacia los recursos naturales, se alteró el equilibrio que hace siglos existía entre el ser humano y su entorno; ésto a causa principalmente de la revolución industrial con lo cual se dio un aumento en el consumo de energía y como consecuencia la producción de los desechos fue cada vez mayor. Además de que no hay que olvidar el acelerado crecimiento demográfico, lo que conduce a una mayor generación de residuos sólidos, principalmente empaques, cajas de cartón y algunos residuos tóxicos generados en los diferentes procesos industriales.

Los residuos sólidos municipales son los materiales sobrantes que provienen de actividades que se desarrollan en casas-habitación, sitios y servicios públicos, como los mercados, así como residuos industriales que no se deriven del proceso; generalmente a estos residuos se les conoce con el nombre de basura. Este tipo de residuos constituye una fuente muy importante de contaminación del ambiente, principalmente de los suelos. Una alternativa segura y económica para disponer los residuos sólidos, es la construcción de rellenos sanitarios. En nuestro país en la actualidad parece ser la alternativa más viable.

Actualmente en nuestro país se busca que las poblaciones mayores a 100,000 habitantes cuenten con un proyecto ejecutivo y un manual de operación para construir un relleno sanitario, como en la mayoría de las grandes ciudades el crecimiento es acelerado, se presentan problemas con el manejo y la disposición final de los residuos sólidos municipales, sin embargo hasta la fecha en la mayoría de los casos no se cuenta con un sistema de disposición final que solucione el problema al que nos enfrentamos.

Se debe mencionar que hasta el año de 1992, solo se contaba con la NOM-AA-91 para la definición de términos usados en el manejo de los residuos sólidos y tomando en cuenta que este documento tenía demasiados errores e inconsistencias, es de gran importancia seguir estableciendo las definiciones relacionadas con este campo, ya que aunque a la fecha se cuenta con las NOM-083-ECOL-1996 y NOM-084-ECOL-1994 (proyecto) creadas en el año de 1994, mediante la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, todavía existe la falta de datos específicos y confiables que permitan establecer los volúmenes de los residuos sólidos que se generan y cuales son los que llegan diariamente a los tiraderos a cielo abierto y a los rellenos sanitarios existentes, esto con el propósito de que se realice una planeación adecuada de los espacios requeridos para las disposiciones futuras.

El Relleno Sanitario es un elemento básico para la disposición de los Residuos Sólidos Municipales en México, teniendo como principal razón que este ha ofrecido a los municipios la opción más fácil y barata para la disposición final de la basura. Entre los factores que se consideran como prioritarios para la determinación de las nuevas ubicaciones de los rellenos sanitarios, están los criterios de diseño, de ingeniería, legales, reglamentarios, de impacto ambiental, así como los políticos y de índole económica. Los rellenos existentes y los nuevos deben contar con sistemas de impermeabilización, controles para el monitoreo de las aguas subterráneas y sistemas de captación y conducción de los lixiviados generados y del biogas (metano y CO₂) producido.

Anteriormente como no se tenía el problema de la escasez y contaminación de los recursos naturales no existía consciencia del problema al que nos enfrentamos, pero ahora ante los problemas presentados se han buscado algunas soluciones y una de estas soluciones parece

ser el uso de los rellenos sanitarios, así como el reciclaje y reuso de los productos. Deben continuarse los programas de reubicación de pepenadores fuera de tiraderos y rellenos sanitarios, siguiendo algunos pasos de los procedimientos que se han llevado a cabo en Ciudad Juárez o en la Ciudad de México, donde se trabaja con los pepenadores organizados en empresas relacionadas a la operación de concesiones de selección, transporte y recuperación de recursos reciclables. Este tipo de organización es de vital importancia, ya que además de dar a estas personas mejor estándar de vida, se logrará su integración a la sociedad y se mejorará considerablemente la gestión de los residuos sólidos municipales en beneficio a toda la sociedad.

Fue hasta el año de 1930 cuando se empezó a hacer uso del término de relleno sanitario, la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles, ASCE, lo define como: "Una técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicios al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública; este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en la menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable y cubriendo la basura así depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria o por lo menos al fin de cada jornada". Se puede decir que es una obra de ingeniería con la que se busca evitar todos los problemas posibles que se presentan en los basureros, tales como son la contaminación del subsuelo, de los acuíferos, y las molestias que puedan ocasionarse a la población cercana al lugar de disposición final.

El espacio destinado para los rellenos sanitarios es un recurso muy valioso, ya que se debe tener presente que en unos años no muy lejanos, la mayoría de las ciudades grandes empezará a sufrir la escasez de sitios de este tipo. Es por esto necesario que cada uno de los municipios y/o comisiones regionales vean por la protección de la existencia de espacios destinados para rellenos sanitarios, teniendo en cuenta que las alternativas usadas en otros países representan altos costos.

El objetivo del presente trabajo es analizar cada uno de los tipos de equipos y maquinaria que son utilizados en los rellenos sanitarios, buscando la eficiencia, costos y existencia pero sobretodo la adaptación a las condiciones del país. Además de proponer algunos pasos para la construcción y operación del sistema de disposición final de los residuos sólidos municipales. La tesis esta integrada por los siguientes capítulos:

- I. **Legislación respecto a los rellenos sanitarios.** En este capítulo se verá la normatividad relacionada con los sitios de disposición final que se tienen en el país. Siendo de gran importancia la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y las Normas Mexicanas (NOM-083-ECOL-1996 y la PROY-NOM-084-ECOL-1994). Todo esto para lograr un diseño, operación y construcción eficaz.
- II. **Generalidades sobre rellenos sanitarios.** Aquí se presentan las definiciones básicas relativas a los rellenos sanitarios, así como los estudios previos que en forma general se requieren para el diseño, la operación y la construcción de dichas obras, tales como de Mecánica de Suelos, Geohidrología, Topografía, Hidrología y Geología. Teniendo en cuenta el tipo de relleno sanitario, así como la maquinaria a utilizar y las condiciones predominantes en el sitio.
- III. **Operación de un relleno sanitario.** En este tema se especificará la forma deseable de operar, ya que se ha determinado que con un relleno sanitario bien diseñado y mantenido adecuadamente se minimizan los problemas que se pudieran presentar en la salud pública, así como en la contaminación del agua, del suelo y del aire. Se debe tratar de lograr una

operación eficiente y ordenada, desde el momento en que se reciben los residuos sólidos hasta su disposición final.

- IV. Equipos para movimiento de tierra.** En este capítulo se analizarán los equipos que normalmente son utilizados para el movimiento de tierra, con el fin de lograr la selección lo mejor posible basándose en su rendimiento, costos y capacidad de dicha maquinaria.
- V. Equipos para compactación.** Se realizará en este tema una comparación de los diferentes equipos que se pueden utilizar en el proceso de la compactación, teniendo en cuenta su capacidad, costo, vida útil, rentabilidad, para lograr las condiciones deseadas en el proyecto.
- VI. Análisis de los equipos más adecuados al medio nacional.** En este capítulo se analizarán los equipos que se encuentran en el país, si como su rentabilidad, costos y demás características técnicas que puedan influir en la operación de los rellenos sanitarios, sin olvidar todas las condiciones que se tienen en el país, de acuerdo al tipo de suelo y a la factibilidad económica.
- VII. Conclusiones y Recomendaciones.** En este último punto, basándose en lo realizado durante todo el proceso de la tesis, se busca dar algunas sugerencias para el mejoramiento de la operación de un relleno sanitario, así como presentar comentarios sobre las condiciones de algunos de los rellenos sanitarios que se encuentran en operación actualmente en el país y el análisis de los requerimientos a futuro de tales obras.

I. LEGISLACIÓN RESPECTO A LOS RELLENOS SANITARIOS.

Los primeros organismos cuya función principal fue la protección al medio ambiente en México se crearon en la década de los 70s, la Subsecretaría de Mejoramiento del Medio Ambiente y la Dirección de Desarrollo Ecológico ambas dependientes de la entonces Secretaría de Salubridad y Asistencia. En marzo de 1971, se expidió la primera legislación en materia de protección al ambiente, denominada, "Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental", la cual fue derogada en febrero de 1982, dicha ley dio paso a la creación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), la cual tenía las facultades para establecer las normas, criterios y procedimientos para la prevención y control de la contaminación del medio ambiente, como permisos y evaluaciones de efectos sobre el mismo, así como la expedición de normas técnicas ecológicas.

La Ley antes mencionada fue sustituida por la "Ley Federal de Protección al Ambiente", esta ley tuvo principalmente como propósitos, regular todos los ámbitos que podían ser contaminados, tomando en cuenta sus efectos en el ambiente, atmósfera, suelo, agua, etc., así como preservar y mejorar el ambiente.

Para reforzar las bases constitucionales en materia ambiental, en agosto de 1987 se reformaron los artículos 27 y 63 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, elevando a rango constitucional la preservación y restauración del equilibrio ecológico. La reforma consistió en descentralizar las atribuciones de la ley a instancias del gobierno federal, estatal y municipal de los recursos naturales.

La Ley Federal de Protección al Ambiente fue derogada en marzo de 1988, cuando entró en vigor la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que actualmente es la que rige, en donde se prevé el ordenamiento ecológico, definido como un proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo, aire y agua. La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), se transformó en Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) en el año de 1992, delegando la gestión de los aspectos ambientales al Instituto Nacional de Ecología (INE) y a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

Las funciones principales del INE son: investigación, elaboración y evaluación de las políticas y normas sobre protección ambiental de México; recepción y evaluación de las evaluaciones de impacto ambiental (EIA), instrumentación de programas de protección al medio ambiente; conservación de los recursos naturales; y aumento de conocimientos sobre política ambiental a nivel estatal. Mientras que la PROFEPA se encarga de la aplicación de las leyes, reglamentos y Normas Oficiales Mexicanas (NOM) sobre el medio ambiente, así como la coordinación de actividades de aplicación de leyes ambientales por parte de las autoridades estatales y municipales con las autoridades federales ambientales.

En el año de 1994 se reorganizó en forma sustancial la estructura administrativa de la gestión ambiental, mediante el Decreto de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, con este decreto se creó una autoridad ambiental centralizada, la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP); esta Secretaría no substituye a la SEDESOL, ya que ésta última permanece a cargo de asuntos de desarrollo social.

Así bajo el cargo de la SEMARNAP se quedaron las siguientes actividades; promover el desarrollo de legislación y actualización de normas ecológicas referentes a la ubicación, diseño, preparación del terreno, operación y control de los rellenos sanitarios para residuos sólidos de tipo municipal, industrial y no tóxico (clases I, II, III y IV) en todo el país. Además de formular políticas nacionales sobre medio ambiente y coordinar las actividades de protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos con el objetivo de lograr un desarrollo equilibrado, expedir las Normas Oficiales Mexicanas relativas al ambiente, organizar y regular proyectos federales, proponer el establecimiento de áreas naturales protegidas, por mencionar sus actividades más importantes.

1.1. Leyes y Reglamentos

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Las **disposiciones constitucionales** más importantes para la protección y gestión del ambiente, se describen a continuación:

El **artículo 4** de la Constitución Mexicana identifica algunos derechos individuales y sociales relacionados indirectamente con la protección ambiental. El derecho a la protección de la salud se incluye como un derecho humano fundamental, dado esto, es posible instituir una acción legal por cualquier violación de este derecho por la vía de amparo, una vez agotados los recursos administrativos.

El **artículo 25** trata de las obligaciones generales del Estado en las actividades de desarrollo social y económico, en su párrafo sexto establece que el Estado promoverá a las empresas del sector público y privado bajo criterios de equidad social y productividad. Asimismo, por razones de interés público, podrá regular las empresas en cuanto a su estructura y el uso que éstas realicen de los recursos naturales, a fin de conservar los recursos y el medio ambiente.

El **artículo 26** establece que es responsabilidad del Estado organizar un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que asegure un crecimiento; asimismo el Estado deberá expedir un plan nacional de desarrollo que incluya una sección dedicada a la protección del ambiente, lo cual será obligatorio para el caso de los programas de la Administración Pública Federal. En este artículo se consideran como prioridad nacional los problemas referentes a la contaminación ambiental y los problemas económicos derivados de la explotación de los recursos naturales.

El **artículo 27** estipula que corresponde originalmente a la Nación la propiedad de las tierras, aguas y recursos naturales dentro de los límites del territorio nacional, siendo ésta la base constitucional fundamental sobre la que la Nación Mexicana está facultada a imponer un derecho sobre la propiedad privada por causas de interés público, como es el caso de la protección del medio ambiente.

El **artículo 73** establece la facultad del Congreso de la Unión, incluyendo el poder de expedir las leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los Estados y de los municipios, acerca de la protección al medio ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico.

El **artículo 115** otorga facultades a las regiones subestatales o municipios de México, incluyendo las relacionadas con las siguientes materias: salubridad pública en general, zonificación y planes de desarrollo urbano municipal, administración de reservas territoriales y reservas ecológicas, administración del uso del suelo, así como licencias y permisos de construcción.

El **artículo 122** autoriza a la Asamblea de Representantes del Distrito Federal la creación de reglamentos ecológicos, el establecimiento de reservas naturales y la protección del medio ambiente.

La Legislación Mexicana en Materia de Rellenos Sanitarios es el marco legal para el manejo general de los residuos sólidos municipales a niveles federal, estatal y municipal, aunque hasta la fecha todavía se tienen interrogantes en cuestiones de la normatividad principalmente relacionadas a la ubicación, diseño, construcción, operación y monitoreo de rellenos sanitarios, que se han ido disipando conforme se van corrigiendo los ordenamientos necesarios de los rellenos sanitarios, como lo son las NOM-ECOL-083, PROY-NOM-ECOL-084 y los que a continuación se describen.

NIVEL FEDERAL.- De acuerdo a la Constitución Política de los Estados Unidos y lo establecido en su artículo 115, fracción III se menciona que "Los municipios, con el concurso de los estados cuando así lo fuere necesario y lo determinen las leyes, tendrán a su cargo los servicios públicos como lo es la limpia", aunque un ordenamiento más específico a nivel federal en las cuestiones de los rellenos sanitarios es la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, el Programa Nacional para Protección del Medio Ambiente y las Normas Oficiales Mexicanas.

El objetivo principal del Programa Nacional para Protección del Medio Ambiente, es armonizar el crecimiento económico con el establecimiento de la calidad de medio ambiente, promoviendo la conservación y el aprovechamiento de los recursos naturales. Este Programa Nacional contiene puntos referentes a los desechos y residuos sólidos, a continuación se mencionan los de mayor importancia;

- En coordinación con los gobiernos estatales y municipales, se elaborarán programas integrales de control de residuos sólidos, procurando una mayor eficiencia en el sistema terminal.
- Mejoramiento de la administración y operación de los servicios municipales, dando mayor importancia a la ejecución de los proyectos de disposición de residuos sólidos.
- Ordenamiento y regulación del desarrollo urbano, sobre todo en las ciudades industriales, considerando sitios seguros para la disposición final de los residuos municipales y peligrosos, así como lograr una reducción de la generación de los residuos industriales en procesos nuevos.

Asimismo, se tienen las políticas ambientales a través de los Planes Nacionales de Desarrollo, los cuales son sexenales y son establecidos por el Presidente en turno al inicio de su sexenio, todo esto con el propósito de lograr un desarrollo integral económico, político y social.

NIVEL ESTATAL.- Hasta la fecha en casi toda la totalidad de los estados del país, se cuenta con una ley equivalente a la LGEEPA, que regula el manejo de los residuos sólidos municipales, además que en algunas entidades se cuenta con ordenamientos adicionales que varían de un estado a otro.

Los 31 estados han creado sus propios regímenes de legislación ambiental; sólo recientemente el Distrito Federal ha expedido proyectos de leyes ambientales que deben promulgarse en un futuro próximo. Sin embargo se espera que con la mayor jurisdicción y autoridad reguladora que se otorgará a los estados como parte de los cambios de la administración federal, las normas estatales sean equivalentes o incluso más rigurosas que las federales y con esto se cumpla la responsabilidad que tiene cada comisión regional o municipal, que es controlar la estricta y eficaz operación de los rellenos sanitarios.

Por mencionar algún proyecto, se tiene el Programa para el Desarrollo del Distrito Federal 1995-2000, el cual tienen los siguientes objetivos; impulsar la normatividad referente a la prevención y el reciclaje, tomando en cuenta otros elementos del sistema de residuos sólidos como la recolección, el transporte y la disposición final.

NIVEL MUNICIPAL.- A este nivel solamente un cierto número de municipios cuenta con una ley o reglamento de limpia; en estos ordenamientos desafortunadamente se observan muchas carencias, ya que por lo general solo enuncian las obligaciones de los colaboradores y de los ciudadanos del municipio, además hay que agregar que los reglamentos no son aplicados como debe ser.

Entre las leyes que se tienen en el país relacionadas con los Rellenos Sanitarios, la de mayor importancia es la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual fue publicada en el año de 1988, por la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. En esta ley se establecen las limitaciones de las responsabilidades de cada autoridad federal y de las entidades federativas, definiendo así cada una de las responsabilidades de los estados de la República y del Distrito Federal, en ésta se mencionan los criterios relacionados con la prevención de la contaminación del suelo, a causa de los residuos sólidos. Se presenta a continuación los artículos más importantes de dicha Ley, en el tema de los residuos sólidos.

Tabla 1.1. Artículos de la LGEEPA relacionados con la disposición final.

Artículo	Contenido
3°	Definición de residuo.
6°	Es de competencia del municipio o de la entidad federativa, la regulación del manejo y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos.
9°	<p>Es deber de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, expedir las Normas Técnicas para la recolección, tratamiento y disposición de toda clase de residuos, estando en coordinación con la Secretaría de Salud.</p> <p>Así como corresponde al Departamento del Distrito Federal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proponer la expedición de las disposiciones que regulen las actividades de recolección, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos, en seguimiento con las Normas aplicables. • Establecer los sitios destinados a la disposición final de los residuos ya mencionados.
134	<p>Evitar la contaminación del suelo, según los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los residuos deben de ser controlados, ya que constituyen la fuente principal de la contaminación de los suelos. • Racionalizar la generación de los residuos sólidos, municipales e industriales, e incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje.
135	<p>Cada uno de los criterios antes mencionados, se consideran en los siguientes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la disposición final de los residuos municipales, en este caso en los rellenos sanitarios. • En las autorizaciones para la instalación y operación de confinamientos o depósitos de residuos.
137	Es obligación de los gobiernos de los estados o en su caso de los municipios el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.
138	<p>La Secretaria deberá de promover acuerdos de asesoría y coordinación con los gobiernos estatales o en su caso municipales, para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejorar los sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales. • Dar alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos municipales, así como la elaboración de los inventarios.

1.2. Normas Oficiales Mexicanas

Los instrumentos normativos de mayor importancia para una aplicación del marco ambiental son las Normas Oficiales Mexicanas, ya que además de su carácter obligatorio en el ámbito nacional, se permite la vinculación con la sociedad en general, desde un punto de vista normativo y ambiental, hasta como el de promover y desarrollar áreas de servicios ambientales. Dichas normas son reguladas por la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través del Instituto Nacional de Ecología.

Las Normas Oficiales Mexicanas que se utilizan referente a los rellenos sanitarios, son las siguientes:

NOM-083-ECOL-1996.- Esta norma establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, basándose en las características geológicas, climatológicas, así como las situaciones que pueden afectar a las obras civiles, áreas naturales protegidas y zonas ya habitadas, poniendo especial interés a la protección de los mantos acuíferos y cuerpos superficiales de agua.

Los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales generan lixiviados que contienen diversos grupos de contaminantes que afectan a los recursos naturales, la creación de esta norma esta destinada a proteger al ambiente, preservar el equilibrio ecológico y minimizar los efectos contaminantes.

Dicha norma es de observancia obligatoria para aquellos que tienen la responsabilidad de la disposición final de los residuos sólidos municipales, en ésta se especifican los procedimientos para llevar a cabo algunos estudios, que a continuación se enuncian:

- ◆ Geología Regional, siendo esta para obtener la descripción estratigráfica y posteriormente la identificación de las discontinuidades, fallas y fracturas. Así como toda información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio.
- ◆ Geología Local, este estudio se requiere para la determinación de la distribución y presencia de fallas y fracturas, mediante aplicación de sondeos directos e indirectos. Asimismo, debe incluir estudios geofísicos para complementar la información sobre las unidades litológicas.
- ◆ Hidrogeología, este estudio es necesario para conocer el uso y la distribución de las aguas subterráneas, así como la identificación del tipo de acuífero, si es que lo hay y todos sus parámetros hidráulicos, teniendo en cuenta el tipo de suelo, el sistema de flujo, la evaluación del potencial de contaminación y el volumen de extracción.

En esta norma, también se incluyen las condiciones mínimas que debe cumplir un sitio de disposición final, las cuales se mencionan a continuación:

- * Hidrología, se debe demostrar que no existe obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslave o erosión que provoque el arrastre de los residuos sólidos, esto si el sitio se encuentra en zona de inundación con periodos de retorno de 100 años, asimismo la distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales

con caudal continuo, debe ser de 1000 m como mínimo y contar con una zona de amortiguamiento tal que pueda retener el caudal de la precipitación pluvial máxima presentada en los últimos 10 años en la cuenca.

- * Geología, el sitio del relleno sanitario debe estar a una distancia mínima de 60 m de una falla activa que incluya desplazamiento en un periodo de tiempo de un millón de años, también debe estar fuera de zonas donde los taludes sean inestables, ya sea por procesos estáticos y/o dinámicos y por último se debe evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno.
- * Afectación a obras civiles o áreas naturales protegidas, donde las distancias mínimas a aeropuertos son:
 - a) De 3000 m cuando maniobren aviones de motor a turbina.
 - b) De 1500 m cuando maniobren aviones de motor a pistón.

Asimismo se debe respetar el derecho de vía de autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios, así como los derechos de vía de las obras públicas federales, tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, torres de energía eléctrica, acueductos, etc.

El sitio de disposición final debe estar alejado a una distancia mínima de 1500 m, a partir del límite de la traza urbana de la población por servir, así como de poblaciones rurales de hasta 2500 habitantes, en caso de no cumplirse con esta restricción, se debe demostrar que no existirá afectación alguna a dichos centros de población.

Finalmente se enuncian los significados de los principales conceptos que se utilizan en un relleno sanitario, los cuales se indican en las definiciones básicas, tema del capítulo 2.

NOM-084-ECOL-1994 (proyecto).- Esta norma establece los requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo de un relleno sanitario.

Esta norma tiene como objetivo fundamental desarrollar la infraestructura en el país para la disposición final de los residuos sólidos municipales, considerando todos los criterios rectores para el diseño, construcción, operación y monitoreo, con el fin de garantizar la protección al medio ambiente y a la salud pública.

Se establecen las bases de ingeniería para el diseño, así como todos los elementos técnicos de apoyo para la construcción, incluyendo las especificaciones para el control de la operación y la instrumentación de programas de monitoreo ambiental. Los procedimientos que se establecen son los siguientes:

◇ **Diseño:**

Se especifica el procedimiento para la realización del diseño ejecutivo de un relleno sanitario, abarcando lo siguiente: estudios y análisis previos, diseño específico, diseño de obras de control y complementarias, así como el establecimiento de la clausura y uso final del suelo.

Para el caso de la topografía, se requiere información referente a la forma superficial y del sitio, el cual deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

- Planimetría

1. Tolerancia Angular = $1' (N)^{1/2}$

2. Tolerancia lineal = 1/3000

Donde:

N = Número de Vértices de la poligonal.

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

- Altimetría.

Realizar una nivelación a lo largo de las poligonales abierta y cerrada con puntos de nivelación, a cada 20 m. como máximo y especificar la altura de los sistemas de conducción, que atraviesen el sitio.

- Secciones.

Las secciones serán siempre perpendiculares al eje del camino de acceso y abarcarán 20 m., a cada lado de dicho eje. Para la poligonal cerrada, se establecerá un eje central que divida al predio en dos áreas aproximadamente iguales, debiendo definirse ejes paralelos a cada 50 m., mismos que deben seccionarse transversalmente a cada 25 m. aproximadamente para superficies de 8 hectáreas o menos y a cada 50 m. en terrenos mayores a 8 hectáreas.

- Configuración topográfica.

Las curvas de nivel se trazarán a cada medio metro para sitios planos y ligeramente ondulados y cada metro para ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados.

Además es necesario identificar las **cantidades y características de los residuos sólidos** del sitio, tanto actuales como proyectadas para un período igual al período de vida útil del sitio. En caso de que estos datos no se encuentren disponibles, se deberán realizar los muestreos correspondientes conforme a lo establecido en las siguientes normas mexicanas.

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

Los **requerimientos volumétricos** para el diseño del relleno sanitario, deberán obtenerse para los años estimados, mediante los volúmenes totales anuales y acumulados tanto de los residuos como del material de cubierta, empleando para ello la generación de residuos y los pesos volumétricos establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 1.2. Pesos volumetricos de los residuos solidos municipales

Tamaño del asentamiento humano	Para el diseño de la celda diaria peso volumetrico ton/m ³	Para el calculo de vida util peso volumetrico ton/m ³
Hasta 500,000 hab.	0.500	0.750
Mayores de 500,000 hab	0.600	0.900

El cálculo de la vida útil del sitio deberá obtenerse conforme a la siguiente ecuación:

$$U = \frac{V}{365G_t}$$

Donde:

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

V = Volumen del sitio seleccionado, expresado en m³.

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

Otro punto de gran importancia dentro del diseño del relleno, son las **dimensiones de la celda diaria**, donde la altura máxima de la celda deberá ser de 3.00 m. incluyendo el espesor de los residuos y el material de cubierta, mientras que el frente de trabajo deberá estar condicionado a la longitud necesaria para el funcionamiento adecuado y ejecución de maniobras del equipo.

Para poblaciones de 250,00 hab. el frente de trabajo se define de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F = 0.0333NTX$$

Donde:

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

N = Número de vehículos recolectores en la hora pico.

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

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

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

$$F = \sum_{i=1}^h (X_i)^2$$

Donde:

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

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

h = Número de equipos.

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

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

Donde:

L = Largo de la celda, expresado en metros.

V = Volumen de la celda, expresado en m^3 .

W = Ancho de la celda, expresado en metros.

A = Altura de la celda, expresado en metros.

El relleno sanitario deberá comprender además del diseño de las celdas, con las obras complementarias que le correspondan, esto de acuerdo a la densidad de población como a continuación se mencionan en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Obras complementarias vs. rango de población

Instalación de:	Número de habitantes			
	< 50 mil	50-200 mil	200-500 mil	>500 mil
Area de acceso y espera		IN	IN	IN
Cerca o area perimetral		IN	IN	IN
Caseta de vigilancia	IN	IN	IN	IN
Caseta de pesaje y basculas		IN	IN	IN
Caminos permanentes	IN	IN	IN	IN
Area de emergencia de disposicion final		IN	IN	IN
Drenajes perimetrales e interiores	IN	IN	IN	IN
Instalacion de energia electrica			IN	IN
Pozos de monitoreo para lixiviados		IN	IN	IN
Señalamientos fijos y moviles	IN	IN	IN	IN
Sistema de captacion de biogas	IN	IN	IN	IN
Area de amortiguamiento			IN	IN
Almacen y cobertizo		IN	IN	IN
Area administrativa		IN	IN	IN
Servicios sanitarios			IN	IN
Sistema de monitoreo de biogas			IN	IN
Sistema de captacion y tratamiento de lixiviados		IN	IN	IN

IN = Instalación necesaria

El sistema de impermeabilización será utilizado para aquellos rellenos sanitarios donde el nivel de aguas freáticas se localice a menos de 10 m. de profundidad, este sistema deberá diseñarse para toda la base del relleno y podrá ser de origen natural o sintético, o bien

alguna combinación de éstos, debiendo asegurar una permeabilidad mínima de 1×10^{-5} cm/seg. Se deberá demostrar que los materiales que integran dicho sistema no se deteriorarán ni perderán sus propiedades y ser resistentes a los esfuerzos físicos que resulten del peso de los residuos y materiales que serán colocados sobre este sistema de impermeabilización.

◇ **Construcción:**

Establece los requisitos principales para la construcción de las diferentes etapas e infraestructura del relleno, empezando por la selección del método a utilizar, el cual se deberá realizar con base a las condiciones topográficas y geohidrológicas del terreno seccionando de entre los siguientes; trinchera, área y combinado.

En el **método de área**, las celdas se construirán inicialmente en un extremo del sitio y se avanza hasta terminar con el otro extremo, cuando existan ondulaciones y depresiones en el terreno deberán ser utilizadas como respaldo conforme a las primeras celdas de una capa constructiva. A continuación se describe el proceso constructivo que se recomienda seguir:

- 1) Se prepara el terreno para trabajarlo a base de terrazas y al mismo tiempo extraer material para cubierta.
- 2) Los cortes al terreno se harán siguiendo la topografía del sitio para formar terrazas y aprovechar al máximo el terreno.
- 3) El ancho de la celda se realizará en base a lo realizado en los puntos del diseño del relleno sanitario.
- 4) El talud de la celda diaria tendrá una relación de 1:3.
- 5) Cada celda del relleno será contigua con la del día anterior y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denominarán franjas.
- 6) Las franjas al irse juntando formaran las capas, estas se construirán considerando la altura del sitio disponible para el relleno.
- 7) Las cubiertas intermedias que sirve de separación de las celdas diarias serán de 30 cms. el espesor de la cubierta debe ser de 60 cms.
- 8) La compactación de los residuos dependerá de su composición, del grado de humedad y del equipo utilizado, para obtener entre un 50 a 70 % de reducción de su volumen.
- 9) Las cubiertas tendrán una pendiente del 2% para impedir el paso del agua y para evitar la erosión se deberá sembrar especies propias de la región.

Para el **método de trinchera**, las celdas se construirán sobre la base del talud de la trinchera donde los residuos son compactados en capas inclinadas, posteriormente será

cubierta con el material excavado de la futura trinchera, el procedimiento constructivo a seguir se describe a continuación:

- a). La profundidad mínima de la trinchera será de 2.00 m. de los cuales 1.50 m. será de residuos y el resto de material de cubierta.
- b). La trinchera deberá contar con una pendiente del 2% que permita el drenado de la excavación a lo largo de toda su longitud.
- c). El ancho de la trinchera será como mínimo de 9.00 m. para facilitar la descarga de los residuos y la operación de la excavación de la máquina.
- d). El procedimiento constructivo, a partir del punto 4 será el mismo que el presentado por el método de área.

◇ Operación:

Señala las disposiciones que deberán observarse en la operación de los Rellenos Sanitarios; para una operación adecuada se requiere un buen funcionamiento de los sistemas de captación de lixiviados y de biogás, y en gran medida de los caminos exteriores e interiores, los cuales deben ser diseñados en base a las características presentadas en la tabla 1.4.

Después de la impermeabilización, se deberá instalar el **sistema de captación de lixiviados**, el cual estará constituido por capas drenantes, ubicadas principalmente en la base del relleno y sobre cualquier capa superior donde se espere acumulación de líquidos. Estas capas podrán constituirse en forma de redes de drenes (tuberías perforadas) o trincheras, su pendiente mínima debe ser de 0.4% y su conductividad hidráulica de 1×10^{-5} m/seg para espesores de 0.3 m. o bien una transmisibilidad hidráulica de 3×10^{-5} m²/seg para espesores menores.

Para el **sistema de captación de biogás** se deberán construir estructuras verticales de 60 a 100 cms. de lado a manera de chimenea, con malla y varilla, rellenos con piedra; esta estructura se desplantará 30 cms. abajo del fondo del relleno y en la parte superior se cubre con una placa de concreto, dejando un tubo con cuello de ganso, se deberán instalar por lo menos 2 pozos por hectárea de relleno. Independientemente del sistema de control que se use, el biogás que sea venteado o extraído, deberá ser quemado.

Los **caminos exteriores** deben cumplir como mínimo las especificaciones siguientes:

- a). Ser de trazo permanente, y garantizar el tránsito por ellos en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario.
- b). Cuando por volumen de tránsito y de la capacidad de carga de los vehículos, se haga necesario la colocación de la carpeta asfáltica, esta superficie de rodamiento deberá estar sobre el nivel de despalme, misma que definirá la subrasante, en este caso, para recibir la carpeta se deberá construir una sub-base con espesor mínimo de 12

cm y una base con espesor de 12 cm de grava controlada y arena compactada al 90% de la prueba proctor.

- c). El espesor de la carpeta asfáltica, cuya finalidad es proporcionar una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada, se calculará en función del valor relativo de soporte del suelo, de la carga de diseño y del volumen de tránsito.

Los caminos internos deben cumplir las especificaciones siguientes:

- a). Deberán permitir la doble circulación de los vehículos recolectores, hasta el frente de trabajo del relleno sanitario.
- b). Deberán ser de tipo temporal y que no presenten pendientes mayor del 5%.

Tabla 1.4. Criterios básicos para la construcción de caminos

Características	Clases de caminos				
	Caminos externos			Caminos internos	
	Plano y ondulado	Montañoso	Muy accidentado	Plano y ondulado	Accidentado
Velocidad de diseño en km/hr.	60	40	30	40	25
Grado máximo	11.00°	24.30°	44.00°	23.00°	57.00°
Radio mínimo en metros	105	47	26	50	20
Ancho de corona en metros	6	6	6	4	4
Pendiente máxima %	8	9	10	5	5
Carga de diseño	HS-20	HS-20	HS-20	HS-10	HS-10
Carga superficial de rodamiento	revestido	revestido	revestido	Transitable en cualquier época del año.	Transitable en cualquier época del año.

◇ **Monitoreo Ambiental en Rellenos Sanitarios:**

Especifica la instrumentación de un programa de monitoreo, así como la determinación de los parámetros, equipos, técnicas a emplear y las frecuencias de monitoreo, de los principales contaminantes generados en el relleno, dentro de los cuales se encuentran los lixiviados y el biogás.

Los **sistemas de monitoreo para lixiviados** deberán contar por lo menos con 3 pozos de muestreo, los cuales se colocarán de la siguiente manera: uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas a 500 m. antes de llegar al sitio del relleno, otro a 500 m. aguas abajo del sitio y el último en el sitio del relleno. Los pozos que se encuentren fuera del relleno deberán tener una profundidad 2.00 m. dentro del acuífero y el nivel o base del relleno.

La construcción de los pozos deberá realizarse con materiales y técnicas que aseguren la no contaminación del acuífero, y podrán ser de un diámetro mínimo, que permita la introducción y recuperación del sistema muestreador debiendo ser este último resistente a la corrosión.

El **sistema de monitoreo de biogas** será utilizado en aquellos rellenos que sean construidos en barrancas, depresiones, zanjas, etc., o en el caso que exista el contacto directo de los residuos sólidos con paredes, en las cuales se pueda presentar la migración de biogas de forma horizontal, dicho sistema estará integrado por pozos distribuidos en el perímetro del relleno, esto con el objetivo de lograr la identificación de migración de biogas sanitario.

Los pozos se construirán con una separación máxima de 50 m entre pozo y pozo, a una distancia mínima de 2 m del límite de los residuos sólidos y su profundidad máxima será igual al espesor de residuos sólidos más 1.00 m.

Debido a la importancia de estas Normas se presentan completas en el **Anexo 1**.

1.3. Otros ordenamientos

A fines del año de 1992, en los Estados Unidos de Norteamérica por medio de la Environmental Protection Agency (EPA), fue promulgado el reglamento relativo a los criterios para rellenos sanitarios, todo esto con el fin de proporcionar a los responsables de la ubicación, diseño y operación de los rellenos sanitarios y a los encargados de la normalización o la vigilancia ambiental, un marco de referencia que se tomara en cuenta, adaptándolo a las condiciones socioeconómicas y ambientales de cada país o región.

Dentro de los Estados Unidos la legislación referente a los residuos sólidos municipales es más completa, así por ejemplo se tiene el Código Regulatorio de California (CCR), norma que se distingue por ser rigurosa, la cual contempla los siguientes aspectos:

- ◆ Plan de clausura final
- ◆ Requerimientos técnicos específicos del plan de clausura final
- ◆ Reporte de estabilidad de taludes
- ◆ Alternativas para la construcción de cubierta final
- ◆ Manual de control de calidad en la construcción
- ◆ Plan de mantenimiento de posclausura
- ◆ Control de lixiviados
- ◆ Monitoreo y captación de biogás
- ◆ Monitoreo de aguas subterráneas

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) en el año de 1991, consciente de la importancia y del interés que existía en los países de Latinoamérica y el Caribe, elaboró una versión preliminar del documento presentado por la EPA, en el cual se presentaba toda la información recopilada de 6,000 rellenos existentes en los Estados Unidos y donde la principal preocupación era definir la forma más adecuada de normar el diseño de un relleno sanitario para reducir la contaminación de los acuíferos. Para lograr la información deseada se debieron de discutir 2 enfoques normativos relacionados con los residuos peligrosos y dos más para los residuos sólidos municipales, los cuales a continuación se describen:

Enfoque de opciones limitadas.- Solo se requería del monitoreo de los acuíferos y corregir el daño, este enfoque se centraba más a la corrección que a la prevención, resultando muy cara, además los responsables de los rellenos no tenían que cumplir reglamentaciones de diseño, de operación o de cierre.

Enfoque híbrido.- Para este enfoque se requiere de monitoreo y corrección en casos de problemas de contaminación, resultando con criterios menos rígidos.

Enfoque de categorías.- En este enfoque se tenía previsto que la legislación o normas para los rellenos sanitarios deberían variar para diferentes condiciones, tomando principalmente en cuenta la hidrogeología y la precipitación.

Para decidir cual de estos enfoques sería el que regulara el funcionamiento de los rellenos sanitarios, tal y como lo pide la Ley de Análisis del Impacto Legislativo (RIA), se evaluaron los beneficios y desventajas de cada uno, sin olvidar lo que sucedería en las comunidades pequeñas. Con estas evaluaciones se buscó llegar al objetivo de la EPA en materia de rellenos sanitarios; "lograr un balance entre la protección de la salud y las posibilidades técnicas y económicas de los responsables de los rellenos". Como se mencionó anteriormente, se evaluaron a las comunidades pequeñas (donde se producen 20 ton/día de basura o menos), llegando a la decisión de que las comunidades que estuvieran ubicadas en zonas áridas, tenían la opción de no cumplir con estas normas.

Finalmente con toda la información recabada de los rellenos existentes en Estados Unidos, se determinó el enfoque híbrido como el más adecuado, teniendo la particularidad de que los sistemas de estos rellenos son más económicos y menos rígidos que los requeridos en los rellenos de seguridad. Se debe notar que en la versión final, podían salir nuevas normas más estrictas y da lugar a excepciones basadas en consideraciones de tipo climático e hidrológicas.

II. GENERALIDADES SOBRE RELLENOS SANITARIOS

Los rellenos sanitarios se crean a partir de los problemas que se presentan debidos a los tiraderos a cielo abierto, que son hasta la fecha la forma más común de disponer los residuos sólidos, ya que se estima que aproximadamente un 84 % de los residuos sólidos son depositados a cielo abierto, mientras que el restante se maneja por medio de los rellenos sanitarios, siendo una gran incógnita lograr saber hasta que punto cumplen con las medidas de control que se exigen referente a este tema. En la tabla 2.1. se presentan algunos de los estados del país, donde se encuentran operando rellenos sanitarios, de acuerdo a información obtenida del INE (Base de datos, Centro de Consulta). Sin embargo cabe señalar que muchos de ellos operan como relleno controlados y no como rellenos sanitarios.

Tabla 2.1. Rellenos en operación en México.

Lugar	Estado
Aguascalientes	Aguascalientes
Champton	Campeche
Ciudad Juárez	Chihuahua
Colima Manzanillo	Colima
Bordo Poniente	D.F.
Tlalnepantla	Estado de México
Silao Valle de Santiago León Pénjamo San Miguel Allende	Guanajuato
Zihuatanejo-José Azueta	Guerrero
Puerto Vallarta	Jalisco
Cuernavaca	Morelos
Monterrey	Nuevo León
Salina Cruz	Oaxaca
Puebla	Puebla
Querétaro	Querétaro
Chetumal Cancún	Quintana Roo
Hermosillo	Sonora
Mazatlán	Sinaloa
Nuevo Laredo Matamoros	Tamaulipas
Tlaxcala	Tlaxcala
Jalapa	Veracruz
Fresnillo	Zacatecas

2.1. Definiciones básicas.

Las definiciones básicas que se emplean en un relleno sanitario son palabras tales como, relleno sanitario, lixiviados; a continuación se presentan estos conceptos. Algunos de estos conceptos fueron tomados de la NOM-083-ECOL-1996 y NOM-084-ECOL-1994(proyecto).

Abundamiento.- Es el aumento que tiene en cuanto a volumen el material, una vez que es sacado de su estado original.

Acarreo.- Es la acción de transportar el material de cubierta desde el lugar donde se encuentre hasta el sitio del relleno.

Almacenamiento.- Es la acción de retener temporalmente los residuos, por mientras se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección o se disponen.

Biogas.- Es la mezcla de gases, producto de la degradación de los residuos sólidos por acción de organismos anaeróbicos.

Capa.- Se llama capa al conjunto de celdas que ocupan un mismo nivel en un relleno.

Celda.- Es la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta (tierra) debidamente compactados mediante un equipo mecánico.

Compactación.- Es la acción de presionar el material para reducir los vacíos existentes en él.

Composteo.- Es el proceso de estabilización biológica de la parte orgánica de los residuos, para obtener un mejorador orgánico del suelo.

Corte.- Es la acción de rebajar por medios mecánicos o manuales a un material.

Cubierta diaria.- Es la capa de material natural o sintético con que se cubre a los residuos depositados durante un día de operación.

Cubierta final.- Es el revestimiento de material natural o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario.

Disposición final.- Es la acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar daños al ambiente.

Generación.- Es la cantidad de residuos sólidos originados por un componente de una determinada fuente en un intervalo de tiempo.

Instalación o Planta de los residuos sólidos.- Significa todos los terrenos, estructuras y obras donde se van a disponer los residuos sólidos.

Lixiviado.- Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos, resulta principalmente del paso del agua a través de los estratos de los residuos.

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

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

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

Peso volumétrico.- Es el peso de los residuos sólidos contenidos en una unidad de volumen de la gravedad.

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

Pozo de monitoreo.- Es una excavación hecha exclusivamente para realizar cualquier tipo de medición (hidráulica, geofísica, geológica).

Quema a cielo abierto.- Se denomina así a la combustión de residuos sólidos sin tener controles del aire de combustión y algún tipo de control de emisiones.

Recolección.- Acción de tomar los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos en el equipo destinado a conducirlos a las estaciones de transferencia o sitios de disposición final.

Relleno Controlado.- Sitio en el cual son depositados los residuos sólidos y cubiertos al final de cada día de operación.

Relleno Sanitario.- Es el método de ingeniería recomendado para la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales se depositan en el suelo, se esparcen y se compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra, al término de las operaciones del día. Con este método se buscan minimizar los impactos a la salud pública y al ambiente.

Rellenos Sanitario Manual.- Consiste en el enterramiento de los residuos con operaciones manuales sencillas y económicas, bajo condiciones que garanticen el cumplimiento estricto de las normas de sanidad.

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

Sistema pasivo de extracción.- Es el sistema utilizado para controlar el movimiento del biogás a presión natural y mediante el mecanismo de convección.

Sistema activo de extracción.- Es el control del movimiento del biogas mediante una presión negativa inducida (vacío).

Talud.- Es la inclinación formada por la acumulación de fragmentos del suelo con un ángulo de reposo del material.

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

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

2.2. Aspectos básicos de un proyecto.

Las condiciones y criterios que se fijan para definir el sitio que se utilizará como un relleno sanitario son las siguientes:

- El sitio debe de ser de un acceso fácil y rápido para todo tipo de camiones recolectores. Ya que de lo contrario provocará la disminución de los rendimientos de dichos camiones, teniendo como consecuencia un retardo en los viajes y un aumento de costos. Debido a esto el sitio debe estar lo más próximo de la zona urbana y bien comunicado por carretera, que puede ser desde un acceso no pavimentado pero transitable en todas las épocas del año. Aquí se tiene que tomar en cuenta las velocidades límites de dichas carreteras, así como las limitaciones para el tránsito de vehículos de carga pesada, la capacidad y las alturas de los puentes existentes y el flujo vehicular y los congestionamientos.
- El sitio debe de ser lo suficientemente grande para permitir una vida útil de largo plazo, de preferencia superior a los diez años de operación. Esto debido a la rentabilidad del proyecto, tomando en cuenta la proyección futura de la población y el índice de generación de los residuos sólidos.
- Se debe contar con una topografía tal que permita, que el volumen aprovechable por hectárea sea lo suficiente para el diseño del relleno sanitario, siendo la característica más importante para definir este aspecto la capacidad del suelo en dicho sitio. Uno de los sitios mas usados para estos casos son las minas y los inicios de las cañadas.

La forma de obtener el área requerida es mediante la formula a continuación presentada:

$$A = \left(\frac{V}{H} \right) \times n$$

$$A_{tot} = 1.3 \times A$$

En la cual:

V = volumen de basura compactado

H = profundidad del relleno

n = años de funcionamiento

1.3 = constante por la ocupación de áreas para las construcciones auxiliares y vías de acceso

- El tipo de suelo debe ser tal que se puedan proteger los recursos naturales, para esto será necesario realizar estudios tales como de mecánica de suelos, geohidrología, etc. Es recomendable para la operación de los rellenos sanitarios el uso de los suelos sedimentarios, especialmente los que tienen características areno-arcillosas por ser de los suelos con más baja permeabilidad, ya que con esto las infiltraciones se reducen al máximo. Para este caso será necesario averiguar la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, así como su dirección y la velocidad del escurrimiento de la misma, todo esto con el fin de evitar alguna contaminación en los acuíferos.
- La localización del sitio debe ser tal que no cause molestias o rechazos a los poblados cercanos en la operación del relleno sanitario, como puede ser el caso de los olores, ruidos y tránsito. Debe tenerse especial cuidado con los olores, principalmente con las direcciones de los vientos dominantes, donde estos deben soplar en sentido contrario a las áreas urbanas.
- Para la instalación del relleno, se debe demostrar que los diseños de ingeniería garantizan la estabilidad de sus componentes estructurales, tomando en cuenta los siguientes aspectos: las condiciones del suelo, características geológicas locales; por ejemplo las fallas geológicas deberán de estar a una distancia mayor de 60 m., características causadas por el hombre, como por ejemplo excavaciones para túneles.
- Las estructuras, membranas, taludes y sistema de control de aguas superficiales y de lixiviados, deberán de ser capaces de resistir la aceleración horizontal sísmica local, esto en caso de que el relleno sanitario se encuentre en una zona de impacto sísmico. Zona de impacto sísmico es aquella que tiene una probabilidad del 10 % o más, que la aceleración horizontal en roca dura exceda 0.10 g en 250 años.
- El clima es un factor que debe tomarse en cuenta, ya que la temperatura es uno de los elementos que más intervienen en el diseño de un relleno; por ejemplo para la cuantificación de los lixiviados.
- Se debe disponer de tierra para la cobertura, en la cantidad y calidad necesaria en el relleno sanitario o lo más cercano posible al sitio, ya que de lo contrario se provocaría un aumento de los costos de operación del relleno sanitario, debidos al transporte de dicho material.
- No debe tener problemas relacionados con el uso y tenencia del suelo. Siendo necesario que el municipio cuente con los documentos necesarios para la autorización de la construcción del relleno sanitario, especificando el periodo y la utilización que se le dará al sitio cuando dicho periodo concluya.
- Es necesario que los rellenos se ubiquen fuera de las zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años, en caso de que se decida realizarse el proyecto en este sitio aun sabiendo que es una zona de inundación, se deberá demostrar mediante un estudio que no se pone en peligro la salud o el ambiente por la obstrucción del flujo de la inundación y la posibilidad de erosión que provoque el arrastre de los residuos.
- También se deben reunir ciertos requisitos, entre los que se encuentran los siguientes:

- Distancia no menor a 1,000 m de los cuerpos de aguas superficiales con caudal continuo.
- Distancia no menor a 1,500 m a partir del límite de la traza urbana de la población a servir.
- Distancia no menor a 3,000 m de aeropuertos que sirven a aviones con motor de turbina y 1,500 m de los que sirven a aviones con motor de pistón.

Dado que es difícil encontrar un terreno que cumpla con todas las condiciones antes mencionadas, es recomendable que el contratista proponga por lo menos de 3 a 5 sitios aptos para la construcción de un relleno sanitario y la definición del sitio corresponde a las autoridades municipales y a la SEMARNAP (INE), o se puede realizar un estudio de los sitios propuestos y dar un orden de preferencia para cada requisito, generalmente con base a los recursos técnicos y económicos, siendo elegido el sitio con mayor puntuación del análisis. Para esto será necesario investigar los siguientes datos de los sitios propuestos:

- ◊ Meteorología; precipitación pluvial, evaporación, infiltración, intensidad, dirección y velocidad de los vientos dominantes.
- ◊ Demografía; se realizará la proyección de la población en base a los censos más recientes.

En algunas ocasiones es conveniente analizar como relleno sanitario, el sitio donde actualmente se lleva a cabo la disposición final de los residuos sólidos (el basurero). A continuación se describen algunos de los estudios que son necesarios realizar previamente a la definición del sitio del relleno sanitario.

Mecánica de suelos.- Este muestreo consiste en excavar pozos a cielo abierto con una profundidad máxima de dos metros, teniendo la oportunidad de que si se realizaron sondeos geofísicos estos se utilizarán para los estudios de la mecánica de suelos. Dentro de la mecánica de suelos existen dos tipos de muestreo que son el alterado y el inalterado.

Muestras Alteradas. Se deberá tomar una muestra alterada de cada uno de los pozos a cielo abierto, para esto es necesario realizar un pozo por hectárea, localizado en el sitio más representativo. El procedimiento para la extracción de muestras alteradas es el siguiente:

- 1) Excavar el pozo a cielo abierto, con las siguientes dimensiones: 0.80 a 1.50 m. de ancho y una profundidad máxima de 2.00 m.
- 2) En el fondo de dicho pozo se abre una ranura vertical de sección uniforme, con una profundidad de 20 cm.
- 3) El material obtenido se coloca en una botella de lámina, en el cual deben estar identificado con lo siguiente: banco, fecha, pozo y profundidad.

Muestras Inalteradas. Se debe tomar cuando menos una muestra inalterada del sitio por capas, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- a). Limpiar y nivelar el terreno
- b). Se introduce el tubo para muestrear hasta donde la consistencia del suelo lo permita.
- c). Excavar alrededor del tubo, esto con el fin de evitar la fricción de la cara exterior del tubo.
- d). Se introduce el tubo hasta los primeros 25 cm. o hasta el horizonte de suelo que se trabaje.
- e). Se recorta la muestra de suelo por su base y se enrasa al tamaño del tubo.

- f). Se protegen las bases de la muestra con vendas de manta impregnadas con parafina y brea.
- g). Se empaca la muestra en un cajón de madera con aserrín, papel o paja.
- h). Identificar las muestras con lo siguiente: fecha, localización del pozo y profundidad.

Con las muestras en el laboratorio, se procede a realizar los siguientes análisis y en caso de que se considere pertinente, se realizarán las pruebas de Compactación Proctor Estándar y Compresión triaxial.

- ◆ Contenido orgánico total
- ◆ Granulometría
- ◆ Capacidad de intercambio catiónico
- ◆ Límites de consistencia
- ◆ pH
- ◆ Clasificación de suelos
- ◆ Porosidad
- ◆ Humedad
- ◆ Peso volumétrico
- ◆ Permeabilidad
- ◆ Capacidad de carga

Geohidrología.- El objetivo principal para realizar el estudio geohidrológico es de la localización de todos los mantos acuíferos que se encuentran en la zona de estudio, así como averiguar el gasto de escurrimiento, velocidad, dirección de movimiento y los cortes estratigráficos de los suelos, con los cuales se obtiene la información sobre el material disponible de cubierta y la línea de máxima excavación en la operación del relleno.

Cuando no se cuente con un presupuesto económico suficiente, se deberán realizar como mínimo los estudios de pozo a cielo abierto y sondeos, esto con el fin de verificar los datos obtenidos previamente y dar una información con detalle para el diseño del relleno sanitario. Los sondeos se realizarán hasta una profundidad de 20 m ó menos; si se localiza un material impermeable, o bien se pueden realizar pozos a cielo abierto a una profundidad de 6 m ó más cuando el sitio lo permita. Estos sondeos son de gran importancia, ya que permiten conocer con exactitud la estratigrafía del suelo y las condiciones del sitio, tales como la profundidad del acuífero, permeabilidad y tipo de material.

La localización de los sondeos se deberá presentar en un plano general del sitio, conteniendo las siguientes características:

- Profundidad del sondeo
- Equipo empleado
- Tipo de terreno
- Simbología correspondiente
- Croquis de localización del sitio
- Perfil estratigráfico
- Características del suelo

Posteriormente a estos estudios, se deberá investigar con las autoridades que tienen que ver con los aspectos hidráulicos del lugar las siguientes características; en caso de que existan dudas es conveniente determinarlas con los resultados obtenidos del estudio geohidrológico:

- ◊ Nivel de aguas freáticas
- ◊ Precipitación pluvial
- ◊ Evaporación
- ◊ Transpiración

Estos datos son importantes, ya que afectarán de alguna manera al diseño del relleno sanitario, por ejemplo en el caso de la precipitación pluvial será importante para los diseños de los drenajes, el cálculo del volumen de los lixiviados, el cálculo de agua de escurrimiento superficial. La evaporación y la transpiración también afectan el cálculo de los lixiviados.

Con el sitio ya definido, es conveniente tener en cuenta los siguientes criterios para el diseño del relleno sanitario, algunos de estos se utilizaron en la selección de sitio por lo cual ya no será necesario volver a realizarlos.

1. Tipo de terreno.

Dentro de la clasificación del sitio se tienen cinco perfiles de terreno, los cuales se pueden utilizar para la construcción y operación del relleno, donde el tipo de terreno determinará el método a usar en el relleno sanitario, por su topografía los terrenos se clasifican en:

- *Plano*. Es aquel terreno, en el cual se presentan pequeñas pendientes como las mesetas y llanuras, las pendientes que se encuentran dentro de este terreno generalmente son del orden de 0 a 5 %.
- *Ondulado*. Son aquellos terrenos en los cuales la pendiente no es continua, presentando partes planas y partes con pendiente media como los son los valles, en este tipo de terreno es común encontrar las pendientes del 5 al 10 %.
- *Escarpado*. Estos terrenos presentan pendientes mayores al 10 %, como en las montañas, cerros y cañadas.
- *Banco de material de préstamo abandonado*. Es aquel que se usó como banco de material y presenta grandes oquedades, las cuales pueden ir desde 5 a 15 m. de profundidad.
- *Combinado*. Es el aquel que presenta 2 ó más variantes de los terrenos anteriormente descritos.

2. Geohidrología y Mecánica de suelos.

Estos estudios se describieron antes y los pasos a seguir en ambos es el mismo.

3. Estudios topográficos.

Una vez definido el sitio del relleno sanitario, se requiere determinar los parámetros que a continuación se enuncian:

◆ *Planimetría*

Para realizar dicho estudio, se toma como base principal el entronque de acceso al relleno, con la vía de comunicación principal por la cual transitarán los camiones de transferencia de los residuos sólidos. Ya definido este punto, servirá para unirlo con una poligonal abierta al área del relleno sanitario, con la cual se obtendrá el eje del camino de acceso; con el último punto de la poligonal abierta se inicia el trazo de la poligonal cerrada, la cual limita el sitio elegido para el relleno sanitario.

Las especificaciones que debe cumplir este estudio son las siguientes:

- Escala para terrenos de hasta 8 hectáreas; 1:500 y para los terrenos mayores de 8 hectáreas; 1:1000.
- La orientación de ambas poligonales, se basará en la orientación astronómica.
- Las tolerancias permisibles para este trabajo, serán las mismas que se indican en la NOM-084-ÉCOL-1994(proyecto).

◆ *Altimetría*

En primer lugar se localizará un banco de nivel y de referencia para la altimetría, después se procede a realizar la nivelación a lo largo de la poligonal abierta a cada 20.00 m, teniendo la posibilidad de que si se detecta algún accidente topográfico del terreno que pueda servir para definir el perfil, se realice la nivelación a una distancia menor de 20.00 m.

◆ *Secciones*

Las secciones empezarán a partir de la estación 0+000 del camino de acceso, las cuales son definidas con base a las que se establecen previamente en el perfil del camino. Estas deben ser perpendiculares al perfil longitudinal y deben abarcar una distancia de 20.00 a cada lado de dicho eje.

Para la poligonal cerrada, el trabajo a seguir es el mismo que se indica en la NOM-084-ÉCOL-1996(proyecto), es decir, se establece un eje central que divida al predio en dos áreas iguales, debiendo definirse ejes paralelos a cada 50 m., mismos que deben seccionarse transversalmente a cada 25 m. aproximadamente para superficies de 8 hectáreas o menos y a cada 50 m. en terrenos mayores a 8 hectáreas.

◆ *Curvas de nivel*

Las curvas de igual nivel, se trazan con base en las secciones transversales que anteriormente se llevaron a cabo y deberán cumplir con los siguientes lineamientos:

- A cada 0.50 m. para sitios planos y ligeramente ondulados
- A cada 1.00 m. para terrenos ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados.

4. Cálculo de la vida útil.

Este cálculo se realiza de acuerdo al volumen de residuos recibido y a la topografía del terreno. Para esto, es necesario definir la población a servir, la cual se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\sum p_i}{n}$$

Donde:

- P*= población por servir
- p*= población por año
- i*= años de vida del diseño
- n*= tiempo en años

Otro aspecto importante para el cálculo de la vida útil del relleno, es el cálculo del volumen, éste se determina con la siguiente formula:

$$V = \frac{365 \times P \times ppc \times mc}{D}$$

Donde:

- V*= volumen del relleno sanitario
- P*= población por servir
- ppc*= volumen producido por habitante
- mc*= proporción de material de cobertura
- D* = densidad de la basura en el relleno sanitario

De acuerdo a estudios realizados en los rellenos que actualmente se encuentran operando, se obtuvieron los valores que se muestran en la tabla 2.2. de las principales características de un relleno sanitario en el país.

Tabla 2.2. Valor promedio de características de los rellenos sanitarios

Característica	Valor
▪ Volumen producido por habitante	400-500 kg/m ³
▪ Proporción de material de cobertura	0.3 – 1 kg/hab/día
▪ Densidad de la basura en el relleno sanitario	1:3 - 1:4

Después de haber obtenido los parámetros necesarios, se procede a determinar la vida útil de un relleno sanitario, para lo cual hay que utilizar la fórmula expuesta en la NOM-084-ECOL-1994 (proyecto) o la siguiente, la cual se encuentra más desglosada:

$$U = \frac{V}{365(G_t + \%G_v)}$$

Donde:

U = Vida útil del relleno sanitario, en años.

V = Volumen del sitio seleccionado, en m^3 .

G_t = Es la cantidad de residuos sólidos a disponer, en m^3 /día.

$\%G_v$ = Es un porcentaje de G_t , correspondiente al material de cubierta.

5. Diseño de la celda diaria.

Las celdas son unidades conformadas por basura y material de cobertura, que son aplastados conforme al llenado del área, de acuerdo a las condiciones del terreno y el tipo de operación. La fórmula para la obtención del volumen de la celda diaria es la siguiente:

$$V = \frac{P \times ppc \times mc \times f}{D}$$

Donde:

P = población por servir

ppc = volumen producido por habitante

mc = proporción de material de cobertura

f = días de recolección

D = densidad de la basura en el relleno sanitario

Los elementos principales de una celda son: su altura, largo, ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales y espesores del material de cubierta diario. Por ejemplo, mientras más altas sean las celdas, menor será la cantidad de tierra necesaria para cubrir a los residuos y mientras menor sea la altura de las celdas, el relleno requerirá de mayor cantidad de material de cubierta, aunque no hay que olvidar que la altura de las celdas, depende en gran medida de la estabilidad de los taludes y de la compactación.

La forma de calcular el ancho mínimo de la celda, depende de la longitud de la cuchilla del equipo que se emplee en la construcción de las celdas y del número de vehículos de transferencia y/o recolectores que llegan a la hora pico. Una forma de calcular las dimensiones del frente de trabajo se presentó en el capítulo 1.2. "Normas Oficiales Mexicanas" y a continuación se presenta una tabla que proporciona los valores de trabajo recomendables dependiendo del número de vehículos que lleguen al relleno en la hora pico.

Tabla 2.3. Frente de trabajo recomendable.

No. de vehículos que llegan al relleno en la hora pico	Frente de trabajo (m)
3	12
4	16
5	20
6	24
7	28
8	32
9	36
10	40
11	44
12	48
13	52

6. Diseño de franjas

La franja es el bloque de construcción básico en un relleno sanitario, donde para construir una franja, primero hay que esparcir los desechos en capas de más o menos medio metro y se compactan reduciendo a capas delgadas, lo más compactadas posible. Al final del día, se esparce sobre los desechos una cantidad de material de cubierta y se compacta. Así la franja esta constituida por desechos y tierra compactados.

No hay una regla determinada para establecer la altura de la franja, pero una altura de 2.50 m se considera común. Se debe construir el frente de trabajo de la franja con el ancho mínimo para concentrar los esfuerzos de compactación y reducir los requerimientos de material de cobertura, sin embargo, debe ser lo suficientemente ancho para impedir la congestión de los camiones que esperan para descargar, así un frente de trabajo típico tiene cerca de 31 m de ancho.

El número de celdas que se podrán unir para formar una franja es variable, esto de acuerdo con la topografía del sitio. El sentido de su construcción irá de extremo a extremo y de la parte más alta a la parte más baja de la superficie del relleno. Después de formar la franja el equipo mecánico nivelará la altura de las celdas con material de cubierta, esto con el fin de que la superficie tenga la misma pendiente que la de la capa. La forma en que se representa en los planos es con dos subíndices; el primero indica la capa correspondiente y el segundo la franja.

7. Diseño de capas

Se llama capa al conjunto de celdas que ocupan un mismo nivel en un relleno. Las celdas se unen unas con otras para formar las franjas y éstas al irse juntando forman las capas. Estas son diseñadas considerando la altura del sitio disponible, al igual que las franjas, las capas se representan con dos subíndices, uno indicando la capa y otro la celda, la numeración se lleva a cabo de abajo hacia arriba.

Para evitar las infiltraciones pluviales y facilitar el escurrimiento del agua de lluvia, la superficie de la capa se recomienda que cumpla con una pendiente del 1 al 2 % a partir del eje longitudinal de la capa, teniendo especial cuidado de no dejar descubiertos los residuos. El criterio para establecer el espesor de las capas es en función de la altura de celda y del tipo de material de cubierta.

8. Material de cubierta.

El material de cubierta es un elemento muy importante, ya que impide la entrada y salida de fauna nociva, reduce los malos olores, controla la salida de gases y ayuda al control de incendios, además de que es esencial para la buena apariencia del relleno sanitario. También la cubierta sirve para el tránsito de vehículos, cuando sea éste el caso debe ser transitable en cualquier condición climática.

Debido a la importancia de este material, es obligación del operador del relleno, cubrir diariamente la basura con un mínimo de 15 cm de tierra al terminar el día o con mayor frecuencia si fuera necesario; se admiten otros espesores menores mediante un estudio previo. Sólo se pueden exceptuar los sitios que se encuentran en condiciones climáticas extremas que hagan menos práctica esta operación.

El tipo de material recomendable para usar como cubierta, se describe más adelante, aunque de antemano se mencionan los que deben ser evitados, estos son la turba y los suelos con alto contenido de materia orgánica. El primero principalmente por su alto contenido de vacíos y de agua, la cual puede ser de 100 % a 400 % de su peso seco, lo cual hace difícil su compactación y los segundos por su alto contenido de materia orgánica en descomposición, ya que hace más difícil su compactación, además de que su alto contenido de humedad puede provocar una expansión del material.

9. Movimiento de tierra.

Esta operación dentro del funcionamiento del relleno sanitario es muy importante, por lo tanto se deberá buscar siempre el lugar más cercano al sitio del relleno para ocuparlo como banco de material de cubierta, también es necesario determinar adecuadamente el método del relleno a seguir, ya que de esto dependerán las dimensiones de la excavación y como el movimiento de tierras es uno de los aspectos que rigen económicamente al proyecto, de ahí su importancia.

10. Impermeabilización y control de líquidos percolados.

El objetivo principal de la impermeabilización, será proteger las aguas subterráneas, lo cual se puede llevar a cabo por dos métodos:

Método Natural. Este consiste en aprovechar las propiedades químicas del suelo donde va a estar ubicado el relleno y evitar la contaminación del agua subterránea por medio del lixiviado. Para el uso de este método es conveniente que los suelos del sitio sean con un alto contenido de arcillas (entre el 0.30 y 1.00 m. de espesor) y/o con capas impermeables a poca profundidad.

Método Artificial. Este consiste en la colocación de materiales naturales o artificiales con el fin de evitar la entrada del lixiviado a las aguas subterráneas. En este método el material más empleado es el de arcillas compactadas (con 4 a 6 pasadas) en la base del terreno con espesor de capa de 20 a 60 cm. y con una humedad óptima. Mientras que los materiales artificiales más usados son hule, polietileno y PVC, dichos materiales se deben asentar sobre una base de arena nivelada inferior y superior.

En conclusión, se deberá tener un diseño consistente en un sistema de impermeabilización compuesto y un sistema de drenaje que no permita una carga hidráulica mayor de 30 cm. sobre la membrana. La impermeabilización está formada por dos componentes: el superior consiste en una membrana sintética de 30 mm. de espesor mínimo y una capa de suelo compactado de 60 cm. de espesor, con una conductividad hidráulica menor de 1×10^{-7} cm/seg.

11. Pozos de monitoreo.

Se deberá construir un sistema de pozos de monitoreo, donde el número, profundidad y localización de los pozos deberá ser tal que las muestras sean representativas del acuífero superior tanto de las aguas arriba, como de la parte aguas abajo. Este sistema debe contar por lo menos con 3 pozos de muestreo y estarán colocados de la siguiente manera; uno antes de llegar al sitio del relleno sanitario, otro aguas abajo del mismo y el último en el sitio del relleno. Las características que deben presentar dichos pozos se describieron en la NOM-084-ECOL-1994 (proyecto) y los análisis recomendados del lixiviados se describen en el Anexo 2.

12. Sistema de captación de biogas.

Para la captación de los gases existen dos métodos: el primero con materiales permeables y el segundo por medio de los materiales impermeables.

- a). *Método permeable.* Este emplea zanjas de grava o ventilas llenas de grava entre las celdas por donde fluirán los gases, dichas zanjas deben profundizar debajo de la base del relleno para asegurar la intercepción de todos los gases. Las zanjas pueden tener un diámetro de 30 cm. y deben mantenerse libres de vegetación o tierra.

Otro método permeable que es muy usado, es el colocar tubos perforados de PVC de 8 a 10 cm. de diámetro. Los ductos se colocan entre la última celda superior y el material de cubierta final.

- b). *Método impermeable.* Con este método se busca controlar los gases a través de materiales impermeables, por ejemplo con una capa de arcilla compactada de un espesor de 0.45 a 1.50 m.

La prioridad del operador en este sistema es verificar que la concentración de gas metano se mantenga por debajo del 25 % del límite inferior de explosividad en todas las estructuras del relleno, con excepción del sistema de extracción y ventilación de gases. En dicho sistema se especificará el tipo y frecuencia del muestreo, donde la frecuencia mínima permitida es de un muestreo cada 3 meses. En este sistema la cantidad de pozos requeridos, es en base a la cantidad de residuos sólidos a disponer diariamente, la profundidad promedio del relleno y el área del mismo.

13. Sistema de captación de aguas de escurrimiento.

El sistema de captación de aguas de escurrimiento de un relleno sanitario, tiene como objetivo reducir la cantidad de agua que llega a las diferentes partes del mismo y dar salida al agua cuyo acceso sea inevitable. Algunas formas de determinar el escurrimiento se especificaron en la NOM-084-ECOL-1994 (proyecto).

El operador deberá diseñar un sistema de control de escurrimiento que sea capaz de desviar el caudal máximo de una tormenta con periodo de retorno de 25 años. Asimismo deberá prever las estructuras de regulación necesarias para almacenar el volumen de escurrimiento proveniente del relleno, producido por una tormenta con el período de retorno de 25 años durante 24 horas.

14. Obras complementarias.

Entre las obras complementarias de un relleno sanitario, se encuentran las siguientes: drenaje, caminos de acceso, pozos de monitoreo, cercado, báscula y edificios administrativos. Tal como se muestra en la fotografía 2.1.

Caminos de acceso.- Los caminos deben diseñarse hasta la ubicación del relleno, siendo transitable en todo el tiempo y con un diseño apropiado para el tráfico del número de los viajes esperados, especificando las obra de drenaje, cunetas, radio de las curvas, ancho de las vías y superficie de rodamiento, sin olvidar los caminos interiores que se deben ir modificando de acuerdo al avance del relleno, donde el acceso al relleno sanitario debe tener un ancho de 8.00 m. como mínimo.

Áreas de acceso y espera.- Las áreas de acceso y espera tienen como propósito el control de entradas y salidas del personal y de los vehículos de recolección, al frente de trabajo se deberá tener un área de espera con la capacidad suficiente para el estacionamiento de los vehículos recolectores y de transferencia en la hora pico.

Cercado.- Se tendrá una cerca en todo el perímetro del sitio, como mínimo con alambre de púas de cinco hilos de 1.50 m. de alto, a partir del nivel del suelo con postes de concreto o tubos galvanizados, debidamente empotrados y colocados a cada 3 m entre sí, para poblaciones de hasta 500,000 habitantes, y como mínimo con malla ciclónica de 2.20 m. de alto para poblaciones mayores.

Caseta de pesaje y báscula.- Las dimensiones de la caseta de pesaje tendrán como mínimo 16 m² para alojar el dispositivo indicador de la báscula y el mobiliario necesario para el registro y archivo de datos. La báscula deberá ubicarse cerca de la entrada del relleno sanitario y contar con capacidad acorde a la unidad recolectora de mayor volumen de carga y con una precisión de 5 Kg.

Edificios.- Se diseñarán casetas, baños, almacén de maquinaria y de herramienta, todo esto en función de la vida útil de operación del relleno sanitario, los cuales deberán contar con todos los servicios para funcionar adecuadamente, tales como energía eléctrica, agua y aire acondicionado de ser necesario. Las dimensiones de la caseta de vigilancia serán como mínimo de 4 m² y deberá instalarse a la entrada del relleno sanitario.

15. Equipo mecánico.

En la selección del equipo es necesario la realización de un estudio muy detallado, el cual se explica en los capítulos 4, 5 y 6, así como en el último subtema de este capítulo.

16. Criterios Financieros.

Es obligación para los propietarios y operadores calcular al inicio de la vida del relleno y actualizar anualmente, los costos estimados para la clausura. Un relleno sanitario crea dos tipos de costos: costos directos de caja para las operaciones de mantenimiento diario y costos de compra de la maquinaria, los cuales no se producen diario pero representan grandes inversiones a largo plazo.

Dentro de esta serie de conceptos se destacan las inversiones realizadas para las obras de construcción, adquisición o instalación necesaria, tales como:

- Obras de infraestructura para el acondicionamiento del terreno, como el drenaje y los caminos de acceso.
- Edificaciones para la operación del relleno sanitario, como oficinas, casetas de cobro y vigilancia, almacenes, talleres y servicios.
- Adquisición de maquinaria y equipo

De estas inversiones, solo las efectuadas por la adquisición de maquinaria y equipo se amortizarán en un plazo de 5 años, las demás deberán amortizarse durante la vida útil del relleno. Así para conocer la inversión total en el relleno, se aplica la siguiente ecuación.

$$L_t = C_t + C_p + C_c + C_m + C_o$$

Donde:

L_t = Inversión total en el relleno sanitario

C_t = Costo de adquisición del terreno.

C_p = Costo de acondicionamiento del predio que incluye: despalme, desenraice, excavaciones, movimientos de tierras y caminos de acceso.

C_c = Suma de costos de edificación de cerca perimetral y móvil, de caseta de cobro, de edificios administrativos y de pesaje, cobertizo y cimentación de báscula.

C_m = Suma de costos de adquisición de báscula, equipo pesado como los tractores, compactadores, herramienta menor y equipo de oficina.

C_o = Suma de costos de obras de protección para el manejo y captación de aguas pluviales, lixiviados y biogas.

Mientras que para conocer el costo de operación en el relleno se utiliza la siguiente fórmula:

$$CO = S_s + A_e + C_l + R_m + M_r + G_a$$

Donde:

CO = Costo de operación en el relleno.

S_s = Salario y prestaciones de los operarios.

A_e = Costo de arrendamiento de equipo y maquinaria.

C_f = Costo de combustibles y lubricantes.

R_m = costo de reparaciones y mantenimiento preventivo.

M_r = Costo de material de cubierta (en caso de no estar disponible en el predio).

G_a = Gastos administrativos: sueldos y prestaciones del personal administrativo, gastos de papelería y mantenimiento de oficina, costo de servicio (luz, teléfono, correo).

El costo total unitario en \$/ton se puede calcular como:

$$CI_u = \frac{C_l + C_p + C_c + C_o}{V_u} + \frac{C_m}{V_{um}}$$

$$CO_u = \frac{S_s + A_e + C_l + R_m + M_r + G_a}{P}$$

$$CT_u = CI_u + CO_u$$

Donde:

CI_u = Costo de inversión por unidad

V_u = Vida útil del relleno sanitario

V_{um} = Vida útil de la maquinaria

CO_u = Costo de operación por unidad

P = La cantidad de toneladas de residuos, que manejará el relleno en el lapso del tiempo en el que se desee conocer el costo.

CT_u = Costo Total Unitario

Finalmente para obtener el costo por habitante, el costo total unitario deberá multiplicarse por la generación per cápita de residuos sólidos y a partir de este resultado establecer la tarifa a cobrar (por tonelada o por habitante). Es recomendable ir adecuando esta tarifa según el periodo en que se determine, ya que ayudará a tener tarifas realistas y por lo tanto la recuperación de la inversión en el relleno se cubrirá en el tiempo establecido.

Para el uso de las fórmulas mencionadas, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si el sitio del relleno se piensa vender al término de su vida útil, su costo no se incluirá en el cálculo del costo de inversión.
- Si el terreno se arrienda, el costo se incluirá como costo de operación.
- Los intereses que cause algún préstamo deberán ser considerados dentro de los costos de operación.

17. Manual de operación.

El manual de operación deberá contener las operaciones básicas de un relleno sanitario, desde la recepción hasta la disposición final de los residuos sólidos y debido a su importancia para el desarrollo de esta tesis, se describen ampliamente en el capítulo 3; Operación en un relleno sanitario.

Uno de los objetivos principales del manual, es establecer una organización administrativa para el buen funcionamiento del relleno, asimismo determinar el número de personal y obligaciones que tendrá cada uno. Un relleno deberá tener como mínimo el personal mencionado en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Personal mínimo en un relleno sanitario.

Cargo	Actividad y función
Jefe de operación del relleno sanitario	Es la persona responsable del relleno sanitario, tiene a su cargo establecer la planeación y la programación, observar el avance, así como tomar las medidas necesarias para la conservación, mantenimiento y operación del mismo. Otras actividades que tiene a su cargo, es establecer los días y horarios del funcionamiento del relleno y en coordinación con el operador definir los frentes de operación. Asimismo ordenar los suministros de combustibles, aceites, grasas, reparaciones y refacciones para composturas menores de la máquina y proporcionar el equipo de protección para el personal que labore en el relleno.
Mecanógrafa	Esta persona permanecerá en la oficina del jefe de operación del relleno, es la encargada de archivar todo lo relacionado al costo, funcionamiento, información técnica y administrativa del relleno, así como contestar la correspondencia relativa al relleno sanitario.
Chofer de camioneta	Es el trabajador encargado de abastecer de combustible, refacciones, aceites, agua para la operación y mantenimiento del equipo mecánico, también debe transportar al personal que trabaje en el relleno, desde el palacio municipal hasta el relleno y cuando se requiera desarrollará actividades de mensajero.
Encargado de control (pesador)	Es el encargado de operar la báscula en caso de que exista, por medio del impresor de boletos, asimismo debe reportar las fallas de la báscula al jefe del relleno e informar diariamente de la cantidad de residuos pesados, llevando un control de cada viaje y camión recolector. Tendrá a su cargo los trámites administrativos del personal, tales como tarjetas de control y a través de él se solicitará el suministro de combustibles y materiales, también debe vigilar las entradas y salidas de los materiales que se tengan en la bodega.

Tabla 2.4. Personal mínimo en un relleno sanitario. (continuación)

Cargo	Actividad y función
Vigilante	Su principal función es abrir y cerrar las puertas de acceso a los camiones, así como llevar los registros y listas de los movimientos efectuados diariamente, se recomienda tener a dos vigilantes como mínimo para cumplir con los turnos.
Operador de bulldozer	Es el trabajador que tiene a su cargo revisar el funcionamiento del tractor y conducir la máquina para mover tierra, desmontar, excavar y nivelar, también debe indicar a los choferes de los camiones de recolección el lugar donde descargar los residuos sólidos, esto de acuerdo al frente de trabajo y al método del relleno. Finalmente deberá extender y compactar la celda formada en un día con el material producto de la excavación o de un banco de préstamo.
Ayudante del operador del bulldozer	Es quien efectúa labores de lubricación, limpieza y mantenimiento de las partes móviles del tractor, dentro de sus funciones está lavar el motor, revisar los niveles de combustible, aceite del carter y caja de velocidades. Es el encargado de transmitir las instrucciones del operador a los choferes de los camiones recolectores, sobre el sitio exacto en donde deberán descargar los residuos.

2.3. Tipos de rellenos sanitarios.

La selección del método será determinado en base a la topografía del sitio, aunque también depende del material de cobertura y de la profundidad del nivel freático. De acuerdo a los tipos de suelo donde se ubicará el relleno sanitario, existen tres métodos de operación, los cuales se mencionan a continuación:

* Método de Trinchera o zanja

También se le conoce como método de zanja y consiste en depositar los residuos sólidos sobre el talud inclinado, generalmente recomendado el de 1:3 donde posteriormente son esparcidos y compactados en capas con el equipo necesario, hasta formar una celda que posteriormente será cubierta con material, ya sea proveniente de un banco de material o excavado en el sitio, con una frecuencia mínima de una vez al día esparciendo lo mejor posible y compactando sobre los residuos. En la figura 2.1 se ilustra la forma en que se lleva a cabo el método de trinchera.

Este método es generalmente usado en donde el nivel de las aguas freáticas es profundo y las pendientes del terreno suaves, las trincheras pueden ser excavadas utilizando equipos normales de movimientos de tierras, como una retroexcavadora o un tractor de oruga y la altura

común a la cual se realizan las excavaciones son de dos a tres metros de profundidad. Teniendo la gran ventaja de que el material de cubierta que se utiliza es el material producto de la excavación de la trinchera, donde se puede excavar varias trincheras y almacenar el material de cubierta o bien obtener el material diariamente. Sin embargo, el método de zanja tiene algunas desventajas, si se excava más material de cobertura del que se requiere inmediatamente, hay que apilarlo y volver a moverlo a un costo extra. El drenaje puede ser también un problema, pero este se puede resolver abriendo un extremo de la zanja e inclinando el piso de la zanja hacia el otro extremo, recordando las precauciones que se deben de tomar para que el agua de la superficie pueda desaguar en el extremo de la zanja.

El ancho de las trincheras deberá ser al menos dos a tres veces más ancho que la maquinaria para que pueda compactarse el material en el área de trabajo, mientras que la profundidad depende del nivel de aguas freáticas y de las características del suelo. Es importante anotar que existen experiencias de excavación de trincheras hasta de 9 a 12 m de profundidad, 18 a 24 m de ancho y de 60 a 90 m de largo para rellenos sanitarios que reciben de 270 a 450 toneladas métricas por día, donde las 450 toneladas son el límite para evitar la congestión del tráfico de vehículos.

Este procedimiento puede realizarse de tres formas:

- Excavar toda la zanja y poner en camellones el material de cobertura a lo largo de los lados hasta que se necesite.
- Excavar sólo lo suficiente para proporcionar el espacio para un solo día de trabajo y cubrirlo con tierra. Esto se llama el método de zanja progresiva que puede requerir el manejo del material de cobertura sólo una vez.
- Excavar una segunda zanja en segmentos paralelos a la primera y usar el material excavado para cubrir la primera zanja.

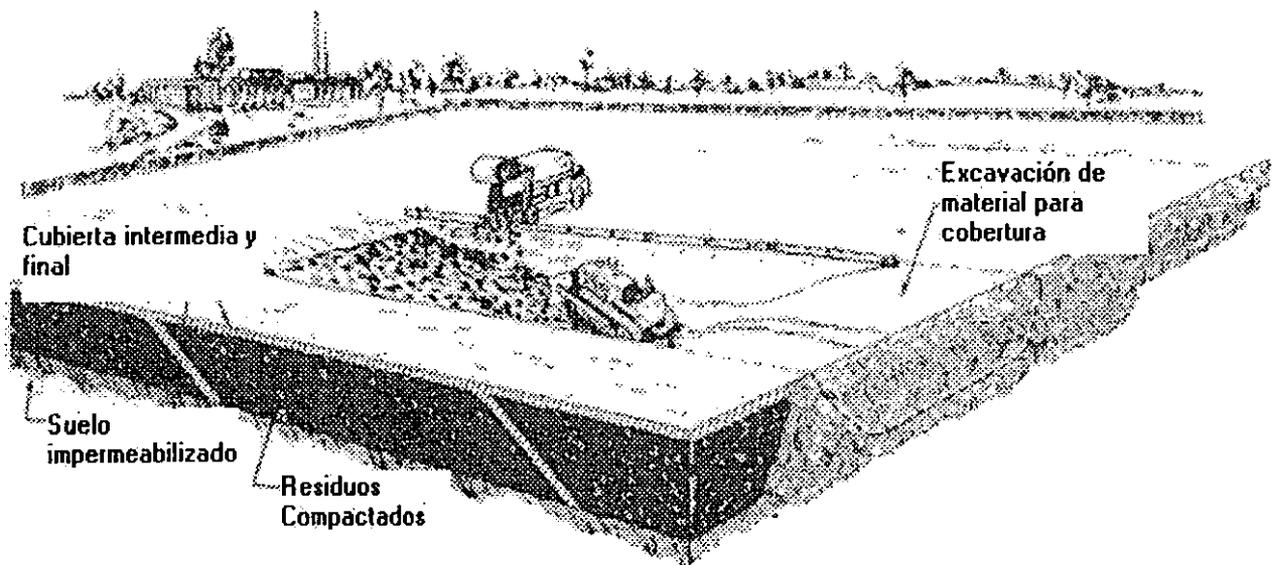


Figura 2.1. Método de trinchera¹

¹ Unit operations in resource recovery engineering, P. Aarne Vesilind, Alan E. Rimer, Prentice-Hall, Inc.

* Método de Área

Una de las únicas diferencias que presenta este método en comparación con el anterior, es que los residuos sólidos se compactan en capas inclinadas de 60 cm, para formar la celda que posteriormente se cubrirá con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo.

La forma correcta de funcionar de este método es de la siguiente manera:

Los desechos se empujan en forma de capas, se compactan y se cubren apropiadamente, los desechos que se generan los siguientes días se descargan al pie del talud del día anterior y el frente se empuja, se compacta y se cubre al final de cada jornada. Una máquina como un tractor de cadenas o un compactador de rellenos sanitarios esparce y compacta el material, mientras que para el movimiento de la cubierta diaria se utiliza una motoescropa.

Este método es usado en todo tipo de terreno, canteras abandonadas, terrenos planos, depresiones, ciénagas (zonas fangosas) contaminadas y en terrenos donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, ésta puede ser depositada directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En este método se busca que las áreas destinadas a los materiales de cubierta estén lo más cerca posible, para evitar los gastos de transporte de la tierra, o en su caso se excava de las laderas del terreno. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba. En las figuras 2.2a y 2.2b. se representa el método del área.

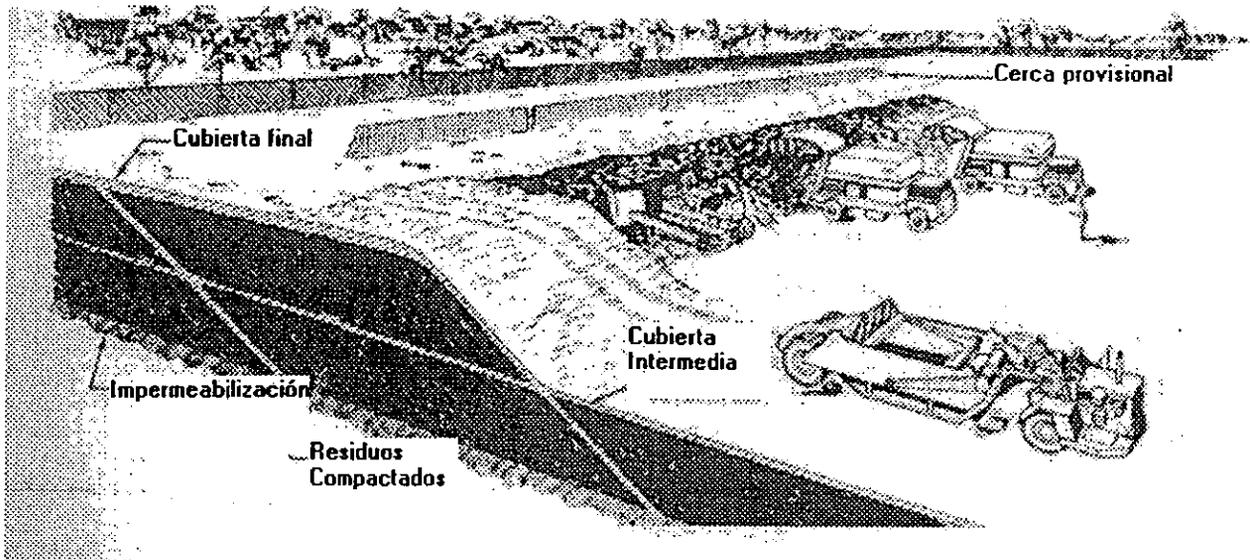


Figura 2.2. Método de área²

² Unit operations in resource recovery engineering, P. Aarne Vesilind, Alan E. Rimer, Prentice-Hall, Inc.

* Método Combinado

En algunas ocasiones debido a las condiciones que se tienen en el terreno, es necesaria la combinación de los dos métodos anteriores, siendo así en algunas ocasiones que se empieza a trabajar con el método de área, excavando el material de cubierta de la base de la rampa, formándose una trinchera, la cual posteriormente servirá también para ser rellena. En la figura 2.3 se ilustra una forma de efectuarse el método combinado.

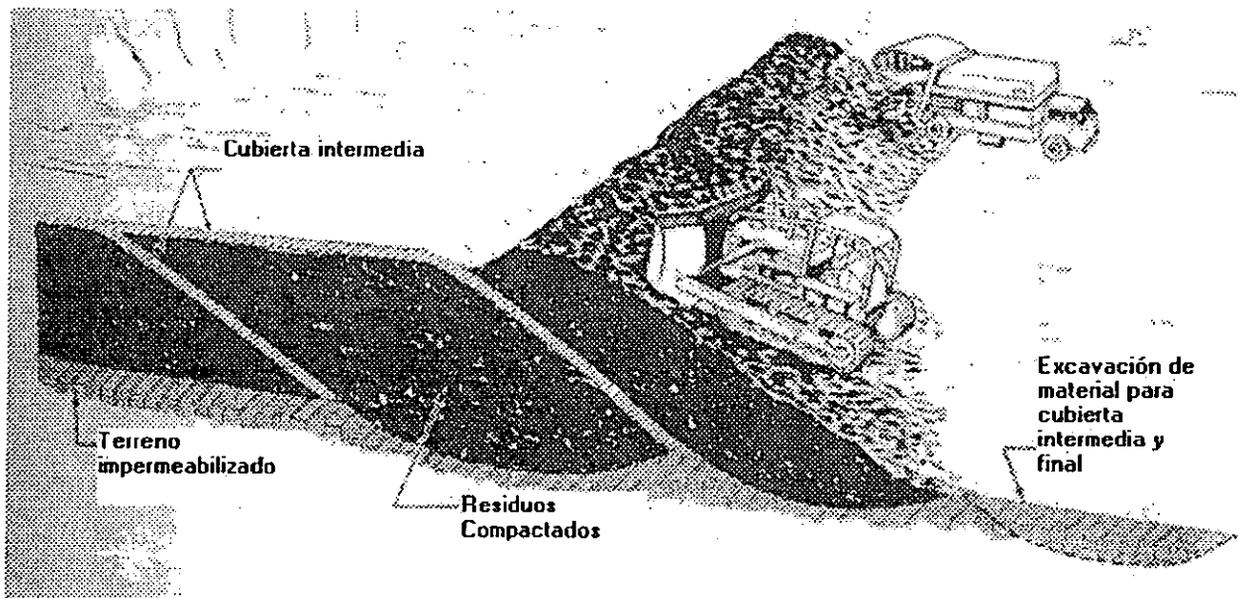


Figura 2.3. Método combinado³

En este método los desechos se esparcen y se compactan en una pendiente ya existente. El material de cobertura se excava directamente enfrente de los desechos y se esparce sobre ellos y se compacta, así el área excavada se convierte en parte de la franja que se va a trabajar al día siguiente.

Se considera que este método proporciona mayor eficiencia, ya que permite el ahorro del transporte del material de la cubierta y aumenta considerablemente la vida útil del proyecto, además de que es un procedimiento excelente para comenzar un relleno con equipo mínimo.

* Otros métodos alternativos

Existen algunas modificaciones de las técnicas de los rellenos sanitarios que se están usando para aumentar la vida útil del lugar, reducir la necesidad de tierra de cobertura y ahorrar en costos, así se tienen los siguientes métodos:

³ Unit operations in resource recovery engineering, P. Aarne Vesilind, Alan E. Rimer, Prentice-Hall, Inc.

Método de montículos altos, este método requiere de acumulación y compactación de capas de desechos sobre la superficie del terreno cubriendo luego cada capa, éstas se colocan una encima de otra como en forma de pirámide, conforme las capas aumentan las pendientes reducen el tamaño de la zona superior.

Apilando las capas sobre el terreno se reduce al mínimo la contaminación del subsuelo y se utiliza al máximo un área de tierra limitada; este método es muy usual en las zonas costeras o donde el nivel freático es muy alto, la desventaja que tiene es que se requiere acarrear el material de cobertura de otros lugares.

Método sin cobertura, este método consiste en esparcir y compactar los desechos sin cubrirlos al final del día de operación, sin embargo se requiere llevar a cabo acciones de control de insectos, ratas, fetidez, etc. Este método tiene como ventaja que se aumenta la vida útil del relleno sanitario; en forma aproximada se estima que se extiende en un 20 a 30 %. Otra ventaja que se debe considerar en este método es la reducción de los costos de operación y de equipos, esta técnica sin cubrir, es relativamente nueva y no ha sido aceptada en la mayoría de los lugares, aún así en el relleno sanitario de Bordo Poniente del D.F. es la técnica que se emplea.

2.4. Maquinaria y equipos requeridos.

Uno de los pasos más importantes en la construcción de un relleno sanitario es la selección de maquinaria, ya que en la actualidad debido a sus altos costos, son pocos los rellenos que tienen equipos de reserva; por eso las capacidades de respaldo de servicio y repuestos del distribuidor que vende las máquinas es una consideración primordial al comprar el equipo. La versatilidad es otro factor importante en la selección de maquinaria, mientras más trabajo pueda hacer una máquina, menos necesidad hay de adquirir otros equipos.

Para la selección del tamaño, número y combinación de maquinaria, es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

* Tonelaje y tipos de desechos a manejar.

El tonelaje diario es una variable principal al momento de escoger la maquinaria, teniendo principal influencia en el número de máquinas necesarias, por ejemplo en un relleno donde se generen 180 toneladas métricas de residuos diarios, el operador debe considerar un tractor de cadenas de peso y potencia medianos. Además debe considerar un compactador si se requieren mayores densidades de compactación, sin olvidar el crecimiento a futuro.

El tipo de desechos que se maneja en un relleno sanitario, es otro factor para la selección del tamaño y tipo de la maquinaria, así por ejemplo, si en el lugar se recibe gran cantidad de escombros de demolición tales como roca, ladrillo, hormigón, el operador necesitará del empuje y la potencia de tracción de una máquina de cadenas.

*** Cantidad, distancia y tipo del material de cobertura.**

Este factor es de gran importancia para la selección de la maquinaria, tomando en cuenta el material de cobertura que será excavado y el volumen. Por ejemplo, si el material de cubierta es arenoso y abrasivo, un cargador de ruedas de neumáticos funciona mejor que una máquina de cadenas. Si la distancia de acarreo es considerable, una motoescropa es la elección más económica.

*** Tipo de relleno sanitario.**

El método del relleno, es uno de los factores que puede determinar la adaptabilidad de las máquinas. Por ejemplo, los compactadores de rellenos sanitarios proporcionan una mejor compactación en un terraplén donde el terreno es llano o suavemente ondulado, mientras que un tractor de cadenas puede trabajar en pendientes más pronunciadas y para el método de zanja, el cargador de cadenas es una buena elección.

*** Necesidades de compactación.**

Debido al incremento de residuos, la compactación tiene mayor importancia a medida que se busca alargar la vida útil de los rellenos sanitarios. Para cumplir con este punto es necesario que los supervisores estén completamente enterados de los planes de operación y los requisitos legales para determinar la compactación que se necesita, por ejemplo cuando se requiere una alta densidad, es recomendable un compactador de rellenos sanitarios.

*** Condiciones climáticas**

Para las condiciones climatológicas se puede requerir usar máquinas de cadenas, para maniobrar en terrenos húmedos y difíciles, en la lluvia o en la nieve y para desgarrar cobertura congelada.

*** Presupuesto**

Este es uno de los factores de mayor importancia, ya que de acuerdo al presupuesto se limita la compra del equipo necesario.

Para el funcionamiento adecuado de un relleno sanitario se debe contar con los siguientes equipos:

- ◆ Equipos adaptados a la operación del relleno sanitario.
- ◆ Equipos diseñados expresamente para la operación de los rellenos sanitarios.
- ◆ Equipos de apoyo.

A continuación se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

◆ **Equipos adaptados a la operación del relleno sanitario.**

- Cargador en carriles o traxcavo.

Este equipo formado por dos unidades, un tractor y un cucharón, es muy versátil y popular en los rellenos sanitarios pequeños, con la cual se puede excavar, esparcir, compactar y cubrir.

Debido a su cucharón de uso general o uno de uso múltiple, puede excavar, compactar y transportar el material de cobertura al frente de trabajo. Con un cucharón de uso múltiple puede agarrar ciertas piezas de entre los desechos y sacarlas del frente de trabajo para separarlas o apilarlas, mientras que con un desgarrador accesorio puede desgarrar terreno duro o congelado.

- Tractor de carriles o bulldozer.

Este equipo está formado por un tractor y una hoja topadora, es una de las primeras máquinas que se selecciona, ya que los tractores hacen los trabajos preliminares de preparación de obras derribando árboles, construyendo caminos de acceso y de acarreo. También esparcen y compactan los desechos, desgarran el material de cobertura y lo esparcen y compactan sobre los desechos.

- Cargadores Compactadores.

Los compactadores con cucharón son una de las soluciones adecuadas para aquellos rellenos sanitarios, en los cuales se necesita capacidad para mover materiales (residuos, material de cobertura, elementos indeseables contenidos en la basura), nivelar y compactar. Así por ejemplo en los rellenos sanitarios pequeños es común encontrar compactadores con cucharón 938F y 950F Serie I, de la marca Caterpillar, los cuales son capaces de conseguir altos niveles de compactación.

El compactador más grande con cucharón 966F Serie II, completa la oferta disponible para aquellos rellenos sanitarios, donde la productividad y el costo-eficiencia tienen un gran efecto sobre la rentabilidad.

◆ **Equipos diseñados expresamente para la operación de los rellenos sanitarios.**

- Compactador de residuos sólidos.

Este es uno de los equipos que está diseñado exclusivamente para operar en los rellenos sanitarios y está formado por una hoja topadora, cabina de control de mandos y remolque con rodillo dentado, además como las ruedas delanteras y traseras siguen la misma huella, el efecto de compactación es doble en una sola pasada. Estos equipos fueron fabricados para resistir las aplicaciones más duras y están diseñados para triturar, extender y compactar residuos sólidos, urbanos o industriales.

- Tractores de Cadena WDA.

Los tractores de cadenas explanan y nivelan el terreno y esparcen los residuos y/o el material de cobertura, en la versión para rellenos sanitarios (WDA), el radiador, mandos finales, ruedas guía y el motor están protegidos para que no sufran daño, donde las barras deflectoras, delanteras y traseras, evitan que la basura se adhiera a las cadenas. Las zapatas de cadena con garras diagonales y orificios de forma trapezoidal aumentan su capacidad trituradora y reducen la adherencia de materiales.

- Cargadores de Cadenas WDA

Con dichos cargadores se pueden realizar todas las aplicaciones que son necesarias en un relleno sanitario pequeño, en el cual solo se necesita una máquina o complementar a otras máquinas en rellenos sanitarios de mayor tamaño. Los cargadores son buenos sustitutos de los compactadores, ya que estos pueden excavar zanjas, esparcir y compactar basura, cargar, acarrear y extender material de cobertura.

Su transmisión hidrostática les proporciona una capacidad mayor para maniobrar en lugares reducidos, para realizar trabajos de clasificación de residuos, explanado o manipulación de basura empacada.

- ◆ Equipos de apoyo.

- Retroexcavadora.

La retroexcavadora es también llamada zanjadora y cuenta con un bastidor, el cual soporta un motor diesel que a la vez acciona el sistema hidráulico que moverá el brazo. Este tipo de maquinaria además de construir zanjas, sirven para manipular residuos y cargar basura en las estaciones de transferencia, debido a su capacidad de trabajar en espacios reducidos, rapidez de elevación y precisión en su control, les permite aumentar su eficacia en los trabajos más difíciles, además de que se pueden equipar con la gran variedad de plumas, brazos, cucharones, garfios y otros elementos disponibles. Estas máquinas son de alta capacidad de excavación y rendimiento de carga, en los rellenos sanitarios se usan para excavar, abrir zanjas, separar la basura y tender tuberías de drenaje.

- Motoescrepas

Para cuando se desea mover y extender grandes cantidades de material de cobertura, las motoescrepas ofrecen la capacidad y velocidad suficientes para realizar el trabajo con rapidez y eficacia, especialmente cuando la distancia entre la zona de carga y el frente de descarga es superior a 183 metros. El ciclo de carga de estas máquinas es inferior a un minuto y el de descarga es prácticamente el mismo.

- Motoconformadoras

Este tipo de máquina es de gran apoyo, especialmente para los grandes rellenos sanitarios, en los que los desechos pesan más de 455 toneladas diarias. Estos equipos sirven para preparar y conservar los caminos de acarreo y acceso, así como para realizar tareas de limpieza general. Las motoconformadoras aumentan el rendimiento del relleno sanitario manteniendo los caminos de acarreo y construyendo cunetas o zanjas de drenaje, aplicando una nivelación de acabado final y en la siembra de la vegetación de los rellenos sanitarios que se cierran.

Estas máquinas están equipadas con un bastidor articulado, servicio de transmisión y una consola de control ajustable que facilita su conducción y eficiencia, debido a la mayor tracción que ofrecen las ruedas en los terrenos en malas condiciones.

- Cisternas de agua

Este equipo es necesario para asentar el polvo, ya sea en los caminos de acceso y de acarreo o en el frente de trabajo del relleno. Usando su capacidad de alta presión, ayuda apagar pequeños incendios, a sacar el polvo y los escombros de los radiadores y hace trabajos generales de limpieza.

III. OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO.

La operación del relleno sanitario es la parte complementaria al diseño y fundamental para cumplir con los objetivos establecidos en el manejo de los residuos sólidos en la etapa de disposición final, para minimizar los riesgos al medio ambiente y optimizar los recursos.

Definido el lugar del relleno, es conveniente realizar un cronograma de actividades, el cual dará una orientación para la programación y la ejecución de las diversas etapas de las obras, el cronograma puede presentarse en forma similar a la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Cronograma de actividades.

ACTIVIDADES	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Identificación del sitio a rellenar y sus alrededores <ul style="list-style-type: none"> • Selección del sitio • Levantamiento topográfico • Estudios y diseño 												
Infraestructura periférica <ul style="list-style-type: none"> • Vías de acceso • Drenaje pluvial • Desvío y aislamiento de posibles cursos de agua 												
Infraestructura del relleno <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza y desmonte • Cortes • Preparación del suelo de soporte • Drenaje de líquido percolado • Drenaje de gases • Acceso interno • Drenaje pluvial interno 												
Construcciones auxiliares <ul style="list-style-type: none"> • Cerca perimetral • Arborización perimetral • Caseta o portería • Valla publicitaria o cartel • Caseta • Instalaciones sanitarias • Pozo de monitoreo 												
Clausura del tiradero <ul style="list-style-type: none"> • Exterminio de roedores y artrópodos • Cubrimiento con tierra y apisonado • Cercado • Avisos 												
Inicio de operación del relleno												

Los principios básicos para que un relleno sanitario funcione adecuadamente son:

- Supervisión constante en la operación.
- Altura de la celda entre 1.0 m a 1.5 m.
- Cubrimiento diario con una capa de 0.10 a 0.20 m de tierra.
- Compactación de los desechos en capas de 0.20 a 0.60 m.
- Desviar aguas de escorrentía.
- Control y drenaje de percolados y gases.
- Cubrimiento final de unos 0.40 a 0.60 m de espesor.

Mediante estudios y la observación de rellenos en operación se ha determinado que un relleno sanitario bien diseñado y mantenido adecuadamente asegura el control de los problemas de salud pública, contaminación del agua y aire. Los estudios indican que durante los primeros años de la vida de un relleno sanitario el gas predominante es bióxido de carbono, mientras que en los últimos años el gas de compuesto casi en igual proporción de bióxido de carbono y metano. Debido a la explosividad del metano es necesario controlar su movimiento para evitar posibles incendios.

Con el fin de prevenir la contaminación en el subsuelo, se recomiendan las siguientes acciones para captar el lixiviado:

Diseño de la interfase.- Esta se propone de acuerdo al espesor del suelo necesario para la protección de los mantos acuíferos, en base a la caracterización del líquido percolado de generación del relleno.

Impermeabilización.- Se buscará al máximo la percolación del lixiviado al suelo y a los mantos fráticos y de ser posible se debe usar una cubierta de tierra impermeable. Tendrá un diseño consistente en un sistema de impermeabilización compuesto y un sistema de drenaje que no permita una carga hidráulica mayor de 30 cm. sobre la membrana. El sistema consiste en dos componentes: el superior consiste en una membrana sintética de 30 milímetros de espesor mínimo, tomando en cuenta que de usarse polietileno de alta densidad el espesor se aumentara a 60 milímetros y una capa de suelo compactado de cuando menos 60 cm de espesor, con una conductividad hidráulica menor de 1×10^{-7} cm/seg.

Control de lixiviados.- Se diseñan las tuberías para conducir el lixiviado al sistema central de tratamiento o a una recirculación y también de ser posible lograr un aprovechamiento para el Biogas.

Para iniciar la operación de un relleno sanitario, se requiere de actividades para la preparación del sitio, entre las más importantes se encuentran los trabajos de construcción de los caminos de acceso, la construcción del drenaje, instalación de las básculas, construcción de caminos internos y barreras de amortiguamiento, instalación del sistema de recolección, conducción y captación para lixiviado, instalación del sistema para recolección, conducción y captación de biogás.

Obras complementarias

Drenaje.- Se realizaran dos tipos de obras de drenaje: permanentes y temporales, las obras de drenaje permanentes se construirán en los límites del relleno y tienen como objeto la captación

del escurrimiento de aguas arriba, en este caso, los canales deberán revestirse con mortero: cemento-arena en proporción de 1:3, la velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0.60 m/seg. ni mayor de 2.00 m/seg. Mientras que las obras de drenaje temporal deberán construirse mediante canales de sección triangular con taludes de 3:1, el fin de este tipo de obra es captar las aguas pluviales para conducir las fuera del área de trabajo. El dimensionamiento de canales para los drenajes permanentes y temporales, se puede efectuar mediante la fórmula de Manning, obteniendo el gasto de diseño a partir del método racional americano o la fórmula de Burcklieziegler.

La construcción y el mantenimiento del drenaje periférico es muy importante ya que evitará que el agua de lluvia acumulada ingrese al relleno; este drenaje deberá ser revisado antes del periodo de lluvias, en el caso del drenaje interior, éste deberá contemplar la programación del llenado de las celdas y el trazo de los caminos internos.

Pozos de monitoreo.- Aquí se deberá de diseñar por lo menos 2 pozos, uno aguas arriba del acuífero y otro aguas abajo y fuera del límite de la propiedad del relleno, esto con el fin de observar si existe contaminación en el acuífero. Como se menciona en el capítulo 2, el número, localización y profundidad de los pozos depende del tipo de acuífero.

Área de emergencia.- El área de emergencia será destinada para la recepción de los residuos municipales, cuando por situaciones climatológicas no permita la operación en el frente de trabajo, para facilitar la operación del relleno, además se deberá contar con lonas plásticas, residuos provenientes de demolición, o del barrido de calles para cubrir los residuos. El área de emergencia deberá tener la capacidad para operar durante 6 meses.

Báscula.- La instalación de básculas dependerá del tamaño del relleno sanitario, de la cantidad del ingreso de los residuos, de la capacidad económica del municipio y del tipo de vehículos que ingresen para saber su capacidad y su longitud, se recomiendan que sean de tipo mecánico por la factibilidad y economía de su mantenimiento; las básculas deberán instalarse en el acceso del relleno sanitario y junto a la caseta de control, esto permitirá el pesaje de todos los vehículos recolectores que ingresen con residuos y se tomará su peso a la salida con el fin de pesar los camiones vacíos para determinar la cantidad de residuos depositados.

Caminos de acceso.- Los caminos interiores o temporales dentro del relleno deberán construirse de tal manera que permitan la circulación hasta el frente de trabajo, el trazo de los caminos se basa en el aprovechamiento de la topografía y las excavaciones existentes o requeridas durante el desarrollo de la operación.

3.1. Fases de la operación.

La operación del relleno sanitario se debe efectuar dependiendo de las características del sitio, el tamaño de la celda, del nivel y la etapa de desarrollo; para tal efecto, se deberá elegir el método más adecuado a emplear.

El desarrollo de las actividades de empuje, extendido y compactación de los residuos sólidos se realiza mediante una metodología, que puede ser por el método de zanja o trinchera,

método del área o método combinado, los cuales fueron descritos en el capítulo 2 (2.3. Tipos de rellenos sanitarios).

El relleno sanitario recibirá los residuos sólidos generados por la comunidad y recolectados por el municipio, la cantidad de los residuos sólidos depende de la población, la zona donde se encuentra la comunidad. En algunos casos el relleno recibe los residuos sólidos que no son recolectados por el municipio, sobre todo cuando la cantidad de residuos es grande y son llevados hasta el relleno por los habitantes de la comunidad. Conviene recordar que en este tipo de relleno sanitario, solo se puede recibir residuos sólidos municipales, no así a los residuos industriales, peligrosos y potencialmente peligrosos.

Para efectuarse todas las operaciones en el relleno sanitario, es necesario realizar varias actividades para preparar el terreno. Estas actividades son:

a). Operación de desmonte. Dentro de esta operación, se incluyen las actividades que se realizan para eliminar la vegetación natural y abrir los terrenos para ser usados como relleno sanitario. Se incluye desde la eliminación del pastizal, tanto la eliminación de arbustos y pequeños árboles, como de árboles más grandes, así como la extracción de raíces y el amontonamiento de la vegetación para posteriormente quemarla o enterrarla. Es recomendable realizar la operación del desmonte por etapas, siguiendo el avance del relleno, con el fin de evitar las tolvaneras.

i). Eliminación de monte bajo.

Para la limpieza de los terrenos con árboles pequeños se puede usar la *hoja topadora*, el esquema de operación es como sigue:

- 1) Con la cuchilla al ras del suelo, se corta y empuja el material cortado hacia un lado, limpiando un espacio de 20 hasta 40 cm.
- 2) El tractor retrocede y se coloca en posición para cortar y apilar el material de una segunda pasada.
- 3) Al terminar las primeras pasadas, el operador da una vuelta de 180°, para empezar el trabajo en el sentido opuesto.

Para la limpieza de pastizales con arbustos, se recomienda realizar la operación con una *hoja limpiadora*, el procedimiento que sigue es:

- 1) Con la cuchilla al ras del suelo, se cortan los arbustos y también los árboles pequeños.
- 2) Por su posición inclinada hacia la derecha, la hoja empuja el material cortado hacia un lado del tractor.
- 3) Se empieza a trabajar desde un lado del terreno y siempre hacia la izquierda.
- 4) En las esquinas, el tractor da vueltas de 90° en marcha atrás.

Se puede emplear el *rastrillo de raíces*, particularmente cuando se trata de un suelo seco. Para lo cual, se pasan los dientes del rastrillo a través de la capa superior, sacando las raíces y el material se junta a la vez en hileras. Sin embargo bajo condiciones húmedas, la tierra no pasa por los dientes y se junta con el material, lo que dificulta la quema.

Las *cortadoras de raíces* y los *arados de raíces* se emplean para la eliminación de monte bajo, en un estado temprano de su crecimiento. Como los arbustos desarrollan un sistema

de raíces más profundo que los pastos, se cortan a una profundidad mayor que la de las raíces del pastizal.

En los terrenos donde se lleva a cabo el cultivo, se desarrolla una vegetación entre los árboles de caucho, palmeras o plataneros, así mediante el uso de una *cortadora de tallos* se puede aplastar este tipo de vegetación, para posteriormente incorporarla en la capa superior del suelo.

Por medio de arados o rastras pesadas de disco, se puede obtener una buena eliminación de la vegetación del monte bajo; para estos casos es recomendable usar los discos escotados.

ii). Eliminación de monte mediano y alto.

Este tipo de eliminación requiere de otra técnica que la usada en los montes bajos, por tal motivo, se emplean máquinas especiales para este trabajo. Dentro de este tipo de vegetación se encuentran los árboles con diámetros mayores de 30 a 40 cm y arbustos ligeros. La maquinaria utilizada en este tipo de monte es la hoja limpiadora y la cadena, así como la empujadora de árboles con la destroncadora, aunque en algunos casos se puede utilizar la hoja limpiadora.

La *operación con cadena* se realiza con dos tractores. Donde estos tiran una cadena pesada, a través de la espesura, para eliminar las matas de tallo leñoso y árboles medianos, sin remover mucha tierra. La operación a seguir es:

- 1) Cadena de una longitud de aproximadamente 30 m. con un peso aproximado de 5 toneladas.
- 2) Después de la pasada, la vegetación queda inclinada y parcialmente desraizada.
- 3) Después de la primera pasada, el conjunto de tractores vuelve a pasar la cadena, pero ahora en sentido opuesto, con lo cual la cadena sacará la vegetación de la tierra.

Para eliminar árboles grandes se puede usar la *hoja topadora*, esta operación requiere de mucho tiempo, por lo cual es recomendable utilizarla cuando se tiene un número limitado de árboles y el procedimiento a seguir es:

1. Se cortan las raíces alrededor del árbol mediante la remoción de la tierra, en este caso se puede usar también una destroncadora trasera o un escarificador, para cortar estas raíces.
2. En caso de árboles grandes, se construye primeramente una rampa con la hoja topadora, la cual servirá para atacar el árbol en un punto más alto.
3. Con la hoja en su posición más alta, se hace derribar el árbol.

En caso de que el desmonte presente muchos árboles, se usa la *empujadora de árboles*, la cual es muy usada en las operaciones de rejuvenecimiento de plantaciones y tiene la capacidad de un árbol por minuto. La operación que sigue es:

- 1) Se ata el árbol en un punto alto del tronco mediante la armadura alargada, posteriormente con gran fuerza de la palanca se empuja el árbol, hasta que cae.

- 2) Después de haber derribado el árbol, el operador baja la destroncadora frontal y extrae el árbol desde la raíz.

Para cortar troncos de pequeños árboles se usa la *hoja limpiadora* y en caso de que los árboles sean más grandes se usa la punta pinchadora o ariete de la hoja. El procedimiento que se sigue, a continuación se indica:

1. Con la punta se divide el tronco en secciones, para posteriormente cortar estas secciones con la cuchilla.
2. Con la barra superior se mantiene el tronco bajo tensión, así durante el corte la barra empuja el árbol hacia adelante.
3. En las operaciones de este tipo, se debe usar siempre una cabina protectora.

b). Obras de finalización. Después del desmonte general se necesita efectuar un número de trabajos para dejar el terreno en condiciones que permitan un empleo eficiente de máquinas de movimiento de tierras. Estas obras de finalización son las que forman la transición entre la fase principal del desmonte y la fase de la preparación del terreno mismo. Las de mayor importancia son:

- 1). Se debe verificar la extracción de troncos que han quedado en el terreno y que pueden dañar a las máquinas de movimiento de tierras, para esta operación generalmente se emplea la destroncadora.
- 2). Después de la extracción final de los troncos, se pasa otra vez un rastrillo, para así juntar los restos de vegetación y los troncos.
- 3). Cuando el material se encuentra lo suficientemente seco, se inicia la fase de quema, teniendo especial cuidado, ya que la quema debe llevarse a cabo en contra del viento.

Ya concluidas las actividades preliminares, se realizan las operaciones básicas en un relleno sanitario, las cuales se describen en los siguientes puntos:

3.1.1. Recepción y descarga de los residuos sólidos.

En la caseta de control estará un encargado, que será el responsable de verificar los vehículos que ingresen y el tipo de residuo que se depositará, para lo cual, se deberá hacer una rápida inspección. Este encargado contará con un entrenamiento para reconocer el tipo de residuo que se depositará en el sitio y deberá contar con la autoridad suficiente para rechazar el ingreso de cualquier vehículo o inclusive poder detenerlo y remitirlo a la autoridad competente.

Para llevar a cabo un adecuado control sobre la cantidad de residuos que ingresan al relleno sanitario, es necesario efectuar el registro del peso de los vehículos de recolección o transferencia que llegan y salen del sitio, para lo cual se requiere de básculas de piso que estarán instaladas en el acceso y junto a la caseta de control.

El personal responsable de las básculas tendrá entre otras responsabilidades, llevar a cabo el control y registro del peso de cada uno de los vehículos usuarios del relleno sanitario; dentro de los reportes que deberán realizar, se tomarán los siguientes datos:

- Tipo de vehículo
- Placas o número económico
- Características del vehículo
- Procedencia
- Tipo de residuos transportados
- Hora de entrada
- Peso al ingreso
- Hora de salida
- Peso a la salida

Los datos correspondientes al ingreso de vehículos y residuos sólidos deben procesarse, ya que son estadísticas muy importantes para el historial del sitio y del manejo de disposición final de la entidad, además de que ayudan para el diseño del frente de trabajo y el programa de operación para la maquinaria, el personal y el equipo a utilizar en el relleno sanitario.

El relleno sanitario deberá contar con un letrero de identificación que muestre la ubicación, entidad a la que pertenece y que indique claramente el tipo de residuo que puede recibir. A la entrada del relleno deberá colocarse un letrero con la siguiente leyenda:

"ADVERTENCIA"

INTRODUCIR RESIDUOS PELIGROSOS AL RELLENO SANITARIO ES PROHIBIDO POR LA LEY, LA PERSONA QUE VIOLE ESTA DISPOSICIÓN SERÁ CONSIGNADA A LAS AUTORIDADES COMPETENTES.

Una vez efectuado el registro, los vehículos deberán dirigirse hacia la zona de depósito, siguiendo los señalamientos que serán ubicados a lo largo de los caminos internos y hasta la zona del frente de trabajo.

Los señalamientos pueden ser temporales y definitivos, los cuales servirán para facilitar la operación y prevenir accidentes, el sistema debe basarse en la simbología nacional, en la cual incluya figuras y colores fácilmente entendibles; las señales deben colocarse en lugares visibles y a distancias apropiadas que no permitan lugar a dudas; deben estar hechos de material resistente a las condiciones del lugar; y colocarse en sitios donde no obstruyan la operación.

Los señalamientos se clasifican en:

- **Informativos.** Son aquellos que proporcionan información sobre algún punto en particular, como: distancia al sitio de depósito, celda en uso, límite de velocidad, etc.
- **Directivos.** Estos van guiando al conductor del vehículo a través del relleno sanitario y hacia una zona determinada.
- **Preventivos.** Estos advierten al conductor y al personal del relleno sobre posibles situaciones peligrosas, a fin de que tomen las medidas preventivas convenientes.
- **De seguridad.** Estos corresponden a la operación propia del relleno sanitario, su objetivo es reducir al mínimo la posibilidad de un percance tanto para el personal del

relleno que acomoda los vehículos en la descarga, como para los operadores de maquinaria y equipo.

- **De higiene.** Estos están dirigidos al personal que labora dentro del relleno sanitario, teniendo como principal objetivo prevenir los riesgos a la salud y garantizar las mayores condiciones higiénicas en las instalaciones.

Fijado el horario de trabajo, se inician las labores, realizando un mantenimiento preventivo del área, hasta la llegada del vehículo, el cual va a descargar los residuos en el lugar más cercano a la zona de trabajo, según la secuencia del llenado, para evitar los movimientos innecesarios de los vehículos. La forma de depositar los residuos sólidos debe ser de una manera planeada y controlada, en el frente de trabajo asignado.

Una vez que los vehículos de recolección y/o transferencias llegan al frente de trabajo asignado, los jefes de frente tienen que indicar los lugares donde acomodarse para que se realice la descarga; las maniobras que ejecutan los chóferes para el acomodo de los vehículos deben ser guiadas por los acomodadores, quienes tienen que distribuirlos debidamente en el frente de trabajo; este personal es el responsable de guiar a los chóferes para que efectúen un correcto acomodo de sus vehículos.

La labor de los acomodadores es de suma importancia, ya que tienen la responsabilidad de mantener el frente de trabajo tan reducido como sea posible, de manera tal que agilice la descarga y no interfiera con la operación de los equipos o con los vehículos que llegan a depositar, tomando en cuenta que estos tienen diferentes sistemas de descarga, lo cual significa que el tiempo requerido es diferente.

Es necesario tomar en cuenta las condiciones de la superficie de rodamiento de la zona de descarga, ya que los vehículos pueden sufrir atascamiento, pinchadura de llantas o inclusive volcadura si son acomodados incorrectamente o si el frente de trabajo se encuentra en malas condiciones.

Una vez acomodados los vehículos, se procede a efectuar su descarga, la cual puede ser mecánica o manual: la descarga mecánica es efectuada con equipos del mismo vehículo y la descarga manual es realizada por el personal del vehículo, por ejemplo los camiones tipo redilas son mucho más tardados para descargar.

Concluida la descarga, los vehículos salen del frente de trabajo recorriendo el camino que marcan los señalamientos y respetando las indicaciones de seguridad para llegar a la báscula (o a la caseta de control) donde se pesarán para poder salir del Relleno Sanitario.

El operador del relleno debe implementar un plan para prevenir y evitar el ingreso y la disposición de residuos peligrosos, el cual deberá tener como mínimo los siguientes puntos:

- a). Programa de inspecciones al azar, en el ingreso del relleno y en cargas sospechosas.
- b). Mantenimiento de bitácora
- c). Entrenamiento del personal
- d). Procedimientos de notificación a las autoridades en caso de descubrir cargas de residuos peligrosos.

En conclusión, para que la recepción y la descarga de los residuos sólidos funcione adecuadamente, se recomienda seguir el procedimiento a continuación indicado:

- Pesar los desechos cuando entran al relleno.
- El área de descarga debe estar marcada o señalada claramente.
- El frente de trabajo se debe mantener lo más pequeño posible.
- Instalar cercas de contención cerca de los lugares de descarga y esparcimiento, recogiendo frecuentemente la basura.
- Descargar los desechos en el fondo o en el pie de un frente inclinado, ya que de esta forma no se esparcirán tan fácilmente.

3.1.2. Acomodo y compactación de los residuos.

Esta operación tiene gran importancia, por lo que se recomienda acomodar los residuos sólidos sobre el apoyo inclinado de la celda correspondiente, en capas no mayores de 60 cm de espesor y posteriormente los residuos sólidos son comprimidos por medio del equipo mecánico pasando sobre ellos de 2 a 4 veces; esta operación debe realizarse siempre de abajo hacia arriba.

Para efectuar adecuadamente esta fase se debe buscar que el frente de trabajo tenga el menor espacio posible y el tiempo más corto en el depósito. El frente de trabajo debe diseñarse en función de la forma y el horario en que se presenten los residuos, por lo cual en las primeras horas del día, el frente debe ser reducido y conforme se incrementa el ingreso se irá aumentando, y cuando se reduzca el ingreso de residuos, el frente volverá a disminuir.

Uno de los grandes problemas que se presenta en la operación de un relleno sanitario, es la colocación de neumáticos, para reducir este problema se recomienda:

- Distribuir los neumáticos en capas sencillas a pie o en el fondo del relleno; para seguir este procedimiento se almacenan los neumáticos durante el día para colocarlos el día siguiente.
- Esparcir paja o maleza sobre los neumáticos, ya que éstos actuarán como una esfera tejida que mantendrá aplanados a los neumáticos. En caso de no tener dichos materiales, se puede utilizar escombros de demolición, como tablones, madera terciada o cartones de yeso.

El alambre es otro material difícil de manejar, por ejemplo los bastidores de camas, cercas, así como los cables. Estos materiales se deben empujar hacia el pie del relleno, teniendo especial cuidado de que no ruede o se deslice debajo de la hoja topadora; para evitar estos problemas se debe colocar encima escombros de demolición y de construcciones para mantener el alambre aplanado y evitar que se enrede en las máquinas o que pueda maltratar la membrana plástica en caso de que exista.

El número de acomodadores y jefes de frente dependerá del tamaño y de la cantidad de frentes que se abran en el relleno sanitario. Ya depositados los residuos en el frente de trabajo, se procede al empuje y esparcido de los mismos con la maquinaria programada. Finalmente, para realizar una buena compactación, es necesario que los residuos estén perfectamente nivelados.

3.1.3. Movimiento de tierras.

El movimiento de tierras es una de las partes con más importancia dentro de la operación de un relleno sanitario, ya que de esto depende el avance adecuado con el menor costo posible. El objetivo principal de la operación de movimiento de tierras es: realizar los trabajos de excavación de tierra en los lugares donde se desea y moverla hacia los lugares donde se necesita. Moviéndola la mayor cantidad de tierra en el menor tiempo y al menor costo. Por lo cual, se busca que la maquinaria seleccionada realice las siguientes operaciones:

- Atacar
- Empujar
- Jalar
- Acarrear

Además, debe tenerse en cuenta el método de transporte del material, para lo cual se disponen varias formas de realizarlo, la decisión final dependerá de las condiciones de trabajo y del equipo disponible. Las condiciones de mayor importancia son: el número de m³ de material a mover, el método más económico, las limitaciones causadas por la inclinación de las pendientes en el camino de acarreo y la distancia a que debe conducirse.

Así por ejemplo, para el movimiento de tierras a corta distancia, se emplean las hojas topadoras montadas sobre tractores de orugas y para las distancias intermedias, se puede usar la hoja topadora montada sobre tractores pesados de ruedas, con mando a las cuatro ruedas.

En caso de que el relleno sanitario no tuviera material para excavar y preparar las celdas, el material se tendrá que adquirir de otro terreno, por lo que se debe realizar un programa de adquisición y suministro para evitar que los residuos depositados queden descubiertos.

Para lograr una capacidad óptima en el trabajo del movimiento de tierras, se aplican técnicas en la operación. Estas técnicas van a influir en las operaciones en pendiente hacia abajo, con la carga volteando o con la carga flotando, en las operaciones de trinchera y en operaciones de lado a lado, al aplicar dichas técnicas se reducirán los tiempos de trabajo, y a su vez los equipos emplearán menos energía y por consecuencia se tendrán menos pérdidas.

- a). Operación en pendiente hacia abajo. De ser posible, la tierra se debe mover siempre hacia abajo, ya que con esto la obra requiere menos energía y la eficiencia del movimiento de la tierra se incrementa. Para esto se distinguen dos diferentes tipos de operaciones:
 - En caso que también la pendiente misma deba ser excavada, el operador coloca la cuchilla de la hoja a una cierta profundidad, cortando tierra. Durante el transporte, la carga se voltea continuamente.
 - En caso que se deba mover la tierra sin excavar, se junta una carga en el lugar de la excavación y luego se arrastra con la cuchilla al ras del suelo. En este caso, la carga no se voltea y se encuentra en posición flotante.
- b). Operación en trinchera. Para evitar la pérdida de tierra a los lados de la hoja, se puede mover la carga a través de una trinchera, la cual se realiza con anterioridad. Aquí se

debe tener especial cuidado con los taludes de la trinchera, ya que éstos pueden causar pérdidas a los lados de la hoja; esta técnica normalmente se aplica donde se debe mover la tierra a una distancia relativamente grande.

- c). Operación lado a lado. Este tipo de operación se utiliza para evitar pérdidas excesivas de tierra, para el movimiento de tierra mediante esta operación se necesitan a dos topadoras trabajando lado a lado, además de dos o más tractores y capacitar a los operadores para trabajar juntos.
- d). Movimiento de tierras a grandes distancias. Se recomienda que para distancias mayores de 150 m, se efectúe mediante motoescrapas y volquetes. Este equipo necesita trabajar junto con máquinas cargadoras, como palas mecánicas, retrocargadoras y cargadoras frontales. Para esta operación se tienen tres fases: la carga, el transporte y la descarga con el esparcimiento de la tierra.
- e). Excavar y cargar. Para estas operaciones, se recomienda cargar las motoescrapas siempre hacia abajo; se les puede cargar con la ayuda de un tractor empujador, con lo cual el tiempo de carga será de aproximadamente un minuto. Se debe asegurar el uso eficiente del tractor empujador, para lo cual es necesario que las motoescrapas entren en un lugar de la excavación con intervalos de aproximadamente 2 a 3 minutos.
- f). Transporte. La distancia de transporte determina el tipo de motoescrapas por usar; así, para distancias relativamente cortas, se emplean motoescrapas de tiro por tractores de orugas. Para el transporte sobre distancias más largas, se usan combinaciones de motoescrapas y tractores de ruedas.

Para evitar pérdidas de tiempo en el transporte, es importante que se mantengan separadas las unidades lentas y de las unidades de grandes velocidades, sin olvidar otro aspecto de gran importancia como lo es mantener los caminos en buen estado, para permitir velocidades óptimas. Si la cantidad de tierra a transportar lo permite es ventajoso disponer de dos caminos paralelos para coordinar el tráfico en dos sentidos.

- g). Descarga y esparcimiento. Estas se efectúan con la motoescrapa siempre avanzando, el operador se mantiene la cuchilla del cucharón a una altura que coincida con el espesor deseado de la capa de la tierra.

3.1.4. Cubierta diaria de la celda.

El objetivo principal del material de cobertura es eliminar los olores e impedir que el agua penetre en los desechos compactados; asimismo, impide la proliferación de insectos y elimina la fuente de alimento y abrigo de roedores y pájaros. Para que un relleno funcione adecuadamente, es necesario que exista una cubierta diaria, excepto en los sitios que se encuentran bajo condiciones climáticas extremas.

Una vez que se alcanzó la altura de la celda, se procede a preparar la superficie de residuos para la recepción del material para la cobertura; esta actividad es muy importante ya que debido a las características físicas tan heterogéneas de los residuos, la superficie que no queda bien trabajada presentará ondulaciones, lo que produce una gran pérdida de material

de cobertura; además, de que no se podrá compactar provocando problemas de operación cuando circulen los vehículos sobre esta área ya que quedará fangosa.

Ya que la superficie ha sido preparada para recibir el material de cobertura, se procederá a cubrir los residuos con material de la más baja permeabilidad posible, debido a que este tipo de material tiene propiedades que lo hacen estable y regular, para disminuir los costos de operación y conservar los bancos de material de cubierta.

No se recomienda cubrir el talud principal del frente de trabajo, ya que continuamente recibe residuos. Por otra parte, también es conveniente dejar una franja de 5 m en el hombro del talud a lo largo del frente de trabajo sin cubrir, ya que con las actividades del día siguiente este material se contaminaría con residuos y se perdería, ocasionando un gasto innecesario.

Aunque el tamaño del relleno y el tipo varían, una regla empírica para estimar la cantidad de material de cobertura en banco es de $\frac{3}{4}$ m³ por cada 3 m³ de desechos compactados en el lugar. Así mismo, se estima que cerca del 20 al 25 % del volumen de un relleno consiste en tierra usada para cubrir (cobertura diaria y final), mientras que en los rellenos más pequeños, la tierra puede representar hasta el 50 % para satisfacer los requisitos de cobertura mínima.

Se estima que el espesor promedio de la cubierta deberá ser entre 20 y 25 cm después de haber sido compactada mediante una pasada de la máquina de operación en los dos sentidos y posteriormente el mismo procedimiento con el paso de un vibrocompactador de rodillo liso además, de agregar el agua necesaria.

Como ya se ha mencionado, el material adecuado para la cubierta ayudará a evitar problemas de contaminación del medio ambiente y de afectaciones a la salud. Debido a su importancia es necesario que se cumpla con los siguientes requisitos:

- El material para la cubierta debe estar compactado para tener el reposo correcto.
- Debe estar libre de materias orgánicas y de objetos de gran tamaño.
- No debe agrietarse excesivamente cuando este seco.

El material de cobertura debe estar en una proporción aproximada de 1 a 5 de basura en volumen, aprovechando lo mejor posible el suelo existente en la cercanía, siendo los suelos arcillosos los más recomendables como material de cobertura. En la tabla 3.2 se mencionan las aplicaciones de algunos tipos de suelos, que pueden ser usados como material de cubierta.

Tabla 3.2. Tipo de suelo y sus aplicaciones

Función	Tipo				
	Grava limpia	Grava arcillosa	Arena Limosa	Limo	Arcilla
Control de roedores	Bueno	Regular-Bueno	Bueno	Malo	Malo
Control de moscas	Malo	Regular	Malo	Bueno	Excelente
Minimiza infiltraciones	Malo	Regular-Bueno	Malo	Bueno-Excelente	Excelente
Minimiza salida de gases	Malo	Regular-Bueno	Malo	Bueno-Excelente	Excelente
Mejor apariencia	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Crecimiento de vegetales	Excelente	Malo	Bueno	Malo	Malo

Como se observa, el tipo de material de cobertura adquiere mayor importancia, especialmente si el suelo es arenoso o altamente abrasivo, por lo cual se puede usar un cargador de ruedas o una motoescrepa en vez de una máquina de cadenas.

3.1.5. Cubierta final

Esta cubierta se utiliza para las áreas que van a quedar clausuradas y en las cuales ya no se depositarán residuos. A partir de la cubierta diaria de la superficie, se deberá rellenar con material inerte sin especificación, retirando las rocas mayores a 3 pulgadas (7.5 cm), para dar forma y nivelación con respecto al proyecto de clausura; una vez que se tiene esta capa, se deberá compactar con el agua requerida hasta alcanzar una compactación superior al 85 % proctor; posteriormente, se deberá colocar una capa base que dará soporte a la capa de sello, esta capa base tendrá una capa de 60 cm libre de rocas mayores a 3 pulgadas (7.5 cm) y será compactada en dos capas de 30 cm cada una, hasta llegar al 95 % proctor; al concluir estas actividades, el terreno estará listo para recibir el sello, el cual deberá ser de material limo-arcilloso libre de rocas con una permeabilidad mínima de 1×10^{-6} compactado al 95% proctor teniendo cuidado de aplicar correctamente la humedad requerida, ya que si pierde humedad esta capa de sello se agrietará. Finalmente, se colocará una capa de 20 cm de tierra vegetal para colocar pasto, no se recomienda la siembra de árboles, porque con la raíz perforaría el sello; además que cuando la raíz llegue a la capa de residuos se secaría, esto debido a la composición de los residuos y a la alta temperatura.

Como se describe anteriormente, es necesario especificar si existirá vegetación por sembrar e indicando el espesor, pendiente y material para dicha capa. Esto dependerá principalmente del uso final del sitio, es decir de la utilización posterior al relleno, para lo cual se deberán de realizar algunas propuestas. En la tabla 3.2. se mencionan algunas propuestas de diversos materiales a usar.

Mientras que las profundidades recomendadas para la cubierta de tierra dependen de los periodos de exposición y se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Espesor de cubierta

Tipo de cubierta	Diaria	Intermedia	Final
Profundidad Mínima (m)	0.15	0.30	0.60
Tiempo de Exposición en días	< 7	7 a 36.5	> 36.5

El operador deberá diseñar un sistema de cubierta final diseñado para evitar la filtración y la erosión. Dicho sistema debe incluir una capa de 45 cm que tenga una permeabilidad menor o igual a 10^{-5} cm/seg o igual a la del suelo base si está fuese menor; encima de esta capa habrá que depositar unos 15 cm de suelo capaz de mantener una vegetación típica del lugar.

3.1.6. Control de la compactación

Una solución para que el relleno sanitario aumente su vida útil, es la compactación. Mejor compactación se traduce en apisonar más desechos en menos espacio y ésto a su vez, ofrece varias ventajas como las siguientes:

- ◆ Aumenta la vida útil del lugar
- ◆ Disminuye los hundimientos
- ◆ Reduce los vacíos
- ◆ Reduce el reguero de basura transportada por el viento
- ◆ Controla la proliferación de insectos y roedores
- ◆ Reduce la posibilidad que el agua arrastre los desechos o los deje descubiertos durante las lluvias.
- ◆ Reduce la cantidad de cobertura diaria necesaria, con lo que se reduce el trabajo de excavación de la máquina.
- ◆ Reduce la lixiviación y la migración del metano
- ◆ Proporciona una superficie de rodadura más firme para los camiones de basura, reduciendo el mantenimiento y las reparaciones.

Como las densidades de los desechos varían, el grado de la compactación también varía. Los desechos municipales pesan cerca de 143 a 178 kg/m³, un camión recolector aumenta la densidad de 237 a 415 kg/m³ y en el relleno la densidad de los desechos puede variar de 356 a 890 kg/m³.

Con una compactación moderada se puede lograr densidades de 474 a 593 kg/m³, pero al descargar y empujar los desechos dentro del relleno, las densidades son considerablemente menores, generalmente son de aproximadamente 320 kg/m³.

La mayor compactación se logra en rellenos sanitarios que aceptan una gran proporción de escombros de demolición, como ladrillos, piedras y lajas o pedazos de hormigón; en estas condiciones las densidades son por lo menos de 1483 kg/m³, mientras que el material de cobertura añade de 59.3 a 119 kg/m³ a la densidad de compactación. Un método para determinar el valor del aumento de compactación es multiplicando el tonelaje aumentado del relleno (en m³) por la tarifa de descarga por tonelada o por m³.

Algunos de los factores que afectan la compactación son los siguientes:

- * El grueso de las capas de desechos, es el factor más importante para lograr una buena compactación. Para lograr mayor densidad, los desechos deben esparcirse en capas con 60 cm de profundidad como máximo y compactarlos, ya que mientras más gruesa sea la capa, la máquina logrará menor densidad.
- * El número de pasadas de la máquina de compactación sobre los desechos, también afecta la densidad. Se recomienda que se deben efectuar como mínimo de tres a cinco pasadas para lograr una compactación deseada, ya que más de cinco pasadas no logran la suficiente densidad para que el proceso sea rentable.
- * Las pendientes de 3:1 ofrecen la mejor compactación con las máquinas de cadenas. A medida que la máquina sube la pendiente, las cadenas ayudan a lograr mayores densidades, esto debido a la trituración de los materiales de desechos.
- * Es recomendable que la máquina de compactación trabaje cuesta arriba, lo cual proporciona ciertas ventajas; lograr un grueso de capa más uniforme, debido a que los materiales de desecho no ruedan delante de la hoja y se van colocando conforme a la pendiente y que la pendiente de trabajo cubre menos área que una superficie de trabajo horizontal, reduciendo los problemas de desorden de los desechos y la cantidad de material de cubierta.
- * El contenido de humedad, afecta considerablemente la densidad de compactación, ya que el agua afloja los materiales, tales como: el cartón y papel, esto permite una consolidación mayor. Las pruebas de campo muestran que el contenido de humedad varía de 10 a 80 % según las estaciones del año y que la compactación máxima se logra con 50% de humedad en los desechos, aunque aumenta la probabilidad de la formación de lixiviados.

Para compactar eficientemente los residuos se recomienda que se revise constantemente que la maquinaria realice el número de pasadas convenido y la forma de hacerlo de acuerdo al método de operación; además de realizar pruebas de peso volumétrico de los residuos ya compactados, los cuales deben de llegar a 900 kg/m³ como mínimo, estas pruebas se realizarán periódicamente, con el objeto de comprobar que se lleva una buena compactación.

Cuando se colocan las capas correspondientes al sello final para la clausura de áreas, es recomendable que una empresa con experiencia en compactación de suelos realice las pruebas requeridas ya que es importante que se manejen conforme el diseño establecido para evitar los problemas que conforman la mala colocación de la protección final.

3.2. Operación nocturna

Para la operación nocturna se tiene que revisar la cantidad de residuos sólidos a disponer y definir la maquinaria a utilizar, o si es necesario tener maquinaria y personal para recibir los residuos o solo operar durante el día. Si la cantidad de residuos a recibir durante la noche es la suficiente para implementar la operación, se requiere:

- * Programar la cantidad de personal requerido dependiendo del número de frentes a utilizar, el tamaño del frente de trabajo y la distancia a la zona de depósito.
- * Este personal deberá ser capacitado para que no descuide las actividades encomendadas.
- * El control del acceso deberá ser igual o más rígido del que se lleva durante el día ya que es más fácil introducir residuos peligrosos o inclusive cadáveres.
- * Se deberá cuidar que tanto el personal que labora en el relleno sanitario como los chóferes que entran, respeten y sigan las normas de seguridad implantadas, para evitar accidentes.
- * El camino principal que conduce a la zona de depósito deberá estar marcado por lo menos con linternas construidas a base de botes pequeños con estopa humedecida con gasolina, encendidas para que indiquen el contorno del camino.
- * La supervisión deberá estar al pendiente de cada uno de los vehículos que ingresan y revisar que éstos lleguen sin ningún problema al frente de trabajo, y evitar que los residuos sean depositados en otros sitios o inclusive sobre o a los lados del camino.
- * Una vez depositados los residuos, deberán ser colocados y compactados por la maquinaria; en forma semejante a la forma de operar durante el día, para dejarlos preparados y cubrirlos durante el día, ya que es más fácil revisar la nivelación y su compactación. Los residuos se pueden cubrir de inmediato si se tiene la certeza de que están bien preparados y se cuenta con el material necesario para realizar dicha operación.

Una de las desventajas que se tiene en la operación nocturna es el olor, ya que debido al grado de descomposición que los residuos traen consigo al momento de ser dispuestos y por la disminución de la temperatura, el olor viaja rápidamente llevado por el viento y si existe una población cerca, esta será afectada.

En algunos rellenos se determina que no se requiere operación nocturna; en estos casos generalmente las estaciones de transferencia almacenan los residuos o son depositados en las estaciones de selección, para así al día siguiente reiniciar la operación del relleno.

Para una operación nocturna eficiente es necesario que las instalaciones de energía eléctrica satisfagan las necesidades de iluminación y energía en señalamientos tanto exteriores como interiores, requerimientos en oficinas, e instalación de alumbrado en los frentes de trabajo.

3.3. Operación con lluvia

La época de lluvias es el período más crítico para el manejo de los residuos sólidos, ya que las constantes lluvias hacen que el terreno se vuelva fangoso, provocando problemas en el tránsito de los vehículos, lo que ocasiona que no se llegue hasta el frente de trabajo. Debido a esto, se incrementan los costos de operación y de reparación de vehículos; para disminuir estos problemas se proponen las siguientes recomendaciones:

- Durante la época de estiaje y cercano al inicio de las primeras lluvias se deberán limpiar o hacer nuevamente las canaletas de desvío perimetral, las cuales evitarán la penetración del agua pluvial que se acumula fuera del relleno sanitario.
- Dar mantenimiento a los caminos de acceso y a la celda de depósito, con pendientes, drenajes y salidas para el agua evitando su acumulación y si es necesario colocar una capa de material que sirva como capa de rodamiento. Para mantener dichos caminos se recomienda esparcir grava, roca triturada o cascotes de demolición de tamaño pequeño.
- Verificar con tiempo, el frente de trabajo identificando las partes fangosas y repararlas de inmediato, prevenir y colocar material de grueso volumen para que sirva como capa de rodamiento para los vehículos que transportan residuos.
- Por ningún motivo se debe permitir la acumulación de agua ya que esto produce a corto plazo el que el piso se torne fangoso, y si la lluvia sigue, es muy difícil restablecer nuevamente el piso mientras no termine la lluvia.
- Si el material de cobertura se encuentra dentro del relleno, se debe tener mucho cuidado de que no se deposite el que haya estado acumulado y flojo, ya que éste tiende a absorber la humedad y se formará lodo, que al momento de depositarlo en la celda de trabajo, será imposible manejarlo y ocasionará problemas en la zona del frente de trabajo, principalmente al momento de compactarlo.
- Para cubrir los residuos, se deberá utilizar el material que se corte en ese mismo instante y esperar a que se tenga un lapso de tiempo en que no llueva para extenderlo.
- El conocimiento de la precipitación pluvial es importante en la operación del relleno; como se mencionó, en el tiempo de lluvias el material de cubierta es más difícil de esparcir y de compactar. En condiciones climáticas muy adversas no es necesario que se coloque el material de cubierta.
- Si el área donde se encuentra el relleno sanitario es una zona de alta precipitación pluvial, deberá prepararse una celda de emergencia, construida de tal forma que tenga la capacidad de recibir los residuos durante los días en que la lluvia provoque algún problema de acceso en el frente de trabajo.
- En estas épocas se deberá contar con lonas, plástico, residuos provenientes de demoliciones, grava o residuos sólidos provenientes del barrido de calles para cubrir los residuos sólidos orgánicos y evitar la dispersión y arrastre de los mismos.
- Para la planeación del relleno se recomienda dividir las capas en franjas e ir las ocupando durante períodos estacionales o mensuales, programando su uso, por ejemplo: para la estación de lluvias deberá programarse un lugar de fácil acceso para los camiones.

3.4. Ciclos Operativos

Una vez que los residuos sólidos ingresan al relleno sanitario, estos se conducen hacia el frente de trabajo por medio de los caminos de acceso (permanentes o temporales), llegando al frente de trabajo estos son descargados, ya sea en forma manual o hidráulica, para posteriormente esparcirlos y realizar los pasos de acuerdo al método de operación.

Así para el método de trinchera (figura 3.1.) son:

1. Conformación de celda
2. Cobertura de los residuos sólidos municipales
3. Compactación de los residuos sólidos municipales

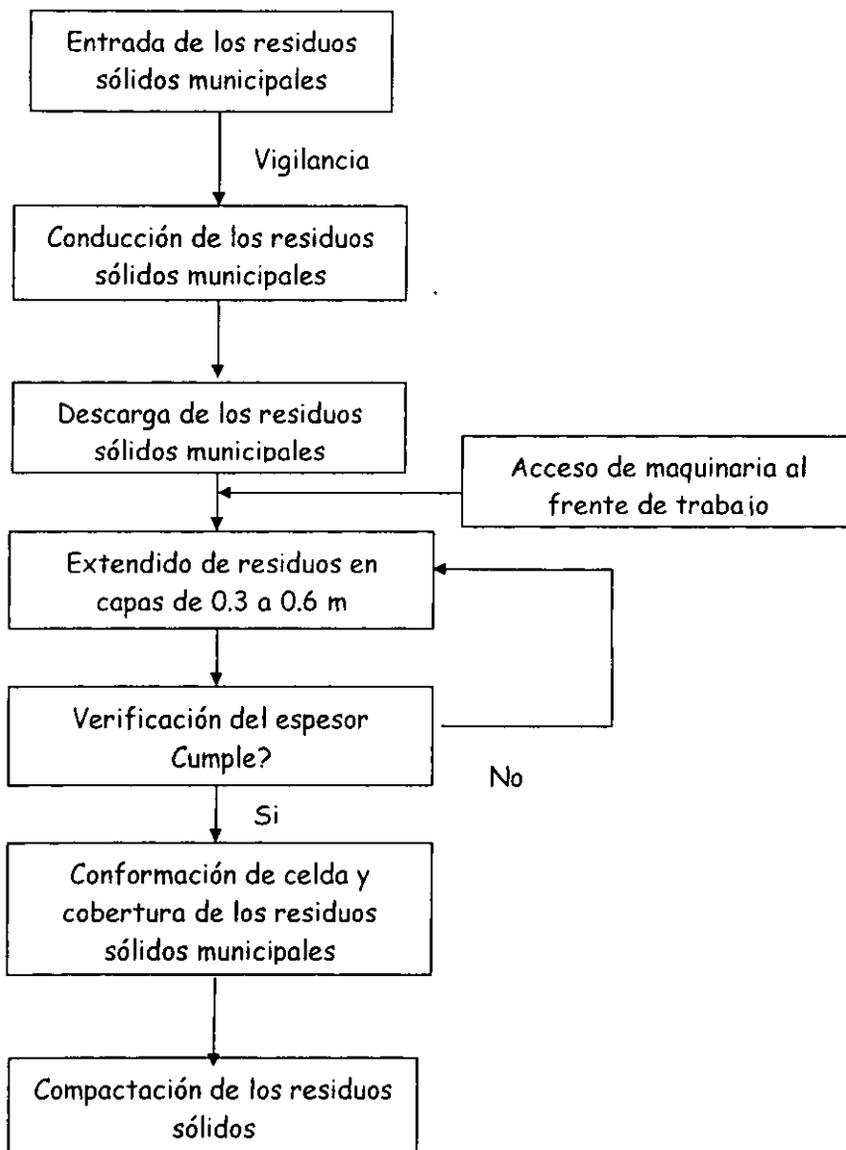


Figura 3.1. Ciclo operativo de los residuos sólidos para el método de trinchera

Mientras que para el método de área (ver figura 3.2.) los pasos a realizar son los siguientes:

1. Compactación de los residuos sólidos municipales
2. Extracción del material de cobertura
3. Cobertura de los residuos sólidos municipales
4. Compactación de la cobertura diaria

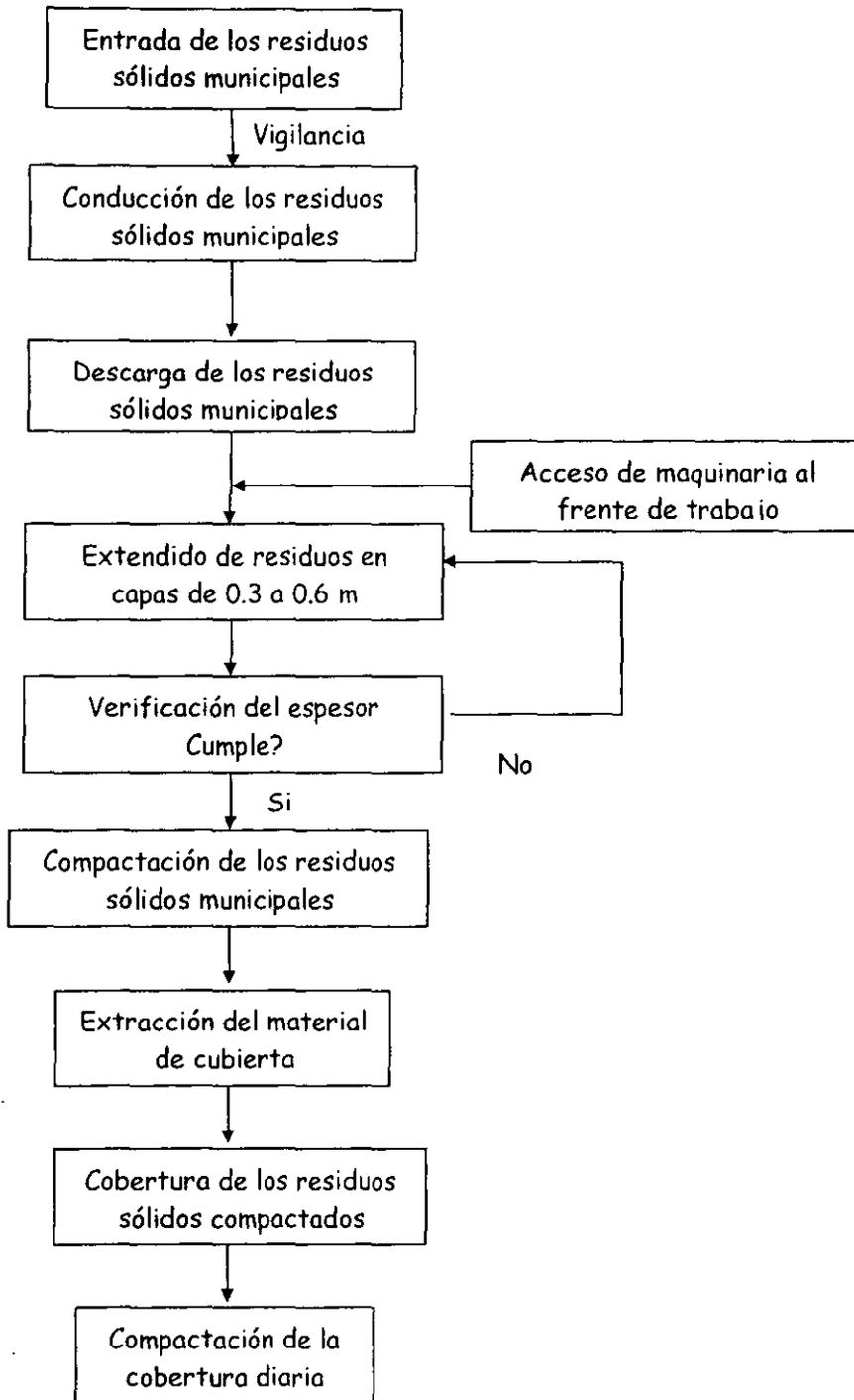


Figura 3.2. Ciclo operativo de los residuos sólidos para el método de área

3.5. Monitoreo Ambiental

Los impactos ambientales que se presentan durante el desarrollo de las actividades de un relleno sanitario, se describen a continuación, y en la tabla 3.5. se presenta un resumen de los agentes impactantes y las posibles afectaciones.

- ◆ *Ruido.*- Se presenta durante la etapa de construcción y operación, debido a la maquinaria utilizada, por lo cual hay que tomar en cuenta a las principales fuentes generadoras de ruido; los vehículos recolectores y de transferencia, así como a los vehículos con dispositivos electromecánicos, ya que son los que se escuchan a mayor distancia. Para controlar el ruido, se necesita dar un mantenimiento preventivo a los equipos o correctivo según sea el caso.
- ◆ *Olores.*- Se generan en las etapas de operación y clausura, por tal motivo se debe tener cuidado con los residuos que permanezcan encerrados por más de 24 horas o que lleguen descompuestos, ya que pueden causar molestias. Para minimizar este efecto se recomienda que los residuos sean cubiertos al finalizar la operación diaria.
- ◆ *Polvo, partículas y microorganismos.*- El polvo y las partículas son provocados por las excavaciones y por el movimiento de material de cubierta, éstas se producen en las etapas de construcción y operación, mientras que los microorganismos se incrementan en la etapa de operación, cuando los residuos son depositados en el frente de trabajo. Para controlar y mitigar estos efectos se recomienda:
 1. Regar con aguas residuales tratadas la cubierta de los residuos.
 2. Los empleados deben utilizar equipo de seguridad como: cubrebocas, mascarillas, etc.
 3. Plantar pasto cuando las celdas sean concluidas.
- ◆ *Gases producto de combustión incompleta.*- Son causados debido al gran número de vehículos que arriban al relleno. Para controlar esta molestia y conservar a la maquinaria, es necesario dar mantenimiento a los equipos y renovarlos periódicamente.
- ◆ *Desperdicios y basura.*- Cuando no se realiza adecuadamente la descarga de residuos o se tiene un sitio con viento, se provoca que los residuos sólidos se esparzan, lo cual puede provocar la aparición de animales transmisores de enfermedades, tales como: ratas, moscas, cucarachas, etc. Para solucionar este problema, se recomienda asignar a una cuadrilla para recoger los materiales cada un cierto tiempo e instalar una reja móvil en el frente de trabajo.
- ◆ *Biogas.*- Su producción es causada por la descomposición biológica de la materia orgánica, el cual se realiza cuando los residuos sólidos han sido cubiertos y compactados. Este compuesto puede ser causante de la contaminación del *agua subterránea*, mediante la migración del gas y sus compuestos orgánicos que se disuelven en el agua confinada, del *suelo*, causado por las emisiones del biogas hacia la superficie, principalmente cuando no se cuenta con cubierta final o membranas flexibles y de la *atmósfera*, debido a los compuestos orgánicos no metálicos que reaccionan con los rayos ultravioleta generando ozono.
- ◆ *Lixiviados.*- Su producción se debe a la percolación de la lluvia a través de las capas de residuos. Para atenuar este efecto se tiene que calcular y colocar correctamente el

espesor para el material de cubierta, además se propone un método de control para extraer y recircular los lixiviados dentro del relleno, con el fin de acelerar la estabilización de los residuos, lo cual disminuye el volumen y la carga de contaminante de los líquidos percolados.

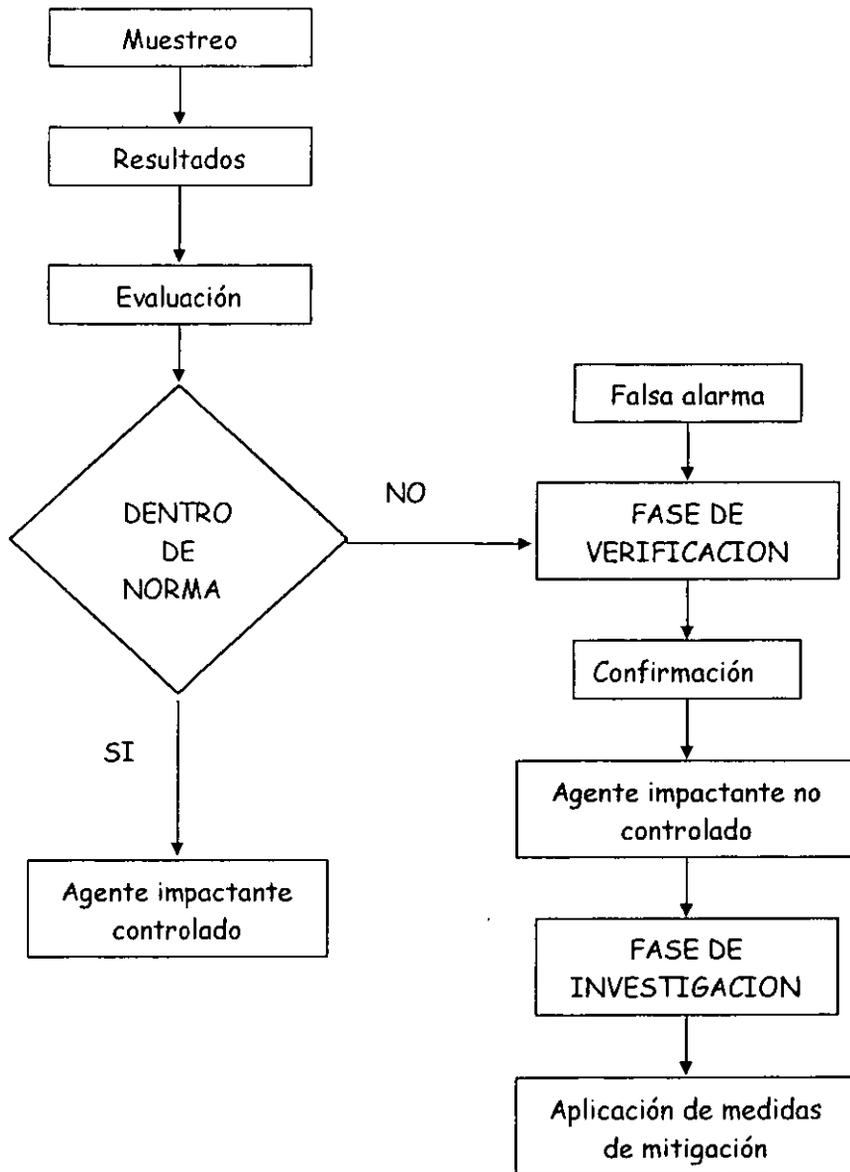
Las afectaciones son causadas por una mala operación, las cuales se enuncian a continuación:

- * *Desarrollo de fauna nociva.*- Este problema se presenta en los rellenos donde no se cubren a los residuos o no se cuenta con una cerca perimetral. Para disminuir este efecto se debe mantener aseada el área de trabajo, realizar fumigaciones constantes (por lo menos una vez al mes) y dar mantenimiento a la cerca perimetral.
- * *Eventualidades ambientales.*- Debido a la composición heterogénea de los residuos y las condiciones climatológicas del sitio, se pueden generar explosiones o incendios. En el relleno es común que se presenten contingencias como: descomposturas o volcadura de algún vehículo, deficiencias en el suministro de electricidad, drenaje, agua, etc. Tomando en cuenta dichas contingencias, es necesario establecer un sistema de verificación vehicular, contar con un sistema contra incendios y de seguridad.
- * *Radioactividad.*- Como no se cuenta con una ruta de recolección de acuerdo al tipo de fuente generadora, al recolectar la basura de los domicilios se pueden presentar niveles de radioactividad, poniendo en situación de riesgo al personal que trabaja dentro del relleno. Para atenuar este agente, se recomienda medir aleatoriamente los niveles de radioactividad de los vehículos y si sobrepasa los límites permisibles, prohibir el acceso al relleno sanitario.
- * *Asentamiento y movimiento de taludes.*- Se sugiere llevar un registro de los deslizamientos de taludes y de los asentamientos del relleno, estos problemas se presentan a causa de la estabilización de la basura y por no realizar un diseño adecuado. Con este seguimiento se pueden predecir los deslizamientos fuertes, que pueden afectar a las instalaciones del relleno.

3.5.1. Definición y fases de un programa de monitoreo

El objetivo principal del sistema de monitoreo es verificar si el sitio funciona de acuerdo al diseño que se realizó, cumpliendo con las normas ambientales y servir de apoyo para la generación de información de lo que sucede en el relleno.

Las etapas de un programa de monitoreo ambiental se muestran mediante el siguiente diagrama de flujo.



3.5.2. Criterios rectores para el desarrollo de un programa de monitoreo ambiental

A. Criterios de diseño

La operación de un relleno depende de las medidas de control y seguridad que se estén utilizando en el sitio, para lo cual se recomienda cumplir con estos criterios:

1. Tipo de disposición final. De esto depende el grado de alteración al ambiente, así como las medidas preventivas que establecerán y las mediciones que se deben realizar, tales como: biógas, lixiviados, aerotransportables (polvos, partículas y microorganismos) y ruido. En la tabla 3.4. se mencionan dichos parámetros y el ámbito donde se realizan. Cuando los residuos se utilicen en incineración, composta o reciclaje es necesario que se obtengan estas características adicionales:

- Composición física
- Peso volumétrico

- Poder calorífico
- Humedad
- Temperatura
- Presión atmosférica
- Precipitación y evaporación
- Velocidad y dirección del viento

Tabla 3.4. Parámetros de un monitoreo ambiental

Agentes impactantes	Parámetros	Ámbito de impacto
Biogas	CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , N _n Explosividad Toxicidad Temperatura y flujo	Atmósfera
Lixiviados	Metales pesado Compuestos orgánicos Oxígeno disuelto PH, Conductividad Microorganismos	Acuífero
Aerotransportables	Partículas suspendidas totales Microorganismos	Atmósfera
Residuos Sólidos	Radioactividad	Entorno
Ruido	Intensidad	Entorno

2. Cantidad y tipo de residuos. En ocasiones por desconocimiento de la peligrosidad de los materiales son mezclados, lo cual puede traer graves consecuencias, tanto para los trabajadores del relleno, como para algunos elementos del sitio en el suelo, el agua o el aire.
3. Eficiencia de operación. Cuando se realiza un programa de monitoreo se debe conocer los procedimientos operativos, de supervisión, de mantenimiento y limpieza, y describiendo la eficiencia con la que se están llevando a cabo.

B. Criterios de implementación

1. Se recomienda construir simultáneamente, el sitio y la infraestructura para la extracción del biogas y del lixiviado, de preferencia a la par con la operación del relleno, ya que si se deja para cuando se termina la etapa, resultará un mayor costo realizar la excavación.

Los sistemas de control pueden ser: pozos "pasivos o activos". El sistema pasivo consiste en la colocación de zanjas o pozos perimetrales, que conducirán los gases de manera

natural hacia la atmósfera. El sistema activo consta de una serie de pozos verticales unidos en red de tuberías, lo que permite la captación del biogás con la ayuda de un compresor; con éste, se puede conducir a un sistema de aprovechamiento o a un quemador.

El sistema de recolección de lixiviados se compone de zanjas, tuberías, pozos de extracción, una bomba para recolectarlos y un tanque de almacenamiento. La conducción de los lixiviados a los pozos se efectúa con tuberías, que se instalan en trincheras llenas de grava.

2. Contratar un laboratorio eficiente, para detectar los compuestos presentes dentro del rango de las normas, siguiendo los procedimientos estandarizados.
3. El sistema de monitoreo se debe realizar cada 3 meses y tener instalaciones de extracción, pozos de monitoreo, determinando flujo, presión, explosividad y composición del biogás, además del flujo y composición del lixiviado.
4. Adquisición y manejo de datos, en el reporte se debe indicar las concentraciones máximas permitidas de los contaminantes que marquen las normas. Para lo cual se debe escoger un método de análisis de resultados, para evaluar los resultados, este método puede ser mediante un modelo estadístico o un modelo matemático. Además llevar un control cartográfico, en donde se irán registrando los resultados de información.

C. Metodología para un programa de monitoreo

Para la instalación de un programa de monitoreo ambiental, se debe contar con el equipo, la infraestructura y un laboratorio avalado por el Sistema Nacional de Acreditación de la Laboratorios (SINALP).

Para lograr una validez estadística en la evaluación de resultados, es importante la toma de muestras y los análisis, así mismo debe supervisarse que se lleve a cabo la calibración de los equipos y realizar una bitácora con el control del día y la hora en que se realizaron las determinaciones y con las condiciones climatológicas que se presentaron.

◆ Biogas

- a) Puntos de muestreo: El número y la profundidad de los pozos de monitoreo es función de las características litológicas del suelo, se recomienda que los pozos se ubiquen en la periferia del sitio y lo más cercano a las celdas de los residuos.
- b) Toma de muestra: Para la tomar la muestra se utilizará una bomba de vacío; previamente se tendrá que purgar el volumen equivalente al del tubo de cada nivel con que cuente el sitio, con el fin de que la muestra sea representativa del biogás que está migrando y no del acumulado en el pozo.

Los contenedores se deben sellar perfectamente para evitar la pérdida del volumen colectado, también se identificarán por medio de etiquetas, que tengan la siguiente información: fecha, el número de pozo, el nivel y la hora del muestreo. Se debe medir

la temperatura y explosividad en cada nivel inmediatamente después de la toma de muestra y registrar los datos obtenidos en cada uno de los pozos.

- c) Análisis: La técnica que se utiliza para determinar la composición del biogás que está migrando, es la cromatografía de gases.
- d) Frecuencia: Se recomienda al inicio del programa monitorear todo el primer año, con el fin de conocer las variaciones que sufre el biogás a lo largo de las estaciones. También se tendrá que hacer cada mes durante todo un día, con intervalos de una hora, para conocer las fluctuaciones que presenta el gas. Los niveles de explosividad y la temperatura se medirán diariamente. Y a partir del segundo año, el programa se realizará cada 3 meses.

◆ Lixiviados

- a) Puntos de muestreo: Los pozos de monitoreo para lixiviados pueden ser verticales u horizontales.
- b) Toma de muestra: Se extraerá el líquido percolado por medio de una bomba; para ésto se utilizarán recipientes de plástico con una capacidad suficiente para realizar todos los análisis correspondientes, estos deberán contar con una etiqueta de identificación con el número de pozo y la fecha. Si la muestra no se analiza inmediatamente, se les tendrá que adicionar sustancias para conservarlas.
- c) Análisis: Los parámetros que se determinan en los lixiviados son DBO, DQO, COT, metales pesados y parámetros bacteriológicos.
- d) Frecuencia: En el primer años se recomienda que el monitoreo se efectúe cada 3 meses y posteriormente cada 6 meses.

◆ Aerotransportables

Partículas suspendidas totales

- a) Puntos de muestreo: Seleccionar las áreas con mayor emisión y que estén en contacto con el aire que proviene del sitio de disposición final. El muestreador de alto volumen Hi-Vol, se debe localizar al menos a 20 metros de cualquier calle transitada por vehículos y por lo menos a 400 m de las arterias de tráfico pesado.
- b) Toma de muestra: Se utiliza el método de referencia de grandes volúmenes, en el que se ocupa un motor de aspersión de alto flujo (1.3 a 1.7 m³/min). Se debe realizar un muestreo continuo, durante un período de 24 horas. Como se ha visto que el filtro se satura alrededor de 8 horas después de haber puesto en marcha el equipo, se cambiará el filtro hasta completar el tiempo establecido.
- c) Análisis: La concentración de las partículas suspendidas totales, en µg/m³, se calcula determinando el peso gravimétrico de la masa colectada y el volumen del aire muestreado.
- d) Frecuencia: El análisis se realizará cada 6 días, incluyendo un reporte de las curvas de isoconcentraciones y del área de afectación.

Partículas viables

- a) Puntos de muestreo: Se deberán tener las mismas consideraciones que para las partículas suspendidas totales, sin olvidar que los puntos de muestreo deberán estar a 1.5 m de altura. Se sugiere que se lleve a cabo el muestreo en las horas pico, ya que es el momento en que se tienen las condiciones más desfavorables.
- b) Toma de muestra: Se empleará un impactador tipo Andersen de dos etapas, por las cuales se hace pasar un flujo de aire constante de 1 ft³/min. La bomba de vacío con que se realice la toma de muestra debe estar calibrada y en cada etapa se pondrá una caja Petri con un medio selectivo, dependiendo de los microorganismos de interés, los cuales pueden ser: Salmonella typhi, streptococcus aureus, hongos, levaduras, coliformes, etc.
- c) Análisis: Las cajas Petri se incubarán y posteriormente se realizará el conteo de colonias por metro cúbico.
- d) Frecuencia: Se realizará cada 6 días para contar con datos de los días de la semana.

◆ Ruido

- a) Puntos de muestreo: Se seleccionarán los lugares más afectados, para lo cual se tendrá que dividir el sitio en zonas. Se debe realizar una medición dentro de las oficinas, así como en el frente de trabajo.
- b) Toma de muestra: Se utiliza un sonómetro previamente calibrado, el cual hay que dirigir hacia la fuente emisora, tomando como referencia la altura a la que se encuentra el oído.
- c) Análisis: Los decibeles reportados se tendrán que comparar con la norma existente que marca el tiempo máximo de exposición por jornada de trabajo.
- d) Frecuencia: La medición se hará diariamente, para conocer el comportamiento del nivel de ruido.

◆ Radiactividad

- a) Puntos de muestreo: El sitio se dividirá en zonas y se deberán hacer mediciones en la periferia y en el centro de las celdas.
- b) Toma de muestra: Se realizará utilizando un contador Geiger, se homogeneizará el criterio de medición cuando los residuos estén cubiertos. Además, se hará un muestreo aleatorio a los vehículos de transferencia.
- c) Análisis: Los niveles registrados se compararán con los establecidos por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguarda, que es de 2.5 mR/h.
- d) Frecuencia: La medición deberá ser diaria.

◆ Monitoreo del acuífero

- a) Puntos de muestreo: Deberán estar establecidos por la NOM-084-ECOL-1996.
- b) Toma de muestra: Para tomar las muestras se utilizarán recipientes de plástico, estos deberán contar con una etiqueta de identificación con el número de pozo y fecha.
- c) Análisis: Se determinarán los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos que marca la normatividad mexicana.
- d) Frecuencia: Se recomienda que el monitoreo se haga cada 3 meses.

Tabla 3.5. Impactos generados en las actividades de un relleno sanitario.

Actividad	Ruido	Visual	Gases de combustión incompleta	Olores	Aerotransportables	Desperdicios y basura	Lixiviados	Biogás	Deterioro de la infraestructura vial e hidráulica	Aumento en el tráfico vehicular	Económicos	Asentamientos y movimientos de taludes	Sociales
*CONSTRUCCION Preparación del sitio Accesos viales	X X	X	X X		X X					X	X X		X X
*OPERACIÓN Descarga de residuos Compactación de los desechos Cobertura de los residuos Apertura de nuevos frentes de trabajo Culminación de frentes de trabajo Control de los lixiviados Control de biogás	X X X X X X X	X X X X X X X	X X X X X X X	X X X X X X X	X X X X X X X								
*CONCLUSION DE LA OPERACIÓN Control de lixiviados Control de biogás Utilización del terreno	X X X X	X X X X	X X X X	X X X X			X X X X	X X X X			X X X X	X X X X	X X X X

IV. EQUIPOS PARA MOVIMIENTO DE TIERRAS.

El objetivo principal del movimiento de tierras es llevar a cabo los pasos necesarios para preparar el sitio donde se ubicará el relleno, incluyendo la excavación mediante el método definido, así como conseguir un sitio cercano al relleno para obtener el material de cubierta suficiente y al menor costo posible. Los pasos que se siguen dentro del movimiento de tierras son:

- **Desmote y despalme**

Para la ejecución de estas actividades se requieren las siguientes operaciones:

- a) Corte de árboles y arbustos.
- b) Retiro de hierba, zacate o residuos de siembras.
- c) Quitar los troncos con todo y raíces.
- d) Sacar el producto del desmote al lugar indicado.

Esta actividad se efectúa por lo general con un tractor y en algunos casos a mano. Cuando se tiene un monte grueso es necesario cortar los árboles a mano y cuando se trata de monte medio, se utiliza el tractor.

La unidad que se emplea para medir el desmote es la Hectárea y el resultado se registra con un decimal. Los tipos de vegetación que se consideran dentro del desmote son los siguientes:

- i). Manglar, este tipo de vegetación está constituida por mangles y la típica de los terrenos pantanosos de los climas cálidos.
- ii). Selva o bosque, la vegetación en la selva está constituida por árboles típicos de las zonas bajas y cálidas, como las palmeras, amates, ceibas, mangos y cedros, mientras que la vegetación tipo bosque está compuesta por árboles de las zonas altas con clima templado o frío, dentro de los cuales se pueden mencionar a los pinos, madroños, encinos y eucaliptos.
- iii). Monte de regiones áridas o semiáridas, esta zona es constituida por árboles de poca altura, como los mezquites, pirules, huizaches y espinos.
- iv). Monte de regiones desérticas, zona de cultivo o de pastizales, específicamente compuesta por cactáceas, vegetación de sembradío o zacatales.

Debido a que la vegetación del desmote suele ser más o menos densa, se debe tomar en cuenta para la evaluación y pago del trabajo. Por ejemplo, para el manglar y monte de regiones desérticas se debe considerar una densidad del 100%, mientras que para la selva o bosque de 100 m²/Ha y para la región semi-árida de 50 m²/Ha.

- **Terracerías**

Son las excavaciones o remociones de los materiales y que fueron realizadas en el terreno natural, en ampliación o abatimiento de taludes, en derrumbes y en reducciones de terraplenes.

Para facilitar dichos movimientos, los materiales excavados se clasifican en:

1) Material A

Este material es blando o suelto, puede ser excavado con escrepa remolcada con tractor de orugas de 90 a 110 HP de potencia en la barra, sin auxilio de arados o tractores empujadores. Entre estos materiales se encuentran los suelos poco o nada cementados con partículas menores de 7.5 cm de diámetro.

2) Material B

Este material tiene gran dificultad de extracción y carga, sólo puede ser excavado por tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable de 140 a 160 HP en la barra o con pala mecánica de capacidad mínima de 1 m³, también puede ser aflojado con arado de 6 ton. remolcado por un tractor de orugas. Dentro de este material se consideran las piedras sueltas menores de 0.5 m³ y mayores de 20 cm. Este grupo esta compuesto por rocas alteradas, conglomerados cementados, areniscas blandas y tepetates.

3) Material C

Este material sólo puede ser excavado mediante explosivos de detonación rápida; dentro de este grupo se consideran a las piedras sueltas mayores a 1 m³ y que se encuentren dentro de las rocas basálticas, las areniscas y los conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas.

Para facilitar la clasificación del material, se propone tomar en cuenta la dificultad que haya presentado en su extracción, mencionando los tres tipos de materiales en la siguiente forma: XX-YY-ZZ, donde XX es el porcentaje de material "A", YY del material "B" y ZZ del material "C". El material se clasifica por separado y en proporción a su volumen se clasifica el total.

Las excavaciones en los cortes se ejecutan siguiendo un sistema de ataque que facilite el drenaje del corte y cuando se realicen excavaciones con explosivos, se debe evitar aflojar el material de los taludes. Para la medición del volumen, la unidad será el m³; el resultado se redondea a la unidad y no se considera el abudamiento.

▪ **Préstamos**

Son excavaciones que se ejecutan en los sitios definidos en el proyecto, con el fin de obtener el material de cubierta. Para esta actividad es necesario despallar la superficie por atacar, quitando la capa superficial que por sus características no sea adecuada. Los despalmes se ejecuta en material A, el cual se inicia después de haber seccionado la superficie y el material producto del despalme se coloca en el lugar apropiado, para no afectar las referencias y bancos de nivel.

La ubicación y las dimensiones de los préstamos se determinan en el momento del diseño del proyecto, tratando de realizar los préstamos lo más regular posible a fin de facilitar su medición.

Para la medición del material producto del despalme y préstamo se utiliza como unidad el m^3 ; con el material de préstamo, se usa el método del promedio de las áreas extremas en distancias de 20 m. o menores si la configuración del terreno así lo exige, el resultado se redondea a la unidad para cada material. La excavación de los préstamos se paga normalmente a los precios fijados previamente para materiales "A", "B" ó "C", donde este precio incluye, extracción, remoción, carga, acarreo libre, colocación del material en el terraplén, recorte de cuñas y afinación del terraplén.

Para la comprensión de los términos de terraplén y acarreo, a continuación se presente su significado:

Terraplén es un macizo de tierra, que se construye con el material producto de un corte o de un préstamo, y que está comprendido entre el terreno de desplante y la sub-rasante.

Acarreo es el transporte del material producto de las excavaciones de cortes adicionales bajo la sub-rasante, aplicación o abatimiento de taludes, rebaje de terraplenes, escalones o despalmes, préstamos, derrumbes o canales para construir un terraplén.

Todos los materiales deben tener un acarreo libre de 20 m. a partir del cual su transporte se considera como sobreacarreo. Los sobreacarreos se consideran de la siguiente forma:

- a). Hasta 5 estaciones de 20 m. (100 m.), contados desde el origen, se paga por m^3 -estación.
- b). Hasta 5 hectómetros, es decir 500 metros contados del origen, se paga por m^3 -Hm.
- c). A más de 5 hectómetros (500 m.), contados a partir del origen se paga por m^3 -Km.

Los acarreos se cuantifican multiplicando el volumen de los materiales acarreados por la distancia, tomando su unidad correspondiente.

▪ Curva masa

Este estudio se basa en la cubicación de las secciones de construcción que se levantan dentro del relleno, con el objeto de compensar las irregularidades del terreno, es decir que los préstamos sean equivalentes a los cortes. Estas secciones se levantan con nivel de mano y a cada lado del eje del relleno, quedando incluidos los ceros para poder proyectar las secciones que correspondan a cortes y a terraplén. El dibujo de las secciones se realiza en papel milimétrico a escala 1:100, señalando el espesor ya sea de corte o de terraplén.

Se determinan las áreas de corte o de terraplén de cada sección, utilizando el sistema de áreas medias, es decir, la suma de áreas por la semi-distancia entre las secciones. Para los terraplenes se recomienda marcar las secciones de despalme, cuerpo de terraplén, y sub-rasante, mientras que para los cortes el espesor del despalme y las zonas de materiales por separado, ya que por medio de estos datos se determina el procedimiento de construcción, ya sea por terraplenes compactados o acomodados con

material procedente de corte, y también para determinar en mejor forma los abundamientos.

La curva masa se construye uniendo los puntos que resultan tomando como abscisas a las distancias del perfil de construcción y como ordenadas a la suma algebraica acumulada de los volúmenes, considerando los cortes como positivos y los terraplenes como negativos, desde la estación de origen a la estación deseada. En el anexo 3, se muestra un formato del registro de la curva masa.

4.1. Tipos de equipos.

A continuación se describen las máquinas más usuales en el movimiento de tierras entre las que se encuentran, las que se utilizan para el manejo del material de cobertura diaria, intermedia y final y que ejecutan funciones de movimiento de tierras en el relleno sanitario.

❖ Tractor de cadenas

En la actualidad se cuenta con una gran variedad de modelos de tractores de cadenas, los cuales se pueden utilizar en los rellenos sanitarios, en la figura 4.1., se puede observar uno de los modelos de este equipo. En este trabajo, se presentan los modelos que son fabricados por la empresa Caterpillar, debido a que fue la información que se pudo obtener en el mercado nacional. Estos varían en tamaño desde el D3C, con 67 HP y peso en orden de trabajo de 6,817 kg. hasta el D11N, con potencia de 770 HP y peso de 97,761 kg. En la figura 4.1. se muestra un tractor de cadenas; en la tabla 4.1. se mencionan las características de los tractores de cadenas mas usados en los rellenos sanitarios y en la tabla 4.2. se mencionan las especificaciones de las hojas topadoras.



Figura 4.1. Tractor de cadenas

4.1. Especificaciones de Tractores de Cadenas (Modelos WDA).

Característica	Unidad	D5H	D6E	D6H II	D7H II	D8N	D9N	W10N
Potencia en el volante	HP	130	155	165	215	285	370	520
Peso en orden de trabajo*	Kg	14,939	14,960	18,191	24,948	34,645	46,815	67,640
Modelo de motor		3304	3306	3306	3306	3406	3408	3412
RPM del motor		2200	1900	1800	2100	2100	1900	1900
Número de cilindros		4	6	6	6	6	8	12
Calibre	mm	121	121	121	121	137	137	137
Carrera	mm	152	152	152	152	165	152	152
Cilindrada	L	7	10.5	10.5	10.5	14.6	18.0	27.0
Rodillos inferiores (cada lado)		6	7	6	7	8	8	8
Ancho de zapata estándar	mm	510	560	560	560	560	610	610
Largo de cadena en el suelo	m	2.31	2.63	2.62	2.90	3.21	3.47	3.87
Área de contacto con el suelo (con zapata estándar)	m ²	2.35	2.98	2.94	3.24	3.59	4.24	4.73
Entrevía	m	1.80	1.88	1.88	1.98	2.08	2.25	2.55
<u>Dimensiones principales</u>								
Altura (parte superior desguarnecida)**	m	2.13	2.10	2.26	2.44	2.59	2.93	3.197
Altura (incluye cabina ROPS)	m	2.98	3.20	3.11	3.42	3.42	3.91	4.24
Longitud total (con hoja S)	m	4.53	5.00	5.01	5.56	6.24	6.87	7.76
(sin hoja)	m	3.60	3.94	-	-	4.88	5.17	5.59
Ancho (con muñón)	m	2.54	-	2.64	2.87	2.94	3.25	3.72
(sin muñón)	m	2.31	2.39	-	2.54	-	-	3.30
Espacio libre sobre el suelo	mm	390	-	377	406	536	505	615
<u>Tipos y anchos de hoja:</u>								
Recta	m	2.95	3.2	3.2	3.81	3.94	4.32	4.86
Semiuniversal	m	-	-	3.24	3.66	-	-	-
Universal	m	-	-	-	3.96	4.26	4.66	5.26
Capacidad de la hoja (SU con reja para basura)	m ³	-	-	11.1	10.8	16.6	28.3	-
Capacidad de llenado del tanque de combustible	L	246	295	337	488	481	792	974

* El peso para el D6H Serie II, incluye lubricantes, refrigerante, tanque lleno de combustible, controles hidráulicos, Hoja 6SU inclinable, extensión para basura de 610 mm, zapatas de 560 mm, techo ROPS, cubierta del motor, protector del cárter para servicio pesado, protector del tanque de combustible, enfriador de aceite hidráulico, antefiltro, seis luces, protector abisagrado de radiador para servicio pesado, protector inferior del radiador, protectores del sello de los mandos finales, protectores del sello de las ruedas guía, protección del compartimento del motor y protectores de los cilindros de inclinación de la hoja. Para el peso del D7H, incluye lo mismo que para el caso del D6H, con la modificación del tamaño de la zapata que para este caso es de 610 mm.

Para el D8N, D9N y D10N, el peso incluye lubricantes, refrigerante, tanque lleno de combustible, controles hidráulicos y techo ROPS-FOPS. Se incluye un núcleo especial del radiador y un ventilador de eyección, barra de tiro, cubierta del motor, protector del cárter para servicio pesado, protector del tanque de combustible, protector abisagrado de radiador para servicio pesado, antefiltro alto, barras limpiadoras delanteras y traseras y operador. El D8N incluye una hoja 8S con extensión para basuras de 762 mm y zapatas de 660 mm, el D9N una hoja 9SU con extensión para basuras de 914 mm y zapatas de 685 mm y el D10N incluye una hoja 10SU.

**Altura sin techo ROPS, tubo de escape, asiento o todo componente fácil de retirar, para el D7H Serie II añade 71.1 mm si esta equipado con zapatas de garra.

4.2. Especificaciones de las Hojas Topadoras

Tipo	Unidad	D6E	D6H II		D7H II			D8N		D9N		D10N
		6S	6S	6SU	7S	7SU	7U	8SU	8U	9SU	9U	10U
Capacidad de la hoja	m ³	7.0	8.6	11.2	10.9	14.0	16.8	19.9	24.4	27.1	32.0	48.9
Peso de la hoja	kg.	1300	2831	2920	3843	3985	4234	5295	5934	5803	6706	
<i>Dimensiones del tractor y de la hoja</i>												
Longitud con la hoja derecha	m	5.01	5.11	5.30	3.806	6.029	6.271	6.39	6.79	6.87	7.17	8.01
<i>Dimensiones de la hoja</i>												
Ancho con cantoneras estándar	mm	3200	3355	3262	3904	3690	3980	3942	4262	4316	4658	5260
Altura	mm	1800	1866	2019	1971	2133	2162	3465	2646	2721	2723	3174
Profundidad máxima de excavación	mm	472	473	473	527	527	527	582	582	619	619	679
Espacio libre sobre el suelo levantada totalmente	mm	850	1104	1104	1145	1145	1145	1231	1231	1368	1368	1497
Inclinación hidráulica máxima	mm	810	765	744	845	861	799	951	1028	940	1014	1074

* Los pesos, las capacidades y alturas de las hojas incluyen una extensión para basura de 610 mm en las hojas del D6H Serie II y D7H Serie II, de 762 mm en las hojas del D8N y de 914 mm en las hojas del D9N.

El diseño de rueda motriz elevada, aísla las cadenas de los materiales que pueden dañar los sellos y reduce las cargas de choque que acortan la vida útil de los mandos finales. La cadena sellada y lubricada y los rodillos de lubricación extienden también la vida útil del tren de rodaje y reducen el mantenimiento.

Este equipo esta formado por dos piezas, un tractor y una hoja topadora, como puede observarse en la figura 4.2. La hoja topadora está constituida por placas de acero, lo cual da formación a una hoja múltiple excepcionalmente fuerte, ésta se encuentra apoyada en bastidores de rodillos de carril, los cuales resisten las fuerzas de empuje y de torcimiento. Entre los tipos de hojas se encuentran; la recta, angular en "U" y "Balderson".

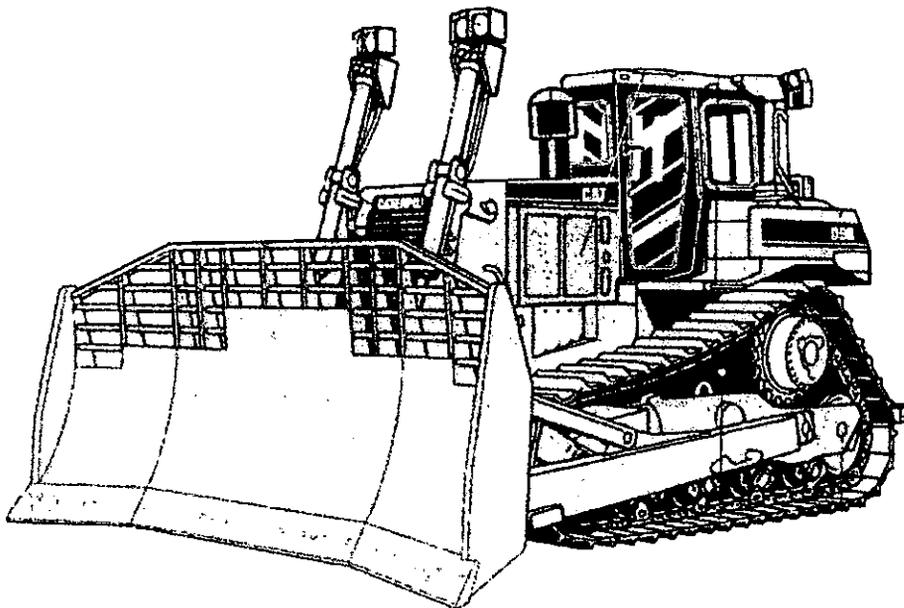


Figura 4.2. Composición del tractor de cadenas

Para llevar a cabo una operación de movimiento de tierras, es necesario que el tractor de cadenas cuente con las siguientes herramientas y accesorios

- Desgarrador,
- Cilindro de inclinación de la hoja y
- Cinturón de seguridad, asiento con suspensión, ventilador reversible y protector en caso de vuelco.

Por sus accesorios y protecciones especiales, los modelos ya mencionados en la tabla 4.1. son más productivos y versátiles, estando mejor equipados para aceptar el rigor que requiere el manejo de los desechos. Un tractor de cadenas para el manejo de los desechos está equipado de la siguiente forma:

- El guarda radiador tiene dos manijas de desconexión rápida para el fácil acceso al radiador de limpieza.
- Reja para la basura instalada por el distribuidor que aumenta la capacidad de empuje e impide que los desechos dañen el radiador. Se extiende hacia arriba y adelante desde el borde superior de la vertedora de la hoja.
- Luces de halógeno montada en los cilindros de levantamiento que permiten la operación de día y de noche. En el D8N las luces van montadas en la estructura ROPS, lejos de la basura, mientras que en el D9N las luces en los guardabarros están protegidas.
- Hoja topadora Semi-Universal (S-U) modificada para el empuje de desechos, dando como resultado; mejor retención de carga, mejor penetración en materiales muy compactados y gran capacidad de manejar diferentes materiales.
- Rueda motriz elevada que aleja los mandos finales del medio de alto desgaste y elimina las cargas de impacto para prolongar la vida útil del tren de fuerza.
- Escalones y agarraderas para servicio pesado.
- Antefiltro de montaje elevado para separar la admisión de aire del motor de la basura, con mayor superficie para evitar el taponamiento.

Las características optativas para conservar el equipo en buenas condiciones son:

- Las aletas de radiador de baja densidad y en zigzag reducen el taponamiento del radiador.
- Las barras limpiadoras delanteras, traseras y del desgarrador evitan las averías a los guardabarros, tanques hidráulicos y de combustible por la acumulación de basura.
- Zapatas trapeciales perforadas en el centro que ayudan a mantener limpias las cadenas.
- Extensiones de la hoja evitan que el material desborde la hoja.
- Acondicionador de aire montado, para evitar el taponamiento del núcleo del condensador.

❖ Cargador de cadenas

El cargador de cadenas está constituido por dos unidades, un tractor y un cucharón. Debido a que cuenta con un bastidor, el cargador obtiene la adherencia necesaria para trabajar en terrenos blandos o poco consistentes; éste equipo se le puede apreciar en la figura 4.3 y sus especificaciones se encuentran en las tablas 4.3. a 4.5.

Características:

- Excava, carga, empuja con la hoja, compacta, corta, separa, agarra.
- Protector abisagrado del radiador para servicio pesado con manijas en "T" para destrabe rápido y para facilitar el acceso al radiador para limpiarlo.
- Barra limpiadora trasera, evita que la basura suba por la cadena y cause daños a los guardabarros.
- Sistema de luces, faros (delanteros y traseros), los cuales se protegen con rejillas.
- Zapatas de cadena de una garra, con perforación central trapecial proporcionan máxima tracción, y la perforación central permite que la rueda motriz fuerce la salida de tierra y basura.
- Grupo protector contra basura protege a la máquina evitando la entrada de material en el compartimiento del motor.
- Rastrillo para desmontar y para abrazadera

Tabla 4.3. Tipos y especificaciones de cargadores de cadenas para rellenos sanitarios.

Modelo	Unidad	934 WDA*	953B WDA	963 WDA	973 WDA
Potencia en el volante	HP	80	120	150	210
Peso en orden de trabajo	kg	13,350	15,290	20,340	29,266
Modelo de motor		3204	3116T	3304	3306T
Clasificación de RPM del motor		-	2,400	2,200	2,200
Calibre	mm	-	105	121	121
Carrera	mm	-	127	152	152
Número de cilindros		-	4	4	6
Cilindrada	L	-	6.6	7.0	10.5
Rodillos de cadena (cada lado)		-	6	6	7
Ancho de la zapata estándar	mm	360	380	450	500
Longitud de cadena en el suelo	m	2.134	2.295	2.454	2.85
Area de contacto con el suelo (con zapatas estándar)	m ²	1.547	1.74	2.21	2.92
Presión sobre el suelo	kPa	-	87.8	92.0	100.2
Espacio libre sobre el suelo	mm	-	377	439	456
Entrevía	m	1.701	1.80	1.85	2.08
Ancho sin cucharón	m	-	2.18	2.30	2.58
Capacidad del tanque de comb.	L	-	237	261	356
Capacidad del tanque hidráulico	L	-	53	60	60
Capacidad del cucharón	m ³	1.3	1.75	1.98	2.86



Figura 4.3. Cargador de cadenas

 ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Tabla 4.4. Especificaciones de cargadores de cadenas/desgarradores

Modelo	Unidad	953B	963	973
Tipo de desgarrador/escarificador		Radial	Radial	Radial
Dimensiones:				
<u>Vástago del desgarrador (1 estándar)*</u>				
Profundidad máxima de excavación	mm	284	360	428
Alcance máximo al nivel del suelo	mm	1092	1160	1295
Máximo espacio libre bajo la punta (vástago clavado en el agujero inferior)	mm	415	513	670
Angulo máximo de pendiente, desgarrador levantado (vástago clavado en el agujero inferior)	°	19	19	20
Sección del vástago	mm	50 X 109	58 X 139	74 X 175
<u>Viga del desgarrador</u>				
Ancho total	m	1.95	1.95	2.20
Altura	mm	165	165	216
Longitud	mm	211	211	254
Número de portavástagos		3	3	3
Distancia entre ellos	mm	900	896	1000
Calibre del vástago	m	1.80	1.79	2.00
Espacio libre a las cadenas con zapatas estándar	mm	NA	NA	NA
Pesos instalados:				
Desgarrador con vástago estándar	kg.	525	678	1205
Cada vástago adicional	kg.	11.7	34	69.8
<u>Fuerzas del desgarrador**:</u>				
Fuerzas de penetración	kg.	4707	6385	8820
Fuerzas de dislocación	kg.	10,388	13,897	17,450

* Un vástago es estándar en los desgarradores 953B a 973

** Estos valores pueden variar ligeramente entre diferentes configuraciones

NA- No corresponde

En términos generales, los accesorios mínimos para operar un cargador de cadenas son:

- Desgarrador
- Contrapesos

Debido a la importancia de las características del cucharón se describen a continuación:

- a). Es un recipiente de placas de acero. Por medio de los dispositivos (brazos y cilindros de levantamiento) las placas se montan entre dos planchas verticales de la torre del cucharón.
- b). Sirve para compactar, excavar los materiales y conducirlos de un sitio a otro.
- c). Existen diversos tipos de cucharones, entre ellos que se encuentran los de empleo general, de uso múltiple, de descarga lateral, para rocas y escorias.

Tabla 4.5. Accesorios especiales (Herramientas de trabajo Balderson)

Herramientas de trabajo	973	963	953B	939	933
Acoplador rápido	✓	✓	✓	✓	✓
Cucharón de uso general	✓	✓	✓	✓	✓
Cucharón para rellenos sanitarios	✓	✓	✓		
Cucharón para roca putrefacta	✓	✓			
Cucharón para escoria	✓				
Cucharón para carbón		✓	✓		
Cucharón para virutas de maderas		✓			✓
Cucharón para fertilizante				✓	✓
Cucharón de uso múltiple	✓	✓	✓	✓	✓
Cucharón de descarga lateral	✓	✓	✓		
Cucharón de demolición	✓	✓	✓		
Hoja recta		✓	✓		✓
Hoja U para rellenos sanitarios			✓		✓
Hoja orientable manualmente			✓		
Hoja orientable hidráulicamente	✓	✓	✓		✓
Horquilla	✓	✓	✓	✓	✓
Brazo para manejo de materiales	✓	✓	✓		✓
Rastrillo con tenaza	✓	✓	✓		
Rastrillo para desmonte					✓
Rastrillo cargador		✓	✓		✓
Sierra circular de alta velocidad			✓		
Talador forestal					✓
Corta árboles hidráulico					✓

❖ **Cargador de ruedas**

Este equipo es preferido por algunos operadores para sustituir a la máquina de cadenas, principalmente cuando se tiene un suelo arenoso o abrasivo, los cuales aceleran el desgaste del tren de rodaje y elevan los costos por el reemplazo de ciertos dispositivos. Este tipo de máquina presenta una desventaja, tiene la posibilidad de falla de neumáticos debido a alguna perforación, para esto, se aconseja usar neumáticos cargados con espuma de goma, lo cual reduce la velocidad de la máquina y debido a la acumulación de calor, se recomiendan no usarlos para cargadores que se trasladen a distancias largas; este equipo se observa en la figura 4.4.



Figura 4.4. Cargador de ruedas

En la actualidad se tienen variados modelos, siendo el más pequeño el cargador de ruedas 910E, con un peso de 7,317 kg, con una potencia de 75 HP y una capacidad del cucharón estándar de 0.99 a 1.3 m³. Mientras el 992C, es el más grande y tiene un peso de 88,429 kg., con una potencia de 690 HP. En la tabla 4.6, se puede observar algunos de los modelos de los cargadores, así como sus respectivas especificaciones de cada uno.

Estas máquinas tienen las siguientes ventajas:

- Ciclos rápidos para empujar, cargar, apilar y acarrear.
- El bastidor delantero modificado proporciona suficiente espacio para que la basura caiga en vez de amontonarse y permite fácil acceso para limpieza.
- El sistema de enfriamiento para aplicaciones de manejo de basura es estándar. El radiador modular es resistente a basura, la rejilla antibasuras, el ventilador de succión y las cubiertas del motor funcionan como una unidad para mantener el radiador y el compartimiento del motor libre de basuras.
- El radiador es resistente a basuras, tiene seis aletas por pulgada y tuberías de entrada que no se taponan porque permiten que los desechos atraviesen el núcleo.
- Las rejillas antibasuras abisagrada del radiador elimina los productos de desecho de un tamaño mayor que lo que el núcleo del radiador deja pasar.
- El ventilador de succión hace pasar el aire exterior más frío a través de la rejilla antibasuras y del radiador y contribuye a evitar que la basura se introduzca en otras aberturas. Esto disminuye la acumulación de desechos y el riesgo de incendio.
- El acondicionado de aire optativo tiene un condensador montado en el techo lo que mejora la eficiencia del acondicionador de aire y del enfriamiento del motor.

Opciones recomendadas para manejo de basuras.

- El ventilador del radiador reversible invierte el movimiento para desalojar la basura que haya entrado en el radiador o en el compartimiento del motor, sin necesidad de detener la máquina.
- La configuración de levantamiento alto aumenta la altura del pasador de articulación del cucharón, lo que ofrece la posibilidad de elevar la altura de la pila. Este es un aspecto importante cuando el volumen de basuras que llega supera la capacidad del espacio disponible, o cuando una máquina tiene una avería.

Accesorios

- Cucharón de basuras con excelente capacidad de empuje y de apilado. Una placa grande de derrame protege la máquina de la basura que puede caer por encima del cucharón. Disponible con configuraciones de acopio rápidos y de pasador.
- Las horquillas para tarimas son ideales para el manejo de basuras que van a reciclarse o para apilar basura en los rellenos sanitarios.
- Cucharón de uso múltiple con la capacidad de sujetar y clasificar objetos grandes, empujar material de cubierta y otros trabajos de empuje ligero.

Tabla 4.6. Tipos de cargadores de ruedas y especificaciones

Características	Unidad	938F WHA	950F WHA	966F WHA
Potencia en el volante	HP	140	170	220
Modelo de motor		3116T	3116T	3116T
Clasificación de RPM del motor				
Calibre	mm	2200	2200	2200
Carrera	mm	105	105	121
Número de cilindros		127	127	152
Cilindrada	L	4	6	6
Entrevía	m	6.6	6.6	10.5
Ancho con neumáticos	m	1.98	2.09	2.20
Espacio libre sobre el suelo	mm	2.57	2.76	2.94
Capac. del tanque de combustible	L	379	474	476
Capacidad del tanque hidráulico	L	200	258	304
Altura del pasador de articulación		146	153	205
Levantamiento total estándar	m	3.84	3.95	4.12
Levant. alto con neumático L-5	m	4.40	4.57	4.80
Peso en orden de trabajo hasta:	kg.	16,325	20,280	26,400

Si bien no se recomiendan como máquina para manejo de materiales y compactación, los cargadores de ruedas se utilizan en las comunidades que comparten una sola máquina que viaja de un relleno al otro. En rellenos de más de 272 toneladas por día, los cargadores de

ruedas se pueden usar en trabajos generales de limpieza, son populares en puestos de transferencia para cargar y separar la basura. Se debe considerar el uso de neumáticos especiales llenos de espuma de goma a causa del constante peligro de pinchazos.

❖ Motoescrapas

Las características de todos los modelos son:

- ◆ Servotransmisiones semiautomáticas. De ocho velocidades en los modelos 621F a 657E.
- ◆ Servotransmisiones con seis velocidades en la 613C Serie II y en la 615C Serie II.
- ◆ El diferencial de trabajo controlado por el operador, conecta firmemente las dos ruedas impulsoras del tractor para proporcionar buena tracción.
- ◆ El enganche amortiguado de los modelos 621F a 657E absorbe los impactos del camino durante el acarreo, estabiliza el desplazamiento de la máquina y aumenta las velocidades de trabajo.
- ◆ El sistema hidráulico de doble acción asegura la penetración de la cuchilla, el cierre de la compuerta y la expulsión del material.

Motores en tándem:

- La disposición de empuje y tiro permite que dos escrapas 627F (ver figura 4.5.), 637E Serie II o 657E se ayuden una a otra para cargar, eliminando el uso de un tractor para empujar.

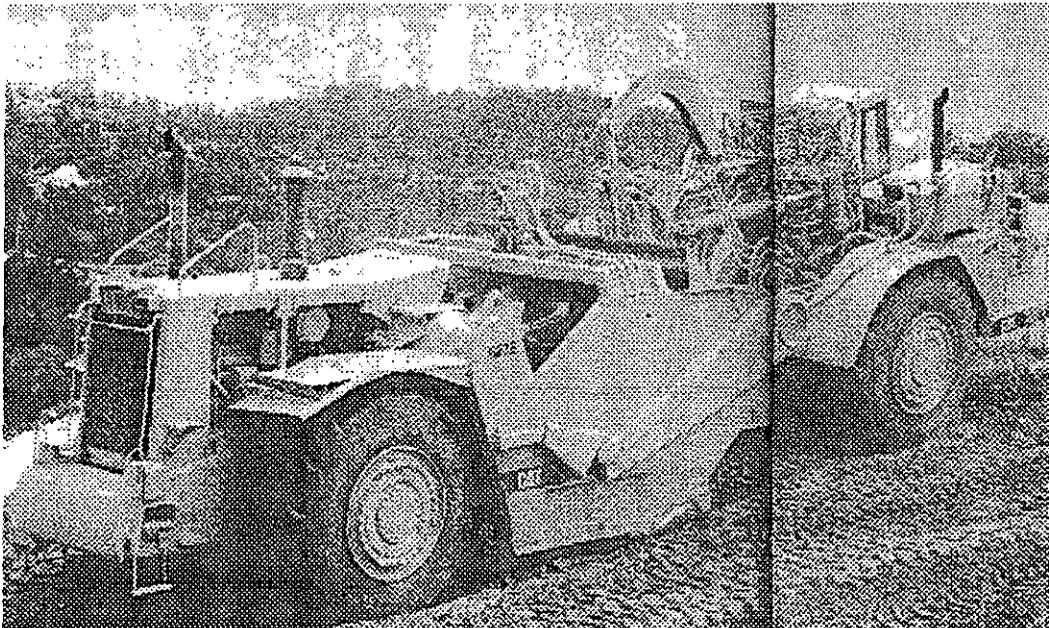


Figura 4.5. Motoescrapas de ruedas

Tabla 4.7. Tipos de motoescrepas en tándem (de tiro y empuje) y especificaciones

Característica	Unidad	627E	637E	657E
Potencia en el volante: Tractor	HP	330	450	550
Escrepa	HP	225	250	400
Peso aprox. En orden de trabajo (vacía)	kg.	36,538	50,845	68,860
Capacidad de la escrepa: A ras	m ³	10.70	16.10	24.50
Colmada	m ³	15.30	23.70	33.60
Carga nominal	kg.	21,775	34,020	47,175
Distribución del peso (vacía): Delante	%	59	59	60
Detrás	%	41	41	40
Distribución del peso (cargada): Delante	%	48	49	51
Detrás	%	52	51	49
Modelo del motor: Tractor		3406C	3408	3412
Escrepa		3306	3306	3408
RPM nominales del motor: Tractor		1900	2000	1900
Escrepa		2200	2200	1900
Cilindrada: Tractor	L	14.60	18.00	27.00
Escrepa	L	10.50	10.50	18.00
Círculo de giro sin paradas restringido por ROPS	m	10.90	12.20	13.60
Neumáticos: Propulsores del tractor		33.25-29,26	37.25-35,30	37.5R39
		PR(E-3)	PR(E-3)	Radial **(E-3)
de la escrepa		33.25-29,26	37.25-35,30	37.5R39
		PR(E-3)	PR(E-3)	Radial **(E-3)
Ancho de corte	m	3.02	3.51	3.85
Profundidad máxima de corte	mm	333	437	660
Espesor máximo al esparcir	mm	522	480	533
Capacidad de llenado del tanque: Escrepa	L	992	1200	1597
<i>Dimensiones principales:</i>				
Altura de la escrepa	m	3.71	4.29	4.71
Distancia entre ejes	m	7.72	8.77	9.92
Longitud total	m	12.93	14.28	16.20
Ancho total	m	3.47	3.94	4.35
Ancho para embarque (brazo de tiro dentro de la caja)	m	-	3.64	3.91
Entrevía de la escrepa	m	2.18	2.46	2.85
Entrevía del tractor	m	2.21	2.46	2.64
<i>Dimensiones de empuje y tiro</i>				
Peso en orden de trabajo (vacía)	kg	38,103	52,385	72,640
Longitud total	m	15.20	16.49	-
Distribución del peso - Vacía: Delante	%	60	60	60
Detrás	%	40	40	40
Dist. del peso - Cargada: Delante	%	49	50	51
Detrás	%	51	50	49

Autocargadora:

- El elevador en retroceso sin interrupción facilita la expulsión de material pegajoso.
- El elevador de dos velocidades permite que el operador adapte la velocidad del elevador al tipo de material.

Transportador sinfin:

- Accesorio instalado en fábrica que proporciona capacidad de autocarga a las motoescrepas estándar y en tándem.

Las motoescrepas son cada vez más usadas en los rellenos sanitarios, especialmente en los sitios que presentan condiciones adversas, ya que se pueden manejar rápida y eficientemente grandes cantidades de material para la cubierta, esto como resultado de la combinación de dos motores con su capacidad de autocarga. Las características técnicas de las motoescrepas que se usan en los rellenos sanitarios se presentan en las tablas 4.7. y 4.8.

4.8. Tipos y especificaciones de motoescrepas autocargadoras

Característica	Unidad	613C	615C	623F	633E
Potencia en el volante	HP	175	265	365	475
Peso en orden de trabajo (vacía)	kg.	15,264	25,605	35,290	50,805
Capacidad de la escrepa:	m ³	8.4	13.00	17.60	26
Colmada	kg.	11,975	18.506	24.950	37,195
Carga nominal					
Distribución del peso (vacía):	%	63	66	65	64
Delante	%	37	34	35	36
Detrás					
Distribución del peso (cargada):	%	49	51	52	51
Delante	%	51	49	48	49
Detrás		3116	3306	3406C	3408
Modelo del motor		2300	2200	1900	2000
RPM nominales del motor	L	6.60	10.50	14.60	18.00
Cilindrada	Km/h	35.10	44.40	48.00	53.00
Velocidad máxima (cargada)	m	8.90	9.63	10.90	13.16
Círculo de giro sin paradas		23.25R25	29.5R25	29.5-29,34	37.25R35,3
Neumáticos estándar: Tractor		23.25R25	29.5R25	PR(E-2)	0PR(E-20)
Escrepa		23.25R25	29.5R25	29.5-29,34	37.25R35,3
Escrepa	m	2.35	2.89	PR(E-2)	0PR(E-2)
Ancho de corte	mm	160	414	3.50	3.50
Profundidad máxima de corte	mm	419	419	330	431
Distancia entre paletas del elevador		15	18	520	619
Número de paletas	m	1.14	1.181	15	14
Abertura máxima del piso	m	370	399	1.53	1.22
Espesor máximo al esparcir	L	250	399	390	500
Capacidad del tanque de combustible:				570	814

4.8. Tipos y especificaciones de escrepas autocargadoras (continuación)

Característica	Unidad	613C	615C	623F	633E
<i>Dimensiones principales:</i>					
Altura de la escrepa	m	3.06	3.589	3.94	4.72
Distancia entre ejes	m	6.26	6.995	7.97	8.89
Longitud total	m	10.0	11.60	12.61	14.48
Ancho total	m	2.44	3.05	3.55	3.94
Ancho para embarque (brazo de tiro dentro de la caja)	m	2.44	3.05	3.55	3.94
Entrevía de la escrepa	m	1.80	2.12	2.18	2.50
Entrevía del tractor	m	1.80	2.12	2.21	2.50

Tanto la motoescrepa modelo 637E como la 627E tienen capacidad de autocarga según las ubicaciones del trabajo y la variedad de tipos de materiales usados.

En algunos rellenos, el operador prefiere tener una escrepa que descargue cerca del frente de trabajo, que puede ser en la base o en la cima, y una máquina que se encargue de esparcir los desechos en la capa superior. Mediante este método se reducen los daños de neumáticos y como las escrepas tienen que desplazarse a alta velocidad, no se recomiendan los neumáticos rellenos de espuma de goma en los rellenos sanitarios.

La escrepa remolcada por un tractor de cadenas es una combinación ideal para el operador de un relleno pequeño y cuyo presupuesto no alcance para varias máquinas, esta máquina mueve el material eficientemente a distancias de 180 a 300 m, siendo fácil su movimiento en pendientes pronunciadas, en terrenos de malas condiciones o en terrenos rocosos y abrasivos.

❖ **Retroexcavadora**

Existen dos tipos de retroexcavadoras, la que se encuentra montada sobre orugas y la montada sobre neumáticos; debido a la fácil adaptabilidad a los terrenos en malas condiciones, se destacan por la rapidez de intercambio de los dispositivos y el fácil desplazamiento de la máquina. En la figura 4.6. se observa una retroexcavadora y en la tabla 4.9. se presentan las especificaciones de estos equipos.

Una de las ventajas que presenta este equipo, son los diversos usos de los cucharones, los cuales se mencionan en la tabla 4.10. Los cucharones están contruidos de acero reforzado y la cuchilla con portadientes en acero moldeado, los dientes son removibles y debido a su gran variedad de forma y tamaño, se adaptan a todo tipo de terreno.

Tabla 4.9. Tipos y especificaciones de las Retroexcavadoras

Características	Unidad	416B	426B
Potencia en el volante neta	HP	74	79
Potencia en el volante bruta	HP	77	82
Peso en orden del trabajo	Kg.	6,227	6,790
Modelo de motor		3054	3054
RPM nominales del motor		2200	2200
Número de cilindros		4	4
Calibre	mm	100	100
Carrera	mm	127	127
Cilindrada	L	4.0	4.0
Diámetro mínimo de giro	m	7.82	7.88
Capacidad del tanque de combustible	L	106	128



Figura 4.6. Retroexcavadora

Tabla 4.10. Tipos de cucharones

Tipo de cucharón	Capacidad (m ³)	Usos
Almeja		Es usado en las excavaciones angostas y muy profundas, para lograr una excavación de 1.7 m. de ancho por 4.5 m. de profundidad.
Limpieza	0.25 – 0.55	Generalmente se usa para recoger material suelto.
Retro	0.43 – 0.85	Se usa para excavar hasta una profundidad de 5.50 m, con una altura de volteo de 6 m.
Cargador frontal	0.43 – 0.85	Este cucharón tiene un alto rendimiento para cargar el material de la excavación a los camiones de volteo.

❖ Volquete articulado

Este equipo cuenta con modelos de capacidades de 23 a 36.3 toneladas, los cuales se mencionan en la tabla 4.11. Vienen en versiones de dos y tres ejes, por su articulación en ángulo de 45°, son eficaces en terrenos de barro, zonas de préstamo y frentes de trabajo angostos y en los caminos congestionados de los rellenos sanitarios. En la figura 4.7. se puede observar un volquete articulado.

El volquete articulado tiene las siguientes características:

- Diseño de bastidor de sección en caja articulado/oscilante.
- Tren de fuerza con excelente relación entre la potencia y el peso bruto del vehículo.
- Cajas de gran fortaleza con baja presión para obtener alta flotación.
- Propulsión de 4x4, 6x4 y 6x6 para lograr excelente tracción.
- Motores diesel de cuatro tiempos
- Dirección hidráulica articulada, con los bastidores delantero y trasero totalmente oscilantes y libres de cargas torsionales, que proporcionan maniobrabilidad y capacidad de retroceso.
- Baja altura de carga para una versátil adaptación a los cargadores.

Tabla 4.11. Especificaciones de camiones articulados

Modelo	Unidad	D20D	D25D	D30D	D40D	D250D*	D300D**	D350D*	D400D**
Potencia en el volante	HP	180	260	285	385	214	285	285	285
Peso de trabajo (vacío)	Kg.	15,000	19,700	21,900	28,027	17,300	20,680	24,595	28,027
Velocidad máxima cargado	km/h	46	48	52	55	42.6	48.6	48.0	55.5
Peso bruto de la máquina		33,000	42,371	49,106	64,308	40,080	47,900	56,336	64,308
Distribución del peso (vacío):									
Delante	%	67	70	66	62	56	56	56	58
En el centro	%	NA	NA	NA	NA	22	22	22	21
Detrás	%	33	30	34	38	22	22	22	21
Distribución del peso cargado:									
Delante	%	45	48	44	39	30	30	34	32
En el centro	%	NA	NA	NA	NA	35	35	33	34
Detrás	%	55	52	56	61	35	35	33	34
Capacidad caja estándar	ton	18	22.7	27.2	36.3	22.8	27.2	31.8	36.3
A ras	m ³	8.7	10.0	12.6	16.9	10.0	12.0	16.0	16.1
Colmada	m ³	11.7	14.0	17.2	22.4	13.0	16.5	20.5	21.9
Modelo del motor		3116	3306	3306	3406	3116	3306	3306	3406
Número de cilindros		6	6	6	6	6	6	6	6
Calibre	mm	105	121	121	137	105	120.7	121	137
Carrera	mm	127	152	152	165	127	152.4	152	165
Cilindrada	L	6.6	10.5	10.5	14.6	6.6	10.5	10.5	14.6
Neumáticos estándar delanteros y traseros		23.5 x 25 Radiales	26.5 x 25 Radiales	29.5 x 25 Radiales	29.5 x 25 Radiales	20.5 x 25 Radiales	23.5 x 25 Radiales	26.5 x 25 Radiales	29.5 x 25 Radiales
Diám.de espacio libre para girar	m	14.5	15.9	16.37	15.8	15.23	15.52	16.06	16.52
Cap. del tanque de combustible	L	210	450	450	450	300	360	450	450
<i>Dimens. princ.: (Camión vacío)</i>									
Altura, cabina inclusive	m	3.30	3.34	3.40	3.56	3.21	3.28	3.33	3.56
Distancia entre ejes	m	4.44	4.91	5.02	4.85	5.38	5.74	5.89	6.05
Longitud total	m	8.43	8.76	8.86	9.76	9.60	9.87	9.95	10.62
Altura de carga (vacío)	m	2.40	2.63	2.88	3.2	2.59	2.66	2.93	2.98
Altura a pleno volteo	m	5.00	5.48	5.78	6.00	6.22	6.42	6.76	6.60
Longitud de la caja	m	4.47	4.76	4.81	5.45	5.61	5.62	6.01	5.90
Ancho (operación)	m	2.75	3.00	3.30	3.48	2.50	2.88	3.00	3.30
Entrevía de neumáticos delant.	m	2.13	2.32	2.55	2.55	1.96	2.27	2.32	2.55

* 3 ejes (modelos disponibles con tracción de 6x4 y 6x6)

** Sólo con propulsión en 6 ruedas.



Figura 4.7. Volquete articulado

4.2. Operación y rendimiento.

La distancia es un factor importante al escoger la maquinaria para mover el material; en la tabla 4.12. se indica la maquinaria adecuada de acuerdo a la distancia del material de cubierta.

Tabla 4.12. Maquinaria vs. distancia.

Maquinaria	Distancia (m)
Tractor de cadenas	0 – 90
Cargador de ruedas	0 – 150
Compactador	0 – 60
Motoescropa	más de 180
Camión de volteo o Volquete articulado	más de 300

❖ Tractor de cadenas

El tractor de cadenas trabaja en toda clase de climas y se utiliza en los tres métodos de rellenos sanitarios más frecuentemente utilizados; área, trinchera y combinado; logra densidades de compactación de 474 a 593 kg/m³, obteniendo las mejores densidades de compactación en una pendiente de 3:1, en las que las garras de zapatas rompen el material de desecho a medida que se lo empuja pendiente arriba. El tractor de cadenas puede mover económicamente el material de cobertura a distancia de hasta 91.4 m.

El tractor de cadenas es la máquina más popular y versátil en un relleno sanitario, no sólo esparce y compacta la basura y el material de cobertura, sino que también prepara el sitio, desgarrar material de cobertura, construye caminos de acarreo, tumba árboles, saca tocones y trabaja virtualmente en cualquier condición atmosférica.

Este equipo se emplea en excavaciones, sobre todo cuando el sitio no requiere desmonte o nivelación, ofrece rendimientos excelentes al construir caminos de acceso y para repararlos. El tractor de cadenas también se usa para extender tierra y compactarla.

❖ Cargador de cadenas

Este cargador es utilizado para abrir zanjas, acarrear tierra, teniendo como condición que la tierra se encuentre a una distancia menor de 90 m. También se puede utilizar para esparcir, compactar y triturar los residuos sólidos y el material de cubierta. En cualquier método que se utilice, se obtienen magníficos resultados. En los rellenos pequeños, de menos de 135 toneladas por día, los cargadores de cadenas pueden cumplir perfectamente las funciones de manejo de basuras y de material de cobertura.

En la tabla 4.13. se mencionan las velocidades de avance y retroceso, para diversos modelos:

Tabla 4.13. Velocidades de los Cargadores de cadenas

Velocidades	Unidad	953B WDA	963 WDA	973 WDA
Velocidades de avance	km/h			
1 ^a .		0-10.35	0-10.10	0-10.30
2 ^a .		Infinitamente	Infinitamente	Infinitamente
3 ^a .		Variable	Variable	Variable
Velocidades de retroceso				
1 ^a .		0-10.35	0-10.10	0-10.30
2 ^a .		Infinitamente	Infinitamente	Infinitamente
3 ^a .		Variable	Variable	Variable
Tiempo del ciclo hidráulico con cucharón vacío:	segundos			
Levantamiento		7.4	6.2	7.4
Descarga		1.5	1.3	1.4
Descenso libre (vacío)		3.0	2.3	2.6
Total		11.9	9.8	11.4

Como el cucharón no se extiende más allá de las cadenas, el cargador de cadenas puede obtener una compactación completa hasta las paredes de la zanja. Además si se desea trabajar con material de cobertura congelado, se pueden acoplar desgarradores o cucharones de uso múltiple, lo que permite al operador selectivamente cargar objetos para sacarlos del frente de trabajo.

Las densidades de compactación son similares a las alcanzadas con el tractor de cadenas – 475 a 590 kg/m³. Muchas personas opinan que los cargadores de cadenas equipados con zapatas de una sola garra proporcionan las densidades máximas de compactación y de demolición. Para lograr densidades más altas, se puede cargar el cucharón para aumentar el peso de la máquina durante las pasadas de compactación.

❖ Cargador de ruedas

Este equipo debido a su versatilidad puede cargar el material de cubierta, acarrear los desechos de los trabajos de limpieza y equipado con un cucharón de uso general, es un vehículo económico para el transporte del material de cubierta hasta una distancia de 180 m. Como los cargadores tienen una articulación en el punto medio de la máquina, les permite trabajar fácilmente en espacios reducidos y girar dentro de su propia longitud, además el eje trasero oscila para proporcionar una marcha más estable sobre los montones de residuos.

Los cargadores de ruedas pueden lograr densidades de compactación de 530 a 650 kg/m³. En la siguiente tabla se enuncian las velocidades de avance y retroceso logradas por cada uno de los modelos de cargadores de ruedas, así como los tiempos del ciclo hidráulico (levantamiento, descarga y descenso del cucharón).

Los cargadores de ruedas son fáciles de operar por sus controles de poco esfuerzo y por la suavidad de manejo de la dirección, aunque presenta la desventaja de que dejan rodadas en la basura, lo que requieren más material de cobertura. Si bien no se recomiendan como máquina para manejo de materiales y compactación, los cargadores de ruedas se utilizan en las comunidades que comparten una sola máquina que viaja de un relleno al otro, además son utilizados en los rellenos de más de 272 toneladas por día para realizar trabajos generales de limpieza. Para este equipo, se debe considerar el uso de neumáticos especiales llenos de espuma de goma a causa del constante peligro de pinchazos, teniendo la desventaja de que si se usan estos neumáticos se tendrán capacidades menores.

Tabla 4.14. Velocidades de los Cargadores de ruedas

Modelo	Unidad	938F WHA	950F WHA	966F WHA
Velocidades de avance	km/h			
1ª.		8.0	7.4	7.3
2ª.		14.4	13.3	13.0
3ª.		25.3	23.1	22.5
4ª.		42.3	38.7	38.8
Velocidades de retroceso				
1ª.		8.9	8.2	8.3
2ª.		16.0	14.7	14.8
3ª.		28.0	25.5	25.6
4ª.		46.7	42.7	43.9
Tiempo del ciclo hidráulico				
Con carga nominal en cucharón:	segundos			
Levantamiento		6.6	6.6	7.1
Descarga		1.8	2.2	2.0
Descenso libre (vacío)		3.2	3.0	2.4
Total		11.6	11.8	11.5

❖ Motoescrepas

Este tipo de maquinaria fue diseñado para excavar y acarrear económicamente el material de cobertura a distancias de más de 183 m; este equipo puede esparcir el material en capas delgadas y uniformes, subir fácilmente pendientes inclinadas y desplazarse rápidamente en caminos de superficies desiguales. Para esta actividad, se debe escoger una escrepa como si fuera a cumplir un típico trabajo de movimiento de tierra.

Los modelos 613C, 615C y 623C son motoescrepas, que se autocargan a velocidades de 9/10 de minuto y descargan en 7/10 de minuto. Mientras que los dos modelos restantes son unidades de dos motores que pueden o no cargarse por empuje, según las condiciones; la 637E puede ser cargada por empuje por un tractor D9 en 5/10 de minuto y descargar en 6/10 de minuto y la 627E se puede cargar en 6/10 de minuto con un tractor D8N y descargar en un lapso de tiempo igual. En la tabla 4.15. se menciona la velocidad máxima alcanzada por los diversos modelos de motoescrepas.

Tabla 4.15. Velocidades de las Motoescrepas

Modelo	Velocidad máxima (cargada) km/h
En tándem	
627F	51.30
637F	53.00
657F	53.00
Autocargadoras	
613C	35.10
615C	44.40
623C	48.00
633E	53.00

❖ **Retroexcavadoras Cargadoras**

La retroexcavadora es una herramienta para el mantenimiento del relleno, son usadas para excavar, cortar zanjas, separar basura y tender tuberías de drenaje. En algunas ocasiones las retroexcavadoras son usadas en combinación con camiones articulados, para excavar, acarreo de tierra y material de cobertura, principalmente cuando la tierra está saturada, suelta o es roca dinamitada, ya que esta combinación da mejores rendimientos que una motroescropa. En la tabla 4.16. se muestran las velocidades máximas de avance y retroceso, alcanzadas por las retroexcavadoras cargadoras.

Tabla 4.16. Velocidades de las Retroexcavadoras Cargadoras.

Velocidades	Unidad	416B	426B
Velocidades de avance	km/h		
1ª.		6.3	6.3
2ª.		11.6	11.7
3ª.		21.9	22.0
4ª.		33.0	33.2
Velocidades de retroceso			
1ª.		6.3	6.3
2ª.		11.7	11.9
3ª.		22.0	22.2
4ª.		33.3	33.5

❖ **Volquete articulado**

Este equipo es muy usado en el transporte de tierra o material de cobertura, debido a sus grandes volúmenes en distancias de acarreo cortas y largas, además el uso del volquete articulado es muy económico. El volquete articulado es un versátil acarreador para todo tiempo, el cual maniobra más fácilmente en espacios reducidos y salva dificultades en terrenos de malas condiciones, en el cual quedarían inhabilitados los camiones convencionales.

En la tabla 4.17. se enlistan las velocidades máximas en kilómetros/hora de cada uno de los modelos de los camiones articulados usados en los rellenos sanitarios.

Tabla 4.17. Velocidades en los Camiones articulados

Modelo	Velocidad máxima en km/h
D20D	46.0
D25D	48.0
D30D	52.0
D40D	55.0
D250D	42.6
D300D	48.6
D350D	48.0
D400D	55.5

En la tabla 4.18. se describen los períodos de posesión basados en las aplicaciones y condiciones de operación de cada uno de los equipos usados dentro del movimiento de tierras. Están clasificados de acuerdo al tipo de material a usar como cubierta, esta clasificación se describió en la introducción de movimiento de tierras, específicamente dentro de las terracerías.

Dentro de la operación, un factor que determina el aspecto económico; es el consumo de combustible de los equipos; en la tabla 4.19. se mencionan los consumos de cada uno de los equipos usados en el movimiento de tierras.

Tabla 4.18. Periodos de posesión basado en la aplicación y condiciones de operación

Máquina	ZONA A	ZONA B	ZONA C
Tractores de cadenas D3-D7 D8-D11	Remolque de escrepas y en faenas agrícolas, amontonamiento, apilamiento de carbón. Sin impactos. Operación intermitente a plena aceleración. 12,000 horas 22,000 horas	Trabajo con la hoja en arcilla, arena y grava. Empuje y carga de escrepas, desgarramiento en zanjas. Aplicaciones en desmote y arrastre de troncos. Condiciones de impacto medio. Trabajo en rellenos. 10,000 horas 18,000 horas	Desgarramiento pesado en suelos rocosos y en tándem. Empuje y carga de escrepas y trabajo pesado de la hoja con rocas duras. Trabajo en lugares rocosos. Cargas de impacto pesado y continuas. 8,000 horas 15,000 horas
Retroexcavadoras	Aplicaciones ligeras de obras públicas en terrenos ligeros y medio. Profundidad de excavación menor a 1.83 m. 12,000 horas	Aplicaciones de obras públicas en suelos medios y pesados. Profundidades de excavación de hasta 3.05 m. 10,000 horas	Aplicaciones de producción de excavación en roca. Profundidad de excavación mayor a 3.05 m. 5,000 horas
Motoescrepas 613C Serie II, 615C Serie II 621F-627F, 631E-657E	Acarreo horizontal o en descenso de cuestas en buenos caminos. Sin cargas de choque. Materiales de carga fácil. 12,000 horas 22,000 horas	Condiciones para carga y en caminos de acarreo. Pendientes favorables y adversas. Cargas de choque. Diversos trabajos en construcción de carreteras. 10,000 horas 17,000 horas	Fuertes cargas de choque, tales como cargas de rocas fragmentadas. Sobrecarga. Continua resistencia total alta. Caminos de acarreo escabrosos. 8,000 horas 12,000 horas
Camiones articulados	Trabajos de movimiento y apilamiento de tierra con equipo de carga bien combinado. Acarreos de cortos a medianos en caminos bien mantenidos. Material de flujo libre. Pocas cargas de impacto. 15,000 horas	Condiciones de carga y de caminos de acarreo. Elevada resistencia a la rodadura y mala tracción durante parte del trabajo. Algunas pendientes adversas. Empleado para construcción de caminos y en minas a cielo abierto. 10,000 horas	Utilización en caminos de acarreo en pésimo estado, elevada resistencia a la rodadura y mala tracción. Altas cargas de impacto y pendientes adversas frecuentes. Equipo de carga mal combinado, con sobrecarga continua. 8,000 horas

Máquina	ZONA A	ZONA B	ZONA C
Tractores de ruedas y compactadores	Trabajos ligeros diversos. Apilamiento. Remolque de compactadores. Empuje de relleno suelto con la hoja. Sin cargas de choque. 15,000 horas	Trabajo con la hoja y empuje de escepas en la carga de arcilla, arena, limo, grava suelta. Despejo en torno de la pala mecánica. 12,000 horas	Trabajo continuo en el empuje de rocas con la hoja. Empuje de escepas en zonas pedregosas y rocosas. Trabajo de compactación en rellenos sanitarios. 8,000 horas
Cargadores de ruedas	Carga intermitente de camiones con material apilado, alimentación de tolvas en suelos firmes y parejos. Material de gran flujo y poca densidad. Despejo ligero de nieve. Carga y acarreo a distancias cortas en terreno favorable y sin pendientes.	Carga continua de camiones con material apilado. Materiales con densidad baja y media. Alimentación de tolvas en suelos con resistencia a la rodadura de baja a media. Carga en bancos de fácil excavación. Carga y acarreo en suelos desfavorables y pendientes suaves.	Carga de rocas de voladura. Movimiento de material muy denso con máquinas con contrapeso. Carga continua de bancos compactos. Trabajo continuo en suelo desiguales o muy blandos de excavación difícil. Distancias largas de acarreo en suelos malos y con pendientes desfavorables.
910F-966F Serie II	12,000 horas	10,000 horas	8,000 horas
960F, 970F	12,000 horas	10,000 horas	----
980F-992D	15,000 horas	12,000 horas	10,000 horas
994	60,000 horas	50,000 horas	40,000 horas
Cargadores de cadenas	Carga intermitente de camiones con material amontonado, recorrido y giros mínimos. Materiales muy sueltos y de poca densidad, con cucharón estándar. Sin cargas de choque, trabajos de relleno y de nivelación.	Excavación en banco, desgarramiento intermitente, excavación para sótanos en terreno natural de arcilla, arena, limo y grava. Cierro recorrido. Operación continua a plena aceleración del motor.	Carga de rocas de voladura, morena glacial, caliche. Materiales muy densos con cucharón estándar. Trabajo continuo en suelos rocosos. Desgarramiento de material compacto o rocoso. Fuertes cargas de choque.
933-939	8,000 horas	6,000 horas	No se recomienda
953B	10,000 horas	8,000 horas	6,000 horas
963-973	12,000 horas	10,000 horas	8,000 horas

Tabla 4.19. Consumo de combustible.

Equipo y modelo	Consumo (litros)		
	Bajo	Medio	Alto
Tractor de cadenas			
D5H Serie II	11 – 15	12 ½ – 19 ½	17 – 24
D6E	11 – 20 ½	15 – 21	23 – 28 ½
D6H Serie II	13 – 22 ½	17 ½ - 25	25 – 30 ½
D7H Serie II	19 – 23	25 – 28	32 – 36
D8N	23 – 28	28 – 38	38 – 51
D9N	32 – 44	44 – 53	52 – 69
D10N	44 – 59	59 – 76	76 – 93
Cargador de cadenas			
953B	9 ½ – 13	15 – 19	19 – 23
963	13 – 17	21 – 25	25 – 30
973	19 – 23	28 – 34	36 – 42
Cargadores de ruedas			
910F	4 – 7 ½	5 ½ – 9 ½	7 ½ – 13
938F	9 – 12 ½	13 – 17	18 – 22
950F	11 – 15	17 – 21	23 – 28
966F	17 – 21	23 – 28	32 – 38
992D	54 – 60	75 – 81	104 – 113
Motoescropa			
613C	15 – 19	21 – 25	27 ½ – 34
615C	23 – 26	30 – 36	42 – 47 ½
623E	30 – 36	40 – 46	53 – 59
627E	45 ½ – 51	64 – 70	85 – 89 ½
637E	64 – 70	87 – 93	113 ½ – 121
Retroexcavadoras			
416B	4.5 – 6.4	6.4 – 8.3	8.3 – 10.2
426B	5.3 – 7.2	7.2 – 9.1	9.1 – 11.4
Camión Articulado			
D25D	8.0	14.0	20.0
D30D	9.5	17.0	23.0
D40D	14.0	28.0	38.0
D250D	6.4	11.7	16.7
D300D	9.5	17.0	23.0
D350D	11.5	20.5	27.0
D400D	14.0	29.0	38.5

4.3. Costos.

A continuación se presentan los costos de adquisición de los equipos más utilizados en el movimiento de tierras; los cuales fueron tomados de la lista de precios de julio de 2000, de la empresa MEXTRAC, distribuidora de equipos Caterpillar en México. Estos precios corresponden a la zona del Distrito Federal, están dados en dólares y no incluyen IVA.

Equipo	Modelo	Precio
Tractores de Cadenas	D11R	1,213,801
	D10R	741,812
	D9R	539,733
	D8R	385,945
	D7R	323,488
	D6R	280,651
Cargadores de Cadenas	973	320,776
	963B	207,150
	953C	163,142
	939C	97,109
	933C	81,446
Cargadores sobre ruedas	992G	1,168,194
	990II	835,110
	988FII	517,356
	980G	379,090
	970F	298,767
	966F	279,163
	962G	227,015
	960F	219,040
	950F	186,750
	950G	192,079
	938G	155,683
	928G	120,537
914G	100,166	
Retroexcavadoras	446B	95,490
	438C	68,634
	436C	67,570
	428C	59,993
	426C	58,641
	416C	51,229
	416CES	53,853
	416CIT	64,060

4.4. Selección.

La selección de la maquinaria es uno de los pasos más importantes dentro del proyecto del relleno sanitario, ya que de esto depende que la operación sea eficiente o deficiente, ya que al realizar una selección errónea, la operación se interrumpirá por diversas ocasiones. Y como el trabajo en un relleno representa un alto castigo para las máquinas no adecuadas, es indispensable la correcta selección de los equipos. Ya que el trabajo en un relleno no puede esperar, y de esperar, la basura obtendrá otras condiciones que dificultan más el trabajo o que afectarán a la maquinaria.

Debido al alto costo que representa, se deberá tener en cuenta que por lo general no se dispone de maquinaria de reserva, por lo tanto es de vital importancia el apoyo de servicios y repuestos del distribuidor, lo cual es un factor que se debe considerar al momento de adquirir el equipo, ya que el mantenimiento preventivo y los costos de reparación pueden resultar más altos que el costo de adquisición, para evitar estos problemas se recomienda evaluar las máquinas sobre la base del ciclo de vida.

Para acarreos largos, el operador del relleno sanitario puede asignar el trabajo del material de cobertura a las motoescrepas o volquetes articulados y para las distancias más cortas a los tractores de cadenas o cargadores de cadenas.

Es importante recalcar que se debe contemplar al equipo de apoyo, el cual debe analizarse si conviene comprarlo o debido a la magnitud del relleno es mejor rentarlo.

V. EQUIPOS PARA COMPACTACIÓN.

La compactación es de gran importancia para un relleno sanitario, con esta actividad se obtienen los siguientes beneficios:

- Más desechos en menos espacio
- Reduce la cantidad de material de cobertura diaria
- Disminuye los hundimientos
- Controla proliferación de insectos y roedores
- Reduce la producción de lixiviados
- Disminuye el riesgo de incendio
- Se obtiene una superficie más firme para los camiones

Al momento de seleccionar la maquinaria se deben tomar en cuenta los siguientes factores de la máquina, ya que éstos afectan significativamente la compactación en un relleno sanitario:

- Peso
- Número de ruedas
- Distribución de peso
- Ancho del tambor
- Diseño del tambor
 - Diseño de puntas
 - Disposición de puntas
 - Número de puntas

Así como se tienen factores de la maquinaria que afectan a la compactación, también existen los factores operacionales, los cuales afectan de igual manera a la compactación, algunos de los factores operacionales son los siguientes:

- Espesor de las capas.- Se recomienda que el espesor no sea mayor de 610 mm, para obtener una densidad máxima.
- Número de pasadas.- El número de pasadas realizadas por la máquina debe ser 3 o 4.
- Pendiente en el frente.- Para la máquina de cadenas 3:1 y para el compactador de 4:1.
- Contenido de humedad.- El contenido de humedad óptimo es del 50 %.

La compactación es una actividad importante dentro del relleno sanitario y sus problemas se reflejarán de manera inmediata en los costos de la operación y afectaría a uno de los objetivos de la compactación, que es obtener una mayor vida útil del relleno.

Mejor compactación = Mayor vida útil del relleno

Como se describió en el capítulo 3.1. Fases de la operación - "Control de la compactación", para la selección adecuada de la maquinaria influyen los siguientes factores:

- Cantidad y tipo de residuos
- Cantidad y tipo de material de cobertura
- Distancia para acarrear el material de cobertura

- Condiciones ambientales
- Compactación deseada
- Diseño de relleno
- Presupuesto

En este capítulo, se describen las máquinas para el manejo de desechos y compactación, tales como los tractores de cadenas, cargadores de cadenas y compactadores de ruedas de acero que son las máquinas de mayor aplicación.

5.1. Tipos de equipos.

La elección del tipo de maquinaria a usar en la compactación, varía de acuerdo a la cantidad de residuos que se reciben en el relleno sanitario y al número de habitantes a los cuales se les otorga el servicio, como se mencionan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Máquinas vs. Población-tonelaje

Población	Toneladas diarias	Máquina(s) requerida(s)
0 – 20,000	0 – 45	D3C o 931C o 936 LFC*
20,000 – 60,000	45 – 136	D4C o 943C o 518 LFC* o 936 LFC*
60,000 – 100,000	136 – 227	D5H o D6H o 953 LFC* y 518 LFC*
100,000 – 140,000	227 – 318	D6H o D7H o 963B y 816B
140,000 – 200,000	318 – 455	D7H o D8N o 973B y 816B
200,000 – 300,000	455 – 682	D8N o D9N y 826C
300,000 o más	682	D9N y 836/Variedad de apoyo

LFC* = Compactador de Rellenos Sanitarios

Los equipos que se utilizan en el movimiento de tierras, fueron descritos en el capítulo anterior, por lo cual en este capítulo solo se mencionarán, entre ellos están los siguientes:

- ▶ Motoescrapas
- ▶ Cargador de ruedas
- ▶ Tractor de cadenas

Un factor que determina la maquinaria a utilizar dentro de la compactación, son las densidades alcanzadas, en la siguiente tabla se muestra la comparación de las densidades logradas por los equipos de compactación.

Tabla 5.2. Densidades obtenidas por los equipos de compactación

Equipo	Densidad en Kg/m ³
Compactadores de ruedas de acero	710 a 950
Tractores de cadenas	475 a 590

◆ Compactadores de rellenos sanitarios

Sus actividades principales son esparcir y compactar grandes volúmenes; con este equipo se obtienen velocidades y densidades mayores a las que normalmente se logran con lo demás equipos utilizados en la compactación. De la tabla 5.3. a la tabla 5.6. se mencionan las especificaciones de los diversos modelos de compactadores de rellenos sanitarios.

Las características de los compactadores de rellenos sanitarios son:

- *Las hojas cortadoras* están colocadas en un diseño de sardineta para obtener una mejor cobertura y densidad.
- *Tracción* en todas las ruedas.
- *Los tambores delanteros y traseros* siguen el mismo trayecto, por lo cual cortan y compactan el material dos veces en cada pasada.
- *Resguardos protectores* contribuyen a evitar que los desechos dañen los componentes de la máquina.
- *Las hojas para rellenos* esparcen la basura y el material de cobertura, éstas tienen la suficiente fortaleza para mover cualquier tipo de basuras.
- *Barras limpiadoras.* Estándar en el 826C y en el 836, y optativa en el 816B, evita que los residuos pasen sobre las ruedas cortadoras traseras y caigan dentro de la máquina.

Algunas características particulares del **816B** (ver figura 5.1.) son:

- Fácil mantenimiento, debido al núcleo del condensador movable, lo que facilita la limpieza y a la cubierta trasera perforada, que impide que la basura obstruya alguna parte del equipo.
- Frenos internos, sellados y herméticos
- Enfriamiento mejorado con ventilador de succión y sistema de Flexxaire opcional
- Un 26 % más de espacio en volumen
- Reducido el nivel de sonido de 85 a 75 dB (A)



Figura 5.1. Compactador de residuos sólidos

Características del **826C**

- Dirección & Control de la transmisión integrado, mediante el cual las velocidades son cambiadas por medio del dedo pulgar y el control de sentido de marcha es manejado por un solo dedo.
- Nivel de sonido reducido a 78 dB vs. 85 dB.

Características del **836** (Ver figura 5.2.)

- Es el compactador más grande y logra una densidad de compactación de 700 – 1100 kg/m³
- Ventilador de succión, frenos internos y barras limpiadoras
- Potencia bruta de 525 HP
- Cuenta con protectores para el tanque hidráulico y con protectores de ruedas
 - * Puntas cruciformes, con una duración de 10,000 horas



Figura 5.2. Compactador de residuos sólidos

Cabe hacer la observación, que la máquina 826C es económica para los rellenos sanitarios que reciben más de 455 ton/día de residuos, este equipo tiene la capacidad de compactación de 830 a 853 kg/m³. El 816B es el equipo más adecuado para lugares con volumen de residuos diarios de 227 a 455 toneladas.

Tabla 5.3. Especificaciones de los compactadores de rellenos sanitarios

Especificaciones	Unidad	816B	826C	836
Potencia en el volante	HP	216	315	450
Peso en orden de trabajo*	Kg	20,628	31,631	45,500
Modelo de motor		3306	3406	3408
RPM nominales del motor		2200	2100	2100
Número de cilindros		6	6	8
Cilindrada	L	10.5	14.6	18.0
Círculo de giro con la hoja	m	12.3	14.13	17.95
Capacidad del tanque de combustible	L	462	600	890
<u>Ruedas:</u>		cortadora	cortadora	cruciforme
Ancho de cada tambor	m	1.02	1.20	1.40
Diámetro – con las cuchillas	m	1.60	1.83	2.38
Diámetro – sin las cuchillas	m	1.30	1.52	2.05
Cuchillas por rueda		20	24	-
Longitud de cada cuchilla	mm	348	419	294
Altura de cada cuchilla	mm	152	152	165
Espesor de las cuchillas	mm	22	28.6	150
Número de puntas cruciformes por tambor		20	25	35
Ancho de compactación en dos pasadas	m	4.5	4.78	5.70
<u>Dimensiones principales</u>				
Altura, cabina ROPS inclusive	m	4.04	4.39	4.57
Altura, sin techo**	m	2.46	3.04	4.17
Distancia entre ejes	m	3.35	3.53	3.81
Longitud total	m	6.00	7.18	8.27
Longitud total con la hoja topadora	m	7.07	7.72	10.72
Ancho incluyendo las ruedas	m	3.33	3.80	4.30
<u>Hoja empujadora para relleno:</u>				
Ancho	m	3.65	4.47	5.18
Altura***	m	1.91	1.93	2.18

*El peso en orden de trabajo incluye refrigerante, la hoja topadora, el sistema hidráulico, la cabina ROPS, el tanque lleno de combustible y el operador.

**Altura sin techo- sin cabina ROPS, tubo de escape, respaldo del asiento y otros componentes de fácil remoción.

***Hasta la parte superior de la rejilla contra basura.

Tabla 5.4. Especificaciones de las hojas de los compactadores de rellenos sanitarios.

Característica	Unidad	816B	826C	836
Tipo	-	Esparcido de relleno	Esparcido de relleno	Esparcido de relleno
Capacidad**				
Tierra	m ³	2.90	3.74	5.00
Basura	m ³	10.48	12.75	18.90
Peso de la topadora*	kg.	2,385	3,265	3,290
<u>Dimensiones principales:</u>				
Longitud	m	7.07	8.20	9.20
Ancho	m	3.65	4.50	5.26
<u>Dimensiones de la hoja:</u>				
Ancho con cantoneras	m	3.65	4.50	5.26
Altura con vertedera	mm	1,006	1,041	1,118
Altura con rejillas para basura	mm	1,927	1,936	2,210
Profundidad máxima de excavación	mm	573	515	419
Espacio libre sobre el suelo en levantamiento total	mm	905	1049	1500

Tabla 5.5. Especificaciones de las hojas del compactador de rellenos Balderson.

Compactador de rellenos Balderson	Unidad	816B	826C	836	
<u>Modelo Balderson:</u>		BD816UL-12	BD826UL-14	BD1836UL-17	BD1836SL-17
Tipo		Hoja U	Hoja U	Hoja U	Hoja Recta
<u>Hoja:</u>					
Capacidad**					
Tierra	m ³	11.9	17.5	25.2	19.1
Basura	m ³	8.3	12.2	7.74	6.3
Longitud (ancho de corte)	mm	3,658	4,382	5,156	5,182
Altura	mm	1,219	1,295	2,210	2,184
Altura con vertedera	mm	1,857	2,032	-	-
Angulo del ala	°	25	25	25	-
Levantamiento máx. sobre el suelo	mm	889	864	864	-
Peso, instalado (sin sistema hidráulico)	kg.	1,615	2,160	3,945	3,330

Tabla 5.6. Especificaciones de las hojas doble V del compactador de rellenos Balderson.

Compactador de rellenos Balderson hoja doble V	Unidad	816B	826B
Modelo Balderson: Reemplaza la hoja S			
Hoja:			
Capacidad (Basura)	m ³	11.90	16.8
Longitud (ancho de corte)	mm	3,658	4,420
Altura con vertedera	mm	1,857	2,057
Angulo del ala	°	25	25
Peso, instalado (sin sistema hidráulico)	kg.	2,068	2,975

No se recomienda poner lastre en las ruedas de los Compactadores de rellenos sanitarios con el propósito de aumentar el peso de la máquina a fin de lograr mayores densidades de compactación. Ya que los rellenos son aplicaciones que requieren elevada fuerza de tracción en la rueda, y si se pone lastre en las ruedas se aumentará el peso de la máquina pero se reducirá su rendimiento cuando tenga que desplazarse sobre el relleno. Hay que tener en cuenta también que las ruedas no son herméticas ni a prueba de fugas.

◆ Compactador cilíndrico

Existen dos tipos de compactadores cilíndricos:

◇ Compactadores cilíndricos estáticos.

Están formados por dos o tres rodillos metálicos soportados en un bastidor, los rodillos tienen una abertura lateral sobre la cual se vacía el agua para dar más peso a la máquina. Son usados generalmente para dar la compactación final comúnmente llamada planchado, debido principalmente a la textura del rodillo, la cual deja la superficie lisa.

◇ Compactadores cilíndricos vibratorios.

Dentro de estos compactadores, existen dos tipos que son:

* Vibropactor

Este equipo consiste en dos llantas neumáticas en la parte posterior y un rodillo de acero en la parte delantera, el cual vibra al accionar el control de mando, produciendo impactos de 10 a 20 ton.

Este rodillo compacta capas de material de 0.20 a 0.40 m. de espesor dando con material adecuado una compactación hasta del 95% PROCTOR. Existen dentro de estos equipos los de rodillo de pata de cabra que tiene una protuberancia de acero de

0.20 m. de altura lo cual permite dar compactación en capas de material de mayor espesor.

* Rodillo vibratorio

Este equipo consiste en un rodillo con un motor de gasolina en la parte superior con un aditamiento para que pueda ser remolcado por otra máquina, por ejemplo, un tractor. Este rodillo cumple con las funciones del anterior de una marca muy satisfactoria, además de que su costo de adquisición es con mucho menor que el vibropactor. Algunas características de este tipo de equipo se puede observar en la tabla 5.7.

Tabla 5.7. Características de los compactadores cilíndricos

Equipo	Modelo	Motor	HP	Peso en toneladas
Compactadores pata de cabra	825G	3406C	315	31.70
	815F	3306	220	20.80
Compactadores de rodillos	CB634C	3116T	145	11.60
	CB534C	3054T	107	9.10
	CB434C	3054	80	6.50
	CB224C	2M40L	33	2.40
	CB214C	2M40L	33	2.30
Compactadores de tambor liso	CS583C	3116T	145	15.20
	CS563C	3116T	145	11.20
	CS533C	3116T	145	9.30
	CS531C	3116T	145	9.30
	CS433C	3054T	107	6.60
	CS431C	3054T	107	6.50
	CS323C	3054	80	4.50
Compactadores de pisones	CP563C	3116T	145	11.60
	CP533C	3116T	145	10.70
	CP433C	3054T	107	6.90
	CP323C	3054	80	4.70
Compactadores de neumáticos	PS200B	3054T	101	18.10
	PS150B	3054	74	12.90

♦ Compactador de rellenos con ruedas de acero

Los compactadores de rellenos son máquinas especializadas que resultan eficaces para esparcir, compactar y cubrir grandes volúmenes de residuos. Los compactadores ofrecen mayores velocidades de operación que un tractor de cadenas, además obtiene mayores densidades de compactación. Esta es la máquina recomendada si se necesita más de una máquina para esparcir y compactar y si no es necesario empujar los desperdicios más de 90 metros.

Características de los compactadores de ruedas de acero:

- ↳ La propulsión en cuatro ruedas y eje trasero oscilante aseguran maniobras estables en pendientes y una compactación más eficaz. La articulación permite giros más cerrados en espacios limitados.
- ↳ Ninguna rueda patina para obtener el par de impulsión de la rueda opuesta. Si una rueda pierde la tracción, la rueda opuesta continúa impulsando hasta que ambas están en terreno firme.
- ↳ Las ruedas del compactador están diseñadas específicamente para los rellenos sanitarios, porque tienen planchas cortadoras de acero resistente a la abrasión en una disposición diagonal alterada para proveer mejor acción cortadora. Las ruedas traseras siguen la huella de las delanteras para lograr doble cobertura y compactación uniforme en cada pasada.

Los compactadores de rellenos con un peso en orden de trabajo superior a los 20,410 kg logran los mayores niveles de compactación- de 710 a 950 kg/m³. Normalmente, para elevar al máximo la densidad de compactación, un compactador de rellenos debe operar en superficies planas para que pueda aplicar el mayor peso a los desechos, cuando trabaja en pendientes mayores de 4:1 la eficiencia de compactación disminuye por cuestiones de seguridad de trabajo. No se deben utilizar los compactadores para excavar material de cobertura, aunque puede mover el material al frente de trabajo y después esparcirlo y compactarlo.

Tabla 5.8. Características de los compactadores de ruedas de acero

Característica	Unidad	950*	936*	518*
Potencia en el volante	HP	170	135	130
Peso en orden de trabajo	Kg.	19,500	15,189	14,515
Círculo de giro con hoja	M	-	12	5.74
Con cucharón			-	-
Ancho del tambor	mm		534	775
Ancho de dos pasadas de cobertura	m		2.13	3.09

*LFC= Compactador de rellenos sanitarios

Los compactadores 518 y 936 son apropiados para operaciones de rellenos de pequeñas a medianas (136 a 227 ton/día), y proporcionan densidades de hasta 712 kg/m³. Todos los

modelos empujan los residuos a 60 m, esparciendo y haciendo de 3 a 5 pasadas para compactar.

Algunas características particulares del Compactador de ruedas **950F** son:

- Potencia bruta de 180 HP y al volante de 170 HP
- Peso operacional 19,500 kg.
- El cucharón fue proyectado para obtener mayor capacidad y con una rejilla para residuos soldada al cucharón, lo que proporciona altura extra y permite mayor visibilidad al operador.
- Configuración standard
 - Ventilador de succión para evitar esparcimiento de residuos.
 - Transmisión para aplicaciones severas, adecuadas para la compactación en el relleno.
 - Cuenta con un 10 a 17% más tracción que el cargador de ruedas 950F
- Tiene excelente acción de corte y compactación en todo tipo de residuos.
- Mejor rendimiento si el material de cobertura se encuentra seco.
- Las protecciones del radiador, de los ejes y del tren de fuerza evitan la acumulación de residuos y crean una barrera contra restos de hilos y alambres.

♦ Motoniveladoras

Los elementos que componen a una motoniveladora son:

- a) El bastidor, tiene la función de recibir el peso del motor y fijar los neumáticos a la máquina.
- b) El motor es de tipo diesel y su potencia varía de 100 HP hasta 225 HP en el volante.
- c) La caseta donde se encuentra el control de mandos.
- d) La cuchilla fabricada de acero, montada sobre un plato, el cual permite de realizar giros de 200° aproximadamente en el sentido horizontal y de 20° en el vertical.
- e) La rastra se usa para remover la capa superficial del terreno; está compuesta aproximadamente de 8 a 10 dientes de acero, los cuales están unidos a un soporte para permitir el movimiento, ya sea para bajar o subir.

Algunas de las características de las motoniveladoras se presentan en la tabla 5.9. y en la tabla 5.10. se presentan las especificaciones de diversos modelos de estas, mientras que a continuación se desglosan las partes que componen a una motoniveladora:

- *Bastidor articulado, con ruedas delanteras de radio de giro corto y diferencial optativo* que proporcionan maniobrabilidad y un radio de giro corto.
- *La motoniveladora 140G con potencia variable* proporciona una mayor potencia a marchas altas para aumentar la producción. Especialmente útil en aplicaciones de retirada de nieve.

Tabla 5.9. Características de las motoniveladoras

Modelo	Motor	HP	Peso en toneladas
16H	3406	275	24.70
14H	3306	215	18.70
160H	3306	200	14.40
160H BR	3306	200	14.40
140H	3306	185	13.50
140H BR	3306	185	13.50
135H	3116	155	11.70
135H BR	3116	155	11.70
12H	3306	140	13.00
120H	3116	140	11.30
120H BR	3116	140	11.30

5.2. Operación y rendimiento.

El rendimiento es la cantidad de obra que realiza una máquina por unidad de tiempo. El rendimiento se puede obtener mediante las siguientes formas:

- a) Por observación directa
- b) Por medio de reglas y fórmulas (teórico)
- c) Por medio de tablas proporcionadas por el fabricante

En este capítulo se describirá brevemente la forma de operar de los equipos usados en la compactación, así como los factores que afectan al rendimiento de los equipos y los rendimientos logrados de cada uno de los equipos, estos fueron proporcionados por el fabricante.

Tabla 5.10. Especificaciones de motoniveladoras

Característica	Unidad	120G	130G	12G	140G	140G AWD	14G	16G
Potencia neta al volante	HP	125	135	135	150	180	200	275
Peso de trabajo, máquina equipada*	Kg.	12,859	13,050	13,544	14,102	14,914	20,688	27,284
Modelo del motor		3304	3304	3306	3306	3306	3306	3406
Clasificación del motor RPM		2000	2000	2200	2200	2200	2000	2000
Número de cilindros		4	4	6	6	6	6	6
Cilindrada	L	7.0	7.0	10.5	10.5	10.5	10.5	14.6
Reserva de par máxima	%	30	30	31	29	27	30	30
Núm. de velocidades de avance/retroceso		6/6	6/6	6/6	6/6	6/6	8/8	8/8
Neumáticos estándar delanteros y traseros		13-24(8PR)	13-24(8PR)	13-24(10PR)	14-24(10PR)	14-24(10PR)	16-24(12PR)	18-25(12PR)
Radio mínimo de giro**	m	6.7	7.3	7.3	7.3	7.3	7.9	8.2
Módulo de resistencia de la sección vertical del bastidor delantero mín – máx.	cm ³	1399-3179	1888-4036	1888-4036	1888-4036	1888-4036	2649-5091	3746-8057
Número de zapatas de soporte del círculo		4	6	6	6	6	6	6
Sistema hidráulico: Tipo de bomba		Pistones Axiales						
Flujo máximo de la bomba	Lpm	147	197	208	208	208	250	258
Capacidad	L	68	68	76	76	150	121	114
Presión del implemente: Máxima	KPa	24,115	24,115	24,115	24,115	24,115	24,115	24,115
Mínima	KPa	2965	2965	2965	2965	2965	2965	2965
Sistema eléctrico:								
Voltaje	V	24	24	24	24	24	24	24
Amps de arranque en frío a 0°F		750	750	750	750	750	950	1250
Alternador estándar	Amp	50	50	50	50	50	50	50
<u>Dimensiones principales:</u>								
Altura(incluyendo ROPS)	m	3.10	3.10	3.10	3.12	3.12	3.34	3.52
Altura sin techo***	m	2.51	2.69	2.69	2.72	2.72	2.86	3.07
Longitud total	m	7.92	8.30	8.30	8.33	8.33	9.21	9.99
Con desgarrador y plancha de empuje	m		9.73	9.73	9.73	9.73	10.68	11.65
Distancia entre ejes	m	5.69	5.92	5.92	5.92	5.92	6.45	6.96
Base de la hoja	m	2.49	2.57	2.57	2.57	2.57	2.87	3.10
Ancho total (neumáticos delanteros)	m	2.45	2.45	2.45	2.44	2.44	2.83	3.08
Hoja estándar: Longitud	m	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	4.27	4.88
Altura	mm	610	610	610	610	610	686	790
Espesor	mm	22	22	22	22	22	25	25
Levantamiento sobre el suelo	mm	410	440	440	440	440	419	419
Capacidad del tanque de combustible	L	227	282	282	282	282	370	489

• **Compactador de residuos sólidos**

Como se mencionó en la descripción de la maquinaria, el compactador está formado por una hoja topadora, cabina de control de mandos y remolque con rodillo dentado. Para su operación, el compactador se desplaza sobre dos tambores cilíndricos dentados, con alta resistencia a la abrasión, los cuales dividen en trozos al residuo y realizan la compactación. Este equipo presenta la ventaja de que cuenta con hoja topadora, la cual permite extender al residuo en capas uniformes.

Un factor que determina el rendimiento de los compactadores es la velocidad y en este caso, tanto para avance como en retroceso, la velocidad lograda por los modelos 816C, 826C y 836 de compactadores de relleno sanitario es de 4 km/h. Otro factor que también afecta en los rendimientos de los compactadores, es el consumo de combustible, por lo cual en la tabla 5.11. se indica el consumo de combustible para cada uno de los modelos de compactadores de rellenos sanitarios y en la tabla 5.12. se mencionan los factores de carga de acuerdo a las actividades que se realizan en la operación.

Tabla 5.11. Consumo de combustible de compactadores de rellenos sanitarios.

Modelo	Bajo	Medio	Alto
	Litros	Litros	Litros
953B	9 ½ – 13	15 – 19	19 – 23
963	13 – 17	21 – 25	25 – 30
973	19 – 23	28 – 34	36 – 42

Tabla 5.12. Guía del factor de carga vs. Actividades

Factor de carga	Actividades
Alto	Excavación continua y carga desde el banco. Desmonte de tierras.
Medio	Carga desde el banco o desde la pila con periodos en vacío. Carga y acarreo
Bajo	Considerable marcha en vacío en todo trabajo.

• **Motoniveladoras**

Las motoniveladoras operan dentro de un relleno sanitario para nivelar y dar un acabo final al sitio, en la tabla 5.13. se mencionan las velocidades alcanzadas por las motoniveladoras, mientras que en la tabla 5.14. se menciona el consumo de combustible para dicho equipo y en la tabla 5.15. se describen los factores de carga, tomando en cuenta las actividades realizadas.

Tabla 5. 13. Velocidades de motoniveladoras

Característica	Unidad	120G	130G	12G	140G	140G AWD	14G	16G
Velocidad máx. de avance	km/h	40.90	39.40	39.40	41.00	41.00	43.00	43.60
Velocidad máx. de retroceso	km/h	38.30	36.90	39.40	41.00	41.00	50.10	43.60

Tabla 5.14. Consumo de combustible en las motoniveladoras.

Modelo	Bajo	Medio	Alto
	Litros	Litros	Litros
120G	9 ½ – 13	15 – 17	19 – 23
130G	11 – 15	15 – 19	21 – 25
12G	11 – 15	15 – 19	23 – 26
140G	13 – 15	19 – 23	25 – 28
14G	15 – 19	21 – 26	28 – 32
16G	19 – 25	26 – 32	38 – 44

Tabla 5.15. Guía del factor de carga vs. Actividades.

Factor de carga	Actividades
Alto	Zanjas, esparcimiento de relleno y de material para base, desgarramiento, conservación intensiva de caminos, despejo de nieve.
Medio	Conservación mediana de caminos, trabajos de mezcla en los caminos, escarificación, despejo de nieve.
Bajo	Nivelación de terminado, mantenimiento ligero, viaje en caminos.

• Compactador cilíndrico

Como ya se mencionó, existen varios tipos de compactadores cilíndricos y a su vez de rodillos de compactación, los cuales tienen las siguientes funciones:

1. Los rodillos de compactación lisos se usan para la compactación de la capa final del relleno.
2. Los rodillos de compactación pata de cabra son usados cuando el material de cubierta es de tierra arcillosa, así como para compactar el residuo sólido.
3. Los rodillos de malla se emplean cuando el material es de tierras ligeras y arenosas

La forma de operación de los rodillos de compactación es realizada de la siguiente manera:

- a) El rodillo se debe enganchar al tractor o elemento de tracción.

b) Se debe avanzar con la velocidad deseada, considerando que el grado de compactación depende del número de pasadas así como de la velocidad con que se hagan.

Al igual que todo el equipo, los rodillos de compactación requieren de mantenimiento correctivo y preventivo, para así lograr los rendimientos deseados; por ejemplo en el caso de los rodillos estáticos se requiere de un engrasado diario y un chequeo semanal de sus partes móviles.

En la tabla 5.16. se presentan los periodos de posesión de los equipos utilizados en la compactación, de acuerdo a la aplicación y a las condiciones de operación, están divididos de acuerdo al material en el que se trabajará, dicha clasificación se describió en la introducción de movimiento de tierras, específicamente dentro de las terracerías.

Tabla 5.16. Periodos de posesión basado en la aplicación y condiciones de operación

Máquina	ZONA A	ZONA B	ZONA C
Motoniveladoras	Trabajos ligeros de conservación de caminos y de acabado. Trabajos de mezcla en la planta y en la carretera. Limpieza ligera de nieve. Gran cantidad de viajes. 20,000 horas	Conservación de caminos de acarreo. Zanjas y construcción de carreteras, esparcimiento de relleno suelto. Nivelación y conservación de caminos en el verano y despejo pesado y mediano de nieve en el invierno. 15,000 horas	Conservación de caminos apisonados y con piedras incrustadas. Esparcimiento de relleno pesado. Uso de desgarrador-escarificador en asfalto u hormigón. Factor alto de carga continua. Cargas de alto impacto. 12,000 horas
Tractores de ruedas y compactadores	Trabajos ligeros diversos. Apilamiento. Remolque de compactadores. Empuje de relleno suelto con la hoja. Sin cargas de choque. 15,000 horas	Trabajo con la hoja y empuje de motoescrapas en la carga de arcilla, arena, limo, grava suelta. Despejo en torno de la pala mecánica. 12,000 horas	Trabajo continuo en el empuje de rocas con la hoja. Empuje de motoescrapas en zonas pedregosas y rocosas. Trabajo de compactación en rellenos sanitarios. 8,000 horas

5.3. Costos.

Los costos de adquisición de los equipos más utilizados en la compactación, fueron tomados de la lista de Precios para Costos Unitarios de julio de 2000, la cual fue proporcionada por la empresa MEXTRAC, distribuidora de equipos Caterpillar en México. Estos precios corresponden a la zona del Distrito Federal, están dados en dólares y no incluyen IVA.

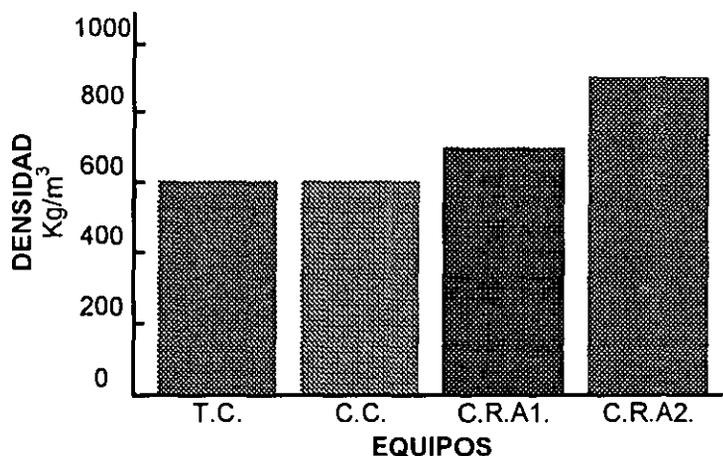
Equipo	Modelo	Costo
Compactadores de rellenos sanitarios	826G	445,570
	816F	278,776
Compactadores pata de cabra	825G	424,960
	815F	275,461
Compactadores de rodillos	CB634C	131,180
	CB534C	101,060
	CB434C	87,741
	CB224C	37,119
	CB214C	32,124
Compactadores de tambor liso	CS583C	133,801
	CS563C	107,139
	CS533C	85,201
	CS531C	77,364
	CS433C	78,303
	CS431C	68,424
	CS323C	60,309
Compactadores de pisones	CP563C	118,714
	CP533C	91,465
	CP433C	86,869
	CP323C	68,248
Compactadores de neumáticos	PS200B	66,470
	PS150B	57,283
Motoniveladoras	16H	484,151
	14H	318,992
	160H	228,940
	160H BR	225,037
	140H	210,160
	140H BR	206,917
	135H	178,279
	135H BR	178,334
	12H	191,145
	120H	166,572
	120H BRs	166,842

5.4. Selección

De acuerdo a la descripción realizada de cada uno de los equipos utilizados para la compactación, el equipo que ofrece los mejores resultados para esta actividad, es el compactador de residuos sólidos. Sin embargo, es necesario notar el alto precio de adquisición que se tiene comparado con los demás equipos, por lo cual este gasto solo se justificaría en caso de que el relleno sanitario fuera de dimensiones grandes o si el relleno requiere de densidades altas, para lograr alargar la vida útil del relleno sanitario.

Por otra parte, si se toma en cuenta las densidades que se obtienen con los diversos equipos (del mismo peso) utilizados en la compactación, da como resultado que con el tractor y cargador de cadenas se obtienen resultados muy satisfactorios. Esto puede observarse en la gráfica 5.1.

Gráfica 5.1. Densidades obtenidas por los equipos de compactación.



Donde:

TC= Tractor de Cadenas

CC= Cargador de Cadenas

CRA1= Compactador de Ruedas de Acero (22,880 Kg. ó menos)

CRA2= Compactador de Ruedas de Acero (de más de 22,880 Kg.)

Otros factores no afectan en gran medida, según se observa el contenido de la tabla 5.17., en la cual se describe el tipo de mantenimiento necesario, ya que los cambios de filtros y aceites son muy similares en cada una de las máquinas.

Tabla 5.17. Mantenimiento preventivo en la maquinaria

Maquinaria	Cambio de filtros	Cambio de aceite	Engrasado	Chequeo de partes móviles
Cargador en carriles	Cada 250 horas	Cada 250 horas	Diario	Semanal
Empujador en carriles	Cada 280 horas	Cada 280 horas	Diario	Semanal
Rodillos estáticos			Diario	Semanal
Motoescrepas	Cada 250 horas	Cada 250 horas	Diario	Semanal
Motoconformadoras	Cada 300 horas	Cada 300 horas	Diario	Semanal

VI. ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS MÁS ADECUADOS AL MEDIO NACIONAL.

6.1. Análisis Técnico.

Un factor de vital importancia dentro de la selección del equipo es la posibilidad de que la maquinaria realice funciones múltiples, para lo cual se requiere considerar la función y capacidad de cada uno de los equipos, sin olvidar las condiciones reales a las que se encontrará.

Dentro de los equipos más utilizados en el país, se encuentra el tractor de cadenas, el compactador de residuos sólidos, el cargador de cadenas y tractores de ruedas. De los cuales se presenta a continuación un análisis técnico.

- **Tractores de cadenas**

Los tractores de cadenas son muy útiles para realizar la preparación del sitio, suministrar la cubierta diaria y final, construcción de caminos, así como para trabajos de movimientos de tierras. Generalmente, este equipo es el de mayor uso dentro de los rellenos sanitarios en el país, por lo cual también se destina a la compactación de los residuos sólidos, en estas condiciones no es muy eficiente debido principalmente a la baja presión ejercida sobre el suelo. Pero para rellenos sanitarios pequeños (menores a 80 toneladas por día) es el equipo que se recomienda.

Para lograr mejores rendimientos es necesario que los tractores de cadenas estén equipados con hojas topadoras y mantenerlo empujando la mayor cantidad posible de material o residuos sólidos y como la densidad de los residuos sólidos es aproximadamente 3 veces menor que la densidad del suelo, se puede incrementar la capacidad de la hoja, lo cual se logra aumentando la altura, colocándose una malla de acero. También se debe procurar que el trabajo se realice cuesta abajo, ya que con esto se logran mayores eficiencias que si trabaja cuesta arriba o en terreno plano.

Para extender los residuos sólidos o materiales, la hoja se debe mantener elevada (posición original), para que de esta forma la tierra se pueda deslizar debajo de la hoja y la capa quede pareja para que el tractor pueda caminar sin problemas. Para este equipo es conveniente variar el recorrido usado para distribuir la basura, ya que de esta forma se conserva la rasante y se evitan los camellones altos.

Por ejemplo en una máquina de 140 HP, se tiene un rendimiento de 50 toneladas de residuos sólidos por hora, en caso de aplicarse en superficies planas. Mientras que si se aplican en superficies inclinadas (pendiente del 30 %) el rendimiento disminuye a 30 toneladas por hora.

- **Compactadores**

Estos equipos tiene como función principal el extender y compactar los residuos sólidos, así un equipo de 150 HP tiene un rendimiento de 75 toneladas por hora en superficies planas y de 50 toneladas en superficies con una pendiente de aproximadamente 30 %.

- **Cargador de neumáticos**

Como ya se mencionó en el punto 4.1. "tipos de equipos", tiene como función principal el excavar, cargar y transportar a distancias no mayores de 50 a 60 m. Bajo estas condiciones una máquina de 130 HP con una capacidad en su cucharón de 2 m³ es capaz de excavar y cargar un camión de volteo a una velocidad de 160 m³/hora de trabajo.

- **Cargadores de cadenas**

Este equipo realiza funciones muy similares a las del cargador de neumáticos, con la ventaja de que logran mayores eficiencias en los suelos macizos o duros y tiene la desventaja de que si distancia de transporte no debe ser mayor a 30 m. En algunos casos dentro de los tiraderos controlados, son utilizado para el manejo de los residuos sólidos y compactación. En ocasiones emergentes se pueden utilizar para conformar y realizar la nivelación del material de cubierta. Este equipo es muy utilizado en rellenos donde la disponibilidad de equipo es limitada.

Dentro de los cargadores la cantidad recogida de material esta relacionada con las características del material, la pendiente del banco, la superficie sobre la cual se transporta el material y las habilidades del operador.

Con los valores obtenidos (ver tabla 6.1.), se puede calcular el número de equipos a utilizarse dentro de la operación del relleno sanitario (tabla 6.2.), para lo cual se utiliza el procedimiento que a continuación se describe:

Datos requeridos:

Re= Rendimiento por hora del equipo

HP= Potencia del equipo

CDRS= Cantidad a disponer de los residuos sólidos por día

H= Horas de operación del relleno sanitario

Por los datos se procede a calcular la relación rendimiento-potencia (R / HP)

$$\frac{R}{P} = \frac{Re}{HP}$$

Por lo cual la tasa de disposición (T) se calcula

$$T = \frac{CDRS}{H}$$

Por lo tanto la potencia calculada (Pc) del equipo será:

$$P_c = T \times \frac{R}{P}$$

Tabla 6.1. Resumen de rendimientos de equipos

Tipo de equipo	Condiciones	Re (Ton/hr)	HP (HP)
Tractor de cadenas	Plano	50	140
	Pendiente del 30 %	30	
Compactador de residuos	Plano	75	150
	Pendiente del 30 %	50	

Tabla 6.2. Potencia calcula del equipo

Re	HP	R/P	CDRS	H	T	Pc
50	140	2.8	100	8	12.5	35
30	140	4.7	100	8	12.5	58
75	150	2	100	8	12.5	25
50	150	3	100	8	12.5	38

Como puede observarse la potencia teórica requerida es muy pequeña. Sin embargo, para precisar en términos de rendimientos las necesidades de equipo, se puede utilizar las cifras reportadas por Caterpillar, por ejemplo, para un tractor de orugas de 65 HP: rendimiento con basura: 20 m³/hr y rendimiento con tierra: 9 m³/hr.

Considerando un volumen de basura descargada en el relleno de 50 ton/día y asignándole a un peso volumétrico de 0.40 ton/m³, obtenemos 125 m³/día, mientras que para la cantidad de cubierta será, (50 Ton/0.85 ton/m³) x 0.20 = 11.8 m³/día, esto considerando un espesor de cubierta de 0.2 cm.

La relación de rendimiento será de:

$$\left(\frac{125}{20} + \frac{11.8}{9} \right) \times (1/8) = 0.95 \approx \text{Por lo cual se requiere de un equipo de 65 HP}$$

Siguiendo estos mismos pasos se puede obtener la potencia para cada uno de los equipos mencionados.

6.2. Análisis Económico.

Este análisis se realiza mediante la obtención de los costos hora – máquina de los diferentes equipos utilizados dentro del relleno sanitario (Ver hojas anexas), para lo cual a continuación se definen algunos términos usados en dicho cálculo.

- ↳ *Valor de adquisición.* Es el precio promedio actual de la maquinaria, este precio no incluye el valor de las llantas, ni de otros accesorios de desgaste rápido, ya que estos son incluidos en otro punto del análisis del costo hora – máquina.
- ↳ *Valor de rescate.* Es el valor comercial que tiene la maquinaria al final de su vida económica. Toda maquinaria tiene un valor de rescate, sin importar las condiciones en que se encuentren, dicho valor es un porcentaje del valor de adquisición, el cual puede variar entre 5 y 20 %, generalmente se emplea un 10 %.
- ↳ *Vida económica.* Es el tiempo en el cual la maquinaria puede operar y producir trabajo, con el mantenimiento previsto por el fabricante. El cálculo de la vida económica se realiza mediante estadísticas, siendo las más aceptadas; las estadísticas de los Estados Unidos, debido a que generalmente las maquinas proceden de este país. Sin embargo, no se debe olvidar que existen algunos factores económicos, sociales y físicos que pueden influir en la eficiencia de la máquina.

El costo horario por equipo se deriva del uso adecuado de las máquinas seleccionadas y necesarias para cierta actividad, el costo horario esta integrado por tres cargos:

- **Cargos fijos.** Estos son causados por los siguientes cargos:
 - *Cargo por Depreciación.* Es el que resulta por la disminución del valor original del equipo, por consecuencia del uso durante el tiempo de vida económica. Este cargo se determina por el método de depreciación lineal, que considera que la maquinaria se deprecia una misma cantidad por unidad de tiempo y se calcula con la siguiente formula:

$$D = \frac{Va - Vr}{Ve}$$

Donde:

- D = Depreciación por hora efectiva de trabajo
 - Va = Valor inicial de la máquina
 - Vr = Valor de rescate de la máquina
 - Ve = Vida económica de la máquina expresada en horas de trabajo
- **Cargo por Inversión.** Es el cargo equivalente a los intereses del capital invertido en la maquinaria. Este cargo es derivado por la compra de la maquinaria, para lo cual se requiere de fondos en los bancos, pagando por ello con intereses; o si se dispone de fondos suficientes de capital propio, se hace la compra esperando que esta proporcione por lo menos los intereses del capital en valores de renta fija.

El cargo por inversión, se determina por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{Va + Vr}{2Ha} i$$

Donde:

- I = Cargo por Inversión por hora efectiva de trabajo
- Va = Valor inicial de la máquina
- Vr = Valor de rescate de la máquina
- Ha = Número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año
- i = Tasa promedio mínima de interés anual en vigor en valores de renta fija
- $\frac{Va + Vr}{2}$ = Valor medio de la máquina durante su vida económica

- Cargo por Seguros. Este cargo es el necesario para cubrir los riesgos a la que se encuentra sujeta la maquinaria durante su vida. Este cargo existe cuando la maquinaria se asegura y cuando la empresa decide hacer frente a sus recursos y a los riesgos de la máquina (autoaseguramiento).

Este cargo se representa por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{Va + Vr}{2Ha} s$$

Donde:

- S = Cargo por seguros por hora efectiva de trabajo
 - Va = Valor inicial de la máquina
 - Vr = Valor de rescate de la máquina
 - Ha = Número de horas efectivas que el equipo trabaja durante el año
 - s = Prima anual promedio expresada en por ciento del valor de la máquina
 - $\frac{Va + Vr}{2}$ = Valor medio de la máquina durante su vida económica
- Cargo por Mantenimiento. Es el cargo originado para conservar la maquinaria en perfectas condiciones y lograr que trabaje con rendimiento normal durante su vida económica. Este cargo incluye la mano de obra y repuestos de la maquinaria. Este cargo se representa por:

$$M = QD$$

Donde:

- M = Cargo por mantenimiento mayor por hora efectiva de trabajo
- Q = Coeficiente de mantenimiento
- D = Cargo por depreciación de la máquina

- El coeficiente de mantenimiento se obtiene en base a experiencias estadísticas y es diferente para cada maquinaria, de acuerdo a las condiciones del trabajo. Por considerar de importancia en tabla 6.3. se incluyen los valores del coeficiente "Q" para los diferentes tipos de maquinaria.

Tabla 6.3. Valores de "Q"

Q	Tipos de equipo
1.0 (100%)	Aplanadoras, desgarradores, escarificadores, motoescrepas, grúas de patas fijas, retroexcavadoras, rodillos "pata de cabra", tractores con o sin cuchillas.
0.8 (80%)	Camiones de volteo, normales y fuera de carretera, motoconformadoras, vagonetas de volteo, vibradores de concreto, zanjadoras.
0.6 (60%)	Camiones (exceptuando los de volteo), compactadores de rodillos, excepto "pata de cabra".
0.4 (40%)	Herramienta eléctrica de mano, herramienta neumática, mezcladoras pequeñas de concreto.

- **Cargos de consumo.** Estos son los que se derivan de los gastos que resulten por uso de combustible o alguna fuente de energía.

- * **Combustible: Diesel o gasolina.** Este consumo es proporcional a la potencia desarrollada por la máquina, esta al operar en condiciones normales, solo necesita de un porcentaje de su potencia nominal total, lo cual se expresa aplicando a la potencia nominal máxima un coeficiente llamado factor de operación, este varía entre un 50% y 90% con respecto a la potencia nominal máxima. En las máquinas de combustión interna factores como la altura respecto al nivel del mar y variaciones de temperatura, disminuyen la potencia del motor, la cual se incluye en el factor de operación.

Este cargo es derivado por los consumos de gasolina o diesel para que los motores produzcan la energía que utilizan para desarrollar el trabajo. La forma de obtenerse es mediante la siguiente formula:

$$E = eP_c$$

Donde:

E = Cargo por consumo de combustibles, por hora efectiva de trabajo.

e = Representa la cantidad de combustible necesaria, por hora efectiva de trabajo. Se determina en función de la potencia del motor, del factor de operación de la máquina y de un coeficiente determinado por la experiencia, que varía de acuerdo con el combustible que se utilice.

P_c = Representa el precio de combustible que consume la máquina.

Para motores de combustión interna, se han determinado los siguientes consumos promedios de combustible, por cada hora de operación y referidos al nivel del mar:

$$\begin{aligned} \text{Motores de gasolina} &= 0.24 \text{ litros} \times \text{HP} \times \text{op/hora} \\ \text{Motores de diesel} &= 0.20 \text{ litros} \times \text{HP} \times \text{op/hora} \end{aligned}$$

Donde:

Op/hora es el factor de operación.

HP es la potencia efectiva desarrollada como promedio diario.

- * Otras fuentes de energía: electricidad. Este costo es el derivado por los consumos de energía eléctrica y representa el costo que tenga la energía consumida en la unidad de tiempo considerada.

El consumo de energía depende de la eficiencia del motor para convertir la energía eléctrica que recibe en la energía mecánica que proporciona. La ecuación que determina el costo de estos consumos es:

$$E_c = NE_m P_e$$

Donde:

E_c = Cargo de energía consumida, por hora efectiva de trabajo.

N = Es la eficiencia del motor eléctrico.

E_m = Es la energía mecánica utilizable

P_e = Es el precio de la unidad de energía eléctrica suministrada.

Los factores que determinan la eficiencia de un motor eléctrico son muy variados, pero en forma general podemos mencionar a los siguientes:

1. El porcentaje de potencia utilizada respecto a la potencia nominal
2. El diseño mecánico y electromagnético
3. La altitud del lugar de operación
4. El tipo de motor
5. La edad de la máquina

Los fabricantes de motores eléctricos proporcionan la potencia nominal en caballos de potencia (HP), mientras que la energía eléctrica se vende en kilowatt-hora (KWH). Para obtener el consumo horario de energía de un motor eléctrico en una hora de operación, se utiliza la fórmula:

$$E_c = 0.653 \times HP \times P_e$$

Donde:

E_c = Es la energía consumida KWH.

HP = Es la potencia nominal en HP.

P_m = Es el precio de KWH puesto en la máquina.

- * Lubricantes, filtros y grasa. Este costo es el derivado por los consumos y cambios periódicos de aceites al cárter, la transmisión, los mandos finales, controles hidráulicos, filtros y grasa; y debe incluir todas las erogaciones necesarias para suministrarlos al pie de la máquina.

Este cargo se calcula de la siguiente manera:

$$a = \left(\frac{c}{c_a} \pm F_a \times Pop \right) \times I$$

Donde:

a = Costo de operación por cambio de aceite

c = Capacidad del cárter

c_a = Cambios de aceites

F_a = Factor de cambio del aceite, para motores de diesel 0.0035 y 0.0030 para motores de gasolina

Pop = Potencia de operación

I = Costo de lubricantes

Los costos horarios de aceites lubricantes y grasa se pueden estimar con gran exactitud tomando los consumos indicados en las tablas proporcionadas por los fabricantes, algunas de ellas se presentan en el punto 4.2. y 5.2. de este mismo trabajo.

- * Neumáticos. La vida económica de las llantas varía de acuerdo a las condiciones de uso, del cuidado y mantenimiento, de las cargas a que operen y de las superficies de rodamiento de los caminos en que trabajen.

Para cuando las llantas trabajen en condiciones muy severas y adversas, resulta practico expresar su vida económica en horas de trabajo. Este cargo está representado por:

$$Ll = \frac{V_{ll}}{H_v}$$

Donde:

Ll = Es el cargo por consumo de llantas, por hora efectiva de trabajo.

V_{ll} = Representa el valor de adquisición de las llantas, considerando el precio para llantas nuevas de las características indicadas por el fabricante de la máquina.

H_v = Representa las horas de vida económica de las llantas tomando en cuenta las condiciones de trabajo impuestas a estas. Se determina considerando los factores

siguientes: velocidades máximas de trabajo, condiciones relativas al camino en que transiten, tales como pendientes, curvaturas, rodamiento; posición en la máquina, cargas que soporten y climas en que se operen.

En base a estudio se ha establecido que la vida económica de una llanta es del orden de 80,000 kilómetros o 5,000 horas de operación normal. Para determinar la vida económica real de las llantas, se afecta el valor proporcionado por el fabricante con factores que están en función de las condiciones que se presentan en las obras, tal como se muestra en la tabla 6.4.

En la tabla 6.5. se presentan algunos cálculos de vida económica de las llantas de diversos equipos utilizado en la construcción, presentando en el renglón superior los factores para condiciones normales medias y en el renglón inferior los valores correspondientes a condiciones adversas. Los valores finales de las vidas económicas se obtuvieron multiplicando la vida óptima de las llantas, por el factor total resultante de multiplicar entre sí a todos los factores individuales, que se presentan en la tabla 6.4.

- * Elementos de desgaste especial. En este cargo se incluyen los consumos por piezas sujetas a fuerzas abrasivas, a variaciones de presión y cuya vida es menor al resto del equipo. Se calcula mediante la expresión:

$$E = \frac{\text{Costo}}{\text{Duración}}$$

Donde:

E = Costo por piezas de desgaste rápido, por hora de operación del equipo.

Costo = Valor de adquisición de las piezas de desgaste especial

Duración = Horas de vida económica de las piezas de desgaste especial

Para tener en cuenta este cargo se deben considerar las piezas de desgaste rápido, por ejemplo: cuchillas de la hoja de un tractor que continuamente estuviera trabajando en roca o casquillos de un desgarrador en condiciones semejantes. Otros elementos de desgaste puede ser: mangueras, brocas, acero de barrenación para equipos de perforación, bandas de hule, siempre que estos elementos no hayan sido considerados en el precio unitario como consumo de materiales o mantenimiento del propio equipo.

Tabla 6.4. Factores para determinar la vida económica de las llantas

Condiciones	Factor
1.-DE MANTENIMIENTO Excelente Medias Deficientes	1.00 0.90 0.70
2.-VELOCIDAD DE TRANSITO (MÁXIMAS) 16 Km por hora 32 Km por hora 48 km por hora	1.00 0.80 0.60
3.-CONDICIONES DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO Tierra suave sin roca Tierra suave incluyendo roca Camiones bien conservados con superficie de grava compactada Camiones mal conservados con superficies de grava compactada	1.00 0.90 0.80 0.70
4.- POSICION DE LAS LLANTAS En los ejes traseros En los ejes delanteros En el eje de tracción: <ul style="list-style-type: none"> - Vehículos de descarga trasera - Vehículos de descarga de fondo - Motoescrepas y similares 	1.00 0.90 0.80 0.70 0.60
5.- CARGAS DE OPERACIÓN Dentro del límite especificado por los fabricantes Con 20% de sobrecarga Con 40% de sobrecarga	1.00 0.80 0.50
6.- DENSIDAD Y GRADO DE CURVAS EN EL CAMINO No existen Condiciones medias Condiciones severas	1.00 0.90 0.80
7.- PENDIENTES DE LOS CAMINOS (aplicable a las llantas del eje tractor) A nivel 5 % como máximo 10% como máximo 15% como máximo	1.00 0.90 0.80 0.70
8.- OTRAS CONDICIONES DIVERSAS Inexistentes Medias Adversas	1.00 0.90 0.80

Tabla 6.5. Factores de conservación de las llantas del equipo de construcción y vida económica de las llantas

CONDICIÓN	1	2	3	4	5	6-7	8	FACTOR TOTAL	VIDA ECONOMICA
Camiones de carretera	1.0 0.9	0.90 0.90	0.90 0.80	0.95 0.95	1.00 1.00	0.90 0.70	1.00 0.90	69.255 38.783	3463 1940
Camiones pesados de terracerías	1.0 0.9	0.90 0.90	0.80 0.70	0.95 0.95	1.00 1.00	0.85 0.70	1.00 0.90	58.140 33.935	2900 1697
Escrepas y motoescrepas	1.0 0.9	1.00 1.00	0.80 0.70	0.75 0.75	1.00 1.00	0.85 0.70	1.00 1.00	51.000 33.075	2550 1650
Motoconformadoras	1.0 0.9	1.00 1.00	0.80 0.80	0.90 0.90	1.00 1.00	0.85 0.70	1.00 1.00	61.200 45.360	3060 2270
Palas cargadoras	1.0 0.9	1.00 1.00	0.80 0.80	0.90 0.90	1.00 1.00	0.85 0.85	1.00 0.90	61.200 49.572	3060 2480
Tractores	1.0 0.9	1.00 1.00	0.80 0.80	0.80 0.80	1.00 1.00	0.85 0.70	1.00 0.90	54.400 36.288	2720 1815
Apisonadoras	1.0 0.9	1.00 1.00	0.80 0.80	1.00 1.00	1.00 1.00	0.85 0.85	1.00 1.00	68.000 61.200	3400 3060

□ Cargos por operación

Este es derivado de los costos que se hacen por el pago de salarios de personal destinado a la operación de la máquina, por hora efectiva.

Este cargo esta representado por:

$$O = \frac{S_t}{H}$$

Donde:

O = Cargo por operación del equipo por hora efectiva de trabajo

S_t = Representa los salarios por turno del personal necesario para operar la máquina. Los salarios deberán comprender: salario base, cuotas patronales por seguro social, impuesto sobre remuneraciones pagadas, días festivos, vacaciones y aguinaldo, o sea, el salario real del personal.

H = Representa las horas efectivas de trabajo que se consideren para la máquina, dentro del turno. El cual se calcula bajo la siguiente formula.

$$H = 8 \text{ horas} \times \text{Factor de rendimiento}$$

Donde el factor de rendimiento depende de las condiciones y tipo de la obra, así como del tipo de administración de la empresa propietaria del equipo, estos factores se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6.6. Factores de rendimiento.

Condiciones de la obra	Coeficiente de administración o gestión			
	Excelente	Buena	Regular	Mala
Excelente	0.84	0.81	0.76	0.70
Buena	0.78	0.75	0.71	0.65
Regular	0.72	0.69	0.65	0.60
Mala	0.63	0.61	0.57	0.52

DATOS GENERALES		TRACTOR DE CADENAS - D7 (3306)	
Precio de adquisición:\$		Fecha de cotización:	Jul-00
Equipo adicional:		Motor: DIESEL	230 HP
Valor inicial (V_a):	\$ 3,234,880.00	Factor de operación (Fop):	0.69
Valor de rescate (V_r):	\$ 323,488.00	Potencia de operación (Pop):	158.7 HP
Tasa de interes (i):	18%	Coefficiente de almacenamiento (K):	0.3
Prima de seguros (s):	3%	Factor de mantenimiento (Q):	1
Vida económica (V_e):	5 años	Costo de la gasolina (g):	0
Horas por año (H_a):	2000	Costo del diesel (d):	5
Costo lubricantes (l):	\$ 25.00	Capacidad carter (c):	32 lts.
		Cambios de aceite (a):	280 hrs.
I.- CARGOS FIJOS			
a) Depreciación:	$D = \frac{V_a - V_r}{V_e} =$	\$	291.14
b) Inversión:	$I = \frac{V_a + V_r}{2H_a} i =$	\$	160.13
c) Seguros:	$S = \frac{V_a + V_r}{2H_a} s =$	\$	26.69
d) Almacenaje*:	$A = KD =$	\$	87.34
*Para legislación de obra pública este cálculo no se realiza.			
e) Mantenimiento:	$M = QD =$	\$	291.14
SUMA DE CARGOS FIJOS POR HORA			\$ 856.43
II.- COSTO DE OPERACIÓN-CONSUMO			
a) Combustible:	$E = e \times Pc =$		
Diesel:	$E = 0.20 \times Pop \times d =$	\$	158.70
Gasolina:	$E = 0.24 \times Pop \times g =$	\$	0.00
Electricidad			
b) Aceite			
Diesel:	$L = (c/a \pm 0.0035 \times Pop) \times l =$	\$	16.74
Gasolina:	$L = (c/a \pm 0.0030 \times Pop) \times l =$	\$	0.00
c) Neumáticos:	$ll = \frac{\text{Costo}}{\text{Duración}} =$	\$	0.00
d) Elementos de desgaste especial:	$E = \frac{\text{Costo}}{\text{Duración}} =$	\$	0.00
SUMA DE CONSUMOS POR HORA			\$ 175.44
III.- OPERACIÓN			
Salario operador (S_o):		\$	166.04
Horas/Turno-promedio:	$H = \frac{8}{Fop} =$	\$	11.59
Operación (O):	$O = \frac{S_o}{H} =$	\$	14.32
SUMA DE OPERACIÓN POR HORA			\$ 14.32
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD)			= 1,046.20

DATOS GENERALES		COMPACTADOR DE RELLENOS SANITARIOS 816 F	
Precio de adquisición:\$		Fecha de cotización:	Jul-00
Equipo adicional:		Motor: DIESEL	220 HP
Valor inicial (V_a):\$	2,787,760.00	Factor de operación (Fop):	0.69
Valor de rescate (V_r):	278,776.00	Potencia de operación (Pop):	151.8 HP
Tasa de interes (i):	18%	Coefficiente de almacenamiento (K):	0.3
Prima de seguros (s):	3%	Factor de mantenimiento (Q):	1
Vida económica (V_e):	5 años	Costo de la gasolina (g):\$	0
Horas por año (H_a):	2000	Costo del diesel (d):\$	5
Costo lubricantes (l):	25	Capacidad carter (c):	30 lts.
		Cambios de aceite (a):	250 hrs.
I.- CARGOS FIJOS			
a) Depreciación:	$D = \frac{V_a - V_r}{V_e} =$		\$ 250.90
b) Inversión:	$I = \frac{V_a + V_r}{2H_a} i =$		\$ 137.99
c) Seguros:	$S = \frac{V_a + V_r}{2H_a} s =$		\$ 23.00
d) Almacenaje*:	$A = KD =$		\$ 75.27
*Para legislación de obra pública este cálculo no se realiza.			
e) Mantenimiento:	$M = QD =$		\$ 250.90
SUMA DE CARGOS FIJOS POR HORA			\$ 738.06
II.- COSTO DE OPERACIÓN-CONSUMO			
a) Combustible:	$E = e \times Pc =$		
Diesel:	$E = 0.20 \times Pop \times d =$		\$ 151.80
Gasolina:	$E = 0.24 \times Pop \times g =$		\$ 0.00
Electricidad			
b) Aceite			
Diesel:	$L = (c/a \pm 0.0035 \times Pop) \times l =$		\$ 16.28
Gasolina:	$L = (c/a \pm 0.0030 \times Pop) \times l =$		\$ 0.00
c) Neumáticos:	$ll = \frac{\text{Costo}}{\text{Duración}} =$		\$ 0.00
d) Elementos de desgaste especial:	$E = \frac{\text{Costo}}{\text{Duración}} =$		\$ 0.00
SUMA DE CONSUMOS POR HORA			\$ 168.08
III.- OPERACIÓN			
Salario operador (S_o):			\$ 166.04
Horas/Turno-promedio:	$H = \frac{8}{Fop} =$		\$ 11.59
Operación (O):	$O = \frac{S_o}{H} =$		\$ 14.32
SUMA DE OPERACIÓN POR HORA			\$ 14.32
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD)			= 920.46

DATOS GENERALES		CARGADOR DE CADENAS - 973 (3306)	
Precio de adquisición:\$		Fecha de cotización:	Jul-00
Equipo adicional:		Motor: DIESEL	210 HP
Valor inicial (Va):\$	3,207,760.00	Factor de operación (Fop):	0.69
Valor de rescate (Vr):	320,776.00	Potencia de operación (Pop):	144.9 HP
Tasa de interes (i):	18%	Coefficiente de almacenamiento (K):	0.3
Prima de seguros (s):	3%	Factor de mantenimiento (Q):	1
Vida económica (Ve):	5 años	Costo de la gasolina (g):\$	0
Horas por año (Ha):	2000	Costo del diesel (d):\$	5
Costo lubricantes (l):	25	Capacidad carter (c):	39 lts.
		Cambios de aceite (a):	250 hrs.
I.- CARGOS FIJOS			
a) Depreciación:	$D = \frac{Va - Vr}{Ve} =$		\$ 288.70
b) Inversión:	$I = \frac{Va + Vr}{2Ha} i =$		\$ 158.78
c) Seguros:	$S = \frac{Va + Vr}{2Ha} s =$		\$ 26.46
d) Almacenaje*:	$A = KD =$		\$ 86.61
*Para legislación de obra pública este cálculo no se realiza.			
e) Mantenimiento:	$M = QD =$		\$ 288.70
SUMA DE CARGOS FIJOS POR HORA			\$ 849.25
II.- COSTO DE OPERACIÓN-CONSUMO			
a) Combustible:	$E = e \times Pc =$		
Diesel:	$E = 0.20 \times Pop \times d =$		\$ 144.90
Gasolina:	$E = 0.24 \times Pop \times g =$		\$ 0.00
Electricidad			
b) Aceite			
Diesel:	$L = (c/a \pm 0.0035 \times Pop) \times l =$		\$ 16.58
Gasolina:	$L = (c/a \pm 0.0030 \times Pop) \times l =$		\$ 14.77
c) Neumáticos:	$ll = \frac{Costo}{Duración} =$		\$ 0.00
d) Elementos de desgaste especial:	$E = \frac{Costo}{Duración} =$		\$ 0.00
SUMA DE CONSUMOS POR HORA			\$ 176.25
III.- OPERACIÓN			
Salario operador (So):			\$ 166.04
Horas/Turno-promedio:	$H = \frac{8}{Fop} =$		\$ 11.59
Operación (O):	$O = \frac{So}{H} =$		\$ 14.32
SUMA DE OPERACIÓN POR HORA			\$ 14.32
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD)			= 1,039.82

DATOS GENERALES		MOTONIVELADORAS (14 H - 3306)	
Precio de adquisición: \$	3,189,920.00	Fecha de cotización:	Jul-00
Equipo adicional:	24,845.97	Motor: DIESEL	215 HP
Valor inicial (Va): \$	3,165,074.03	Factor de operación (Fop):	0.69
Valor de rescate (Vr): \$	316,507.40	Potencia de operación (Pop):	148.35 HP
Tasa de interes (i):	18%	Coefficiente de almacenamiento (K):	0.3
Prima de seguros (s):	3%	Factor de mantenimiento (Q):	1
Vida económica (Ve):	5 años	Costo de la gasolina (g): \$	0
Horas por año (Ha):	2000	Costo del diesel (d): \$	5
Costo lubricantes (l):	25	Capacidad carter (c):	30 lts.
		Cambios de aceite (a):	300 hrs.
I.- CARGOS FIJOS			
a) Depreciación:	$D = \frac{Va - Vr}{Ve} =$		\$ 284.86
b) Inversión:	$I = \frac{Va + Vr}{2Ha} i =$		\$ 156.67
c) Seguros:	$S = \frac{Va + Vr}{2Ha} s =$		\$ 26.11
d) Almacenaje*:	$A = KD =$		\$ 85.46
*Para legislación de obra pública este cálculo no se realiza.			
e) Mantenimiento:	$M = QD =$		\$ 284.86
SUMA DE CARGOS FIJOS POR HORA			\$ 837.95
II.- COSTO DE OPERACIÓN-CONSUMO			
a) Combustible:	$E = e \times Pc =$		
Diesel:	$E = 0.20 \times Pop \times d =$		\$ 148.35
Gasolina:	$E = 0.24 \times Pop \times g =$		\$ 0.00
Electricidad			
b) Aceite			
Diesel:	$L = (c/a \pm 0.0035 \times Pop) \times l =$		\$ 15.48
Gasolina:	$L = (c/a \pm 0.0030 \times Pop) \times l =$		\$ 0.00
c) Neumáticos:	$ll = \frac{Costo}{Duración} =$		\$ 10.95
d) Elementos de desgaste especial:	$E = \frac{Costo}{Duración} =$		\$ 0.00
SUMA DE CONSUMOS POR HORA			\$ 174.78
III.- OPERACIÓN			
Salario operador (So):			\$ 166.04
Horas/Turno-promedio:	$H = \frac{8}{Fop} =$		\$ 11.59
Operación (O):	$O = \frac{So}{H} =$		\$ 14.32
SUMA DE OPERACIÓN POR HORA			\$ 14.32
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD)			= 1,027.05

DATOS GENERALES		CARGADOR SOBRE NEUMATICOS - 966F (3306)	
Precio de adquisición:	2,791,630.00	Fecha de cotización:	Jul-00
Equipo adicional:	21,743.72	Motor: DIESEL	220 HP
Valor inicial (Va):\$	2,769,886.28	Factor de operación (Fop):	0.69
Valor de rescate (Vr):	276,988.63	Potencia de operación (Pop):	151.8 HP
Tasa de interes (i):	18%	Coefficiente de almacenamiento (K):	0.3
Prima de seguros (s):	3%	Factor de mantenimiento (Q):	1
Vida económica (Ve):	5 años	Costo de la gasolina (g):\$	0
Horas por año (Ha):	2000	Costo del diesel (d):\$	5
Costo lubricantes (l):	25	Capacidad carter (c):	36 lts.
		Cambios de aceite (a):	250 hrs.
I.- CARGOS FIJOS			
a) Depreciación:	$D = \frac{Va - Vr}{Ve} =$		\$ 249.29
b) Inversión:	$I = \frac{Va + Vr}{2Ha} i =$		\$ 137.11
c) Seguros:	$S = \frac{Va + Vr}{2Ha} s =$		\$ 22.85
d) Almacenaje*:	$A = KD =$		\$ 74.79
*Para legislación de obra pública este cálculo no se realiza.			
e) Mantenimiento:	$M = QD =$		\$ 249.29
SUMA DE CARGOS FIJOS POR HORA			\$ 733.33
II.- COSTO DE OPERACIÓN-CONSUMO			
a) Combustible:	$E = e \times Pc =$		
Diesel:	$E = 0.20 \times Pop \times d =$		\$ 151.80
Gasolina:	$E = 0.24 \times Pop \times g =$		\$ 0.00
Electricidad			
b) Aceite			
Diesel:	$L = (c/a \pm 0.0035 \times Pop) \times l =$		\$ 16.88
Gasolina:	$L = (c/a \pm 0.0030 \times Pop) \times l =$		\$ 0.00
c) Neumáticos:	$ll = \frac{Costo}{Duración} =$		\$ 11.98
d) Elementos de desgaste especial:	$E = \frac{Costo}{Duración} =$		\$ 0.00
SUMA DE CONSUMOS POR HORA			\$ 180.66
III.- OPERACIÓN			
Salario operador (So):			\$ 166.04
Horas/Turno-promedio:	$H = \frac{8}{Fop} =$		\$ 11.59
Operación (O):	$O = \frac{So}{H} =$		\$ 14.32
SUMA DE OPERACIÓN POR HORA			\$ 14.32
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD)			= 928.31

DATOS GENERALES		TRACTOR DE NEUMATICOS - 814 F (3306)	
Precio de adquisición:	2,661,150.00	Fecha de cotización:	Jul-00
Equipo adicional:	20,727.43	Motor: DIESEL	230 HP
Valor inicial (Va): \$	2,640,422.57	Factor de operación (Fop):	0.69
Valor de rescate (Vr): \$	264,042.26	Potencia de operación (Pop):	158.7 HP
Tasa de interes (i): \$	18%	Coefficiente de almacenamiento (K): \$	0.3
Prima de seguros (s): \$	3%	Factor de mantenimiento (Q): \$	1
Vida económica (Ve): \$	5 años	Costo de la gasolina (g): \$	0
Horas por año (Ha): \$	2000	Costo del diesel (d): \$	5
Costo lubricantes (l): \$	25	Capacidad carter (c): \$	17 lts.
		Cambios de aceite (a): \$	250 hrs.
I.- CARGOS FIJOS			
a) Depreciación:	$D = \frac{Va - Vr}{Ve} =$		\$ 237.64
b) Inversión:	$I = \frac{Va + Vr}{2Ha} i =$		\$ 130.70
c) Seguros:	$S = \frac{Va + Vr}{2Ha} s =$		\$ 21.78
d) Almacenaje*:	$A = KD =$		\$ 71.29
*Para legislación de obra pública este cálculo no se realiza.			
e) Mantenimiento:	$M = QD =$		\$ 237.64
SUMA DE CARGOS FIJOS POR HORA			\$ 699.05
II.- COSTO DE OPERACIÓN-CONSUMO			
a) Combustible:	$E = e \times Pc =$		
Diesel:	$E = 0.20 \times Pop \times d =$		\$ 158.70
Gasolina:	$E = 0.24 \times Pop \times g =$		\$ 0.00
Electricidad			
b) Aceite			
Diesel:	$L = (c/a \pm 0.0035 \times Pop) \times l =$		\$ 15.59
Gasolina:	$L = (c/a \pm 0.0030 \times Pop) \times l =$		\$ 0.00
c) Neumáticos:	$ll = \frac{\text{Costo}}{\text{Duración}} =$		\$ 9.01
d) Elementos de desgaste especial:	$E = \frac{\text{Costo}}{\text{Duración}} =$		\$ 0.00
SUMA DE CONSUMOS POR HORA			\$ 183.30
III.- OPERACIÓN			
Salario operador (So): \$			\$ 166.04
Horas/Turno-promedio:	$H = \frac{8}{Fop} =$		\$ 11.59
Operación (O): \$	$O = \frac{So}{H} =$		\$ 14.32
SUMA DE OPERACIÓN POR HORA			\$ 14.32
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA (HMD)			= 896.67

6.3. Ventajas y desventajas.

Las ventajas y desventajas de los diversos equipos se presentan en la tabla 6.7.

Tabla 6.7. Ventajas y desventajas de los equipos

Descripción de equipo	Ventajas	Desventajas
Tractor de cadenas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distribuidor de residuos sólidos ▪ Realiza la preparación del sitio ▪ Mayor versatilidad en la excavación y el transporte del material de cubierta. ▪ Suministra la cubierta final ▪ Trabajos de movimientos de tierras ▪ Posibilidad de efectuar trabajos de limpieza en el relleno ▪ Mantenimiento de caminos y terracería en general. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las orugas deben ser lo suficientemente altas para la reducción del tamaño de los residuos. • Baja presión ejercida sobre el suelo, lo cual nos lleva a una eficiencia baja en la compactación.
Compactador	<ul style="list-style-type: none"> • Extendido de los residuos sólidos. • Excelente compactación de los residuos sólidos. • Mayor rapidez de trabajo que el tractor de cadenas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo de adquisición
Cargador de ruedas	<ul style="list-style-type: none"> • Cargar el material de cubierta a los camiones, para transportar el material de cobertura a distancias no mayores de 50 a 60 m 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia para excavar en suelo suave
Cargador de cadenas	<ul style="list-style-type: none"> • Son recomendables para cargar el material de cobertura en todo tipo de suelo. • Pueden utilizarse para el manejo de residuos sólidos (extendido y compactación) • También son utilizados para conformar y nivelar las celdas 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor eficiencia de compactación de los residuos sólidos

6.4. Selección.

Para la selección de la maquinaria, se debe tener en cuenta cada una de las actividades que se llevan a cabo dentro de la construcción y operación del relleno sanitario, las cuales se enuncian a continuación:

Actividades dentro del relleno sanitario	Equipo y/o Maquinaria
Preparación del sitio	Motoniveladoras Excavadoras
Manipulación y compactación de la basura	Tractor de cadenas Cargador de cadenas Compactadores
Excavación y transporte del material de cobertura	Excavadoras + Motoescrepas Excavadora + Camiones articulados Tractores de cadenas Cargadores de cadenas
Esparcimiento y compactación de la capa diaria y la capa final	Cargador de cadenas Tractores de cadenas Compactador
Mantenimiento de caminos	Motoniveladoras Cargadores de ruedas

Como se puede observar en la tabla 6.8, los costos que se obtuvieron son muy similares, por lo cual para tomar una decisión sobre la elección del equipo es necesario darle mayor importancia a las necesidades del sitio, que a los costos generados por la renta o adquisición del equipo.

Tabla 6.8. Resumen de costos hora- máquina y adquisición

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	POTENCIA HP	PRECIO DE ADQUISICIÓN	COSTO HORA-MAQUINA
TRACTOR DE CADENAS - D7 (3306)	230	\$ 3,234,880.00	\$ 1,046.20
COMPACTADOR DE RELLENOS SANITARIOS 816 F	220	\$ 2,787,760.00	\$ 920.46
CARGADOR DE CADENAS - 973 (3306)	210	\$ 3,207,760.00	\$ 1,039.82
MOTONIVELADORAS (14 H - 3306)	215	\$ 3,189,920.00	\$ 1,027.05
CARGADOR SOBRE NEUMATICOS - 966F (3306)	220	\$ 2,791,630.00	\$ 928.31
TRACTOR DE NEUMATICOS - 814 F (3306)	230	\$ 2,661,150.00	\$ 896.67

Considerando los rendimientos que cada una de las máquinas, se tiene un costo de maquinaria, el cual se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$CM = \frac{HMD}{RM}$$

Así para el manejo y la compactación de los residuos sólidos, el equipo elegido es el compactador de residuos sólidos, tal como lo muestran los resultados obtenidos en la tabla 6.9. "resumen de costos máquina".

Tabla 6.9. Resumen de costos máquina

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	COSTO HORA- MAQUINA	RENDIMIENTO TON/HR	COSTO MAQUINA \$/TON
TRACTOR DE CADENAS - D7 (3306)	\$ 1,046.20	50.00	20.92
COMPACTADOR DE RELLENOS SANITARIOS 816 F	\$ 920.46	70.00	13.15

Como puede observarse, para realizar las actividades de acomodo y compactación de residuos sólidos se recomienda la adquisición de un compactador, para los rellenos sanitarios que manejen cantidades mayores a 100 toneladas por día y de un tractor de cadenas para la excavación y el manejo del material de cubierta.

En los rellenos sanitarios pequeños con cantidades menores a 100 toneladas de residuos sólidos por día, se recomienda la adquisición de un tractor de cadenas, el cual debe estar provisto de hoja topadora, cabina de mandos y bandas de carriles. La hoja topadora, permitirá extender los residuos en capas uniformes, mientras que las orugas los desmenuzan y compactan. Cabe aclarar que semanalmente, este equipo requiere de ser apoyado durante 8 horas, por un cargador frontal y un vehículo de volteo, para hacer llegar el material de cubierta, con el cual se realizará la clausura de las celdas.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. Conclusiones

Al término del siguiente trabajo se obtuvieron las siguientes conclusiones, las cuales mencionan la importancia del relleno sanitario como método de disposición final de los residuos sólidos.

- La disposición adecuada de los residuos sólidos a través de rellenos sanitarios es de gran importancia, ya que en la medida que esta infraestructura funcione adecuadamente, menores serán las afectaciones a la salud humana y al ambiente.
- La función principal del relleno sanitario es evitar lo más posible los daños a los ecosistemas, así como la recuperación de ciertas áreas.
- El relleno sanitario siempre es una obra complementaria y necesaria, para otras opciones del manejo y la disposición como el reciclaje y la incineración, ya que se requieren para recibir el sobrante o rechazo que generan estos sistemas de tratamiento.
- Es importante considerar al relleno sanitario, no sólo como una obra de ingeniería que sirva para la disposición final de los residuos sólidos, sino como un elemento con el que se puede convivir sin deteriorar su entorno.
- Para la selección de un sitio a utilizarse como relleno sanitario, se tiene que tomar en cuenta varios factores, entre otros: topografía, vientos dominantes, capacidad del terreno, área disponible.

Para que un sitio de disposición final pueda denominarse "relleno sanitario" debe cumplir mínimamente con las siguientes características:

- * Estar localizado en un lugar adecuado, para lo cual la selección del sitio debe estar de acuerdo a lo que dicta la normatividad del país. (dentro de los sitios recomendables para utilizarse como rellenos sanitarios se encuentran: los terrenos baldíos como canteras, minas abandonadas, etc).
- * Debe cumplir con la protección de aguas subterráneas y superficiales, ésto se logra impermeabilizando la zona de producción de lixiviados (de requerirse de acuerdo al tipo de suelo), así como una evacuación adecuada de los lixiviados y realizar un drenaje funcional para las aguas pluviales.
- * Proteger el aspecto visual del sitio, siendo éste uno de los objetivos de la cobertura diaria. (el espesor de la cobertura depende del tipo de material a emplearse, generalmente para el caso de la cobertura final se emplean valores ≥ 60 cm)
- * Debe estar completamente protegido contra la dispersión de objetos arrastrados por el viento, olores y partículas; para este caso, se recomienda utilizar redes móviles en el frente de trabajo.
- * Debe estar protegido contra la circulación libre de personas ajenas y animales para lo cual se requiere de una cerca y del control de entrada (caseta de vigilancia).
- * Incluir medidas de protección contra el biogás, por medio de chimeneas o pozos de ventilación.
- * Contar con un camino de acceso transitable durante todo el año y caminos interiores transitables temporales de acuerdo a la localización del frente de trabajo.

- * Debe contar con una señalización adecuada hasta el frente de trabajo.
- * Debe existir un adecuado control de residuos sólidos, para lo cual se debe contar con una báscula, para el pesaje de los residuos sólidos, con un laboratorio para el análisis de los compuestos generados: lixiviados y biogás, etc, y una oficina para el registro de los vehículos y productos.
- * Contar con un área de mantenimiento, que sirva como taller, zona de almacenaje de repuestos y equipo de reserva.
- * El relleno sanitario debe incluir baños, instalaciones contra incendio, botiquín de primeros auxilios y de las instalaciones de comunicación más indispensables.

A continuación se enuncian algunas de las ventajas y desventajas que presenta la construcción de un relleno sanitario:

VENTAJAS

1. Es la alternativa más conveniente para la disposición de los desechos sólidos.
2. La inversión inicial regularmente es inferior a la que se requiere en cualquier otro método de disposición final, por ejemplo; incineración o compostación.
3. Bajos costos de operación y mantenimiento.
4. Es un método completo y definitivo, en el cual se puede recibir todo tipo de desechos sólidos, excepto los materiales no susceptibles de descomposición.
5. Generación de empleo.
6. Recuperación económica de gas metano, para los rellenos sanitarios que reciben más de 200 ton/día.
7. Recuperación de terrenos, convirtiéndolos en útiles para la construcción de parques, campos deportivos, áreas verdes, etc.
8. Funcionamiento a corto tiempo como método de eliminación.
9. Es una obra flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes.

DESVENTAJAS:

1. Adquisición del terreno, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada por:
 - ⇒ La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.
 - ⇒ Desconfianza hacia las administraciones locales.
2. Debido a la urbanización, los costos de los terrenos disponibles se encarecen, debiendo ubicar el relleno en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual incrementa los costos del transporte.
3. Supervisión constante, para mantener un nivel de calidad adecuado en las operaciones.
4. Alto riesgo de transformarlo en un tiradero de basura, debido a que no se realiza la operación y mantenimiento (cuando no se cuenta con el financiamiento necesario).
5. Eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, de no tomarse las medidas de control y seguridad adecuadas.
6. Los asentamientos diferenciales principalmente en los primeros dos años, impiden que estos sitios sean utilizados para uso habitacional.

7.2. Recomendaciones

Para que los rellenos sanitarios sean rentables, deben diseñarse y construirse para una capacidad mínima de 10 años y máxima de 30 años, tomando en cuenta por supuesto la opinión de las comisiones que intervienen en la toma de decisiones. Con el propósito de incrementar la vida útil de los rellenos sanitarios es conveniente:

- reducir la cantidad de residuos a través de actividades complementarias como la recuperación de materiales reciclables y la separación de la materia orgánica para producir composta.
- prohibir y vigilar que no ingresen al rellenos residuos clasificados como peligrosos por la normatividad mexicana.

Como puede observarse la vida útil de un relleno sanitario es de gran importancia, ya que debe de tomarse en cuenta que los espacios destinados para los rellenos sanitarios es un recurso muy valioso y que probablemente en un futuro no muy lejano existirá escasez de estos sitios, además no hay que pasar desapercibido el hecho de que las tecnologías utilizadas en otras partes del mundo son de costos muy elevados, como lo es el caso de los incineradores.

Por todo lo anterior, es necesario establecer programas de capacitación y certificación para operadores de los rellenos sanitarios, ya que el operador no es un funcionario administrativo, sino aquella persona que durante el desempeño de su trabajo ejerce juicios que pueden afectar directa o indirectamente la correcta operación de un relleno sanitario.

Es importante no olvidar que a pesar de que un relleno sanitario sea bien diseñado y construido, puede provocar impactos negativos para la salud humana y para el medio ambiente, todo esto cuando la operación de dicho no se realiza de la forma adecuada.

Asimismo, se recomienda prestar una mayor atención a la construcción de las celdas diarias, ya que en la actualidad en nuestro país, la mayoría de los tiraderos a cielo abierto o controlados y algunos de los rellenos sanitarios carecen de algunos elementos en la infraestructura básica.

Se recomienda que los rellenos sanitarios cumplan con las siguientes sugerencias, con lo cual se logrará una operación más eficiente:

- * El modo de depositar los residuos encima o dentro de la tierra tiene que estar controlado y regulado ahora y en futuro.
- * Evitar el contacto directo entre los residuos y el fondo de la superficie
- * Realizar inspecciones regulares a los rellenos
- * Operar el relleno por etapas

Es recomendable que los gobiernos municipales, estatales y federales destinen recursos económicos para disponer de manera adecuada de los residuos sólidos, cumpliendo con ello con lo que se establece en la normatividad mexicana correspondiente.

Se recomienda que en las instituciones de educación superior, integren en su programas académicos materias, relativas al diseño y operación de rellenos sanitarios.

Asimismo, se recomienda que los profesionistas y personal técnico involucrado en la construcción y operación de rellenos sanitarios, se mantengan actualizados respecto a los avances tecnológicos que se va presentando al transcurso del tiempo.

ANEXO 1. NOM-083-ECOL-1996 Y (proyecto)NOM-084-ECOL-1996

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

INDICE

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

0.- INTRODUCCION

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

1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

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

2.- DEFINICIONES**2.1 Acuífero**

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

2.2 Acuífero confinado

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

2.3 Acuífero libre

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

2.4 Acuífero semiconfinado

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

2.5 Acuitardo

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

2.6 Agua subterránea

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

2.7 Areas naturales protegidas

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

2.8 Capacidad de intercambio catiónico

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

2.9 Carga hidráulica

Es la energía presente en un acuífero, normalmente tiene dos componentes:

- a) la carga relacionada con la elevación con respecto a un punto de referencia que es normalmente el nivel medio del mar, y
- b) la carga de presión, o presión de poro.

2.10 Conductividad hidráulica

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

2.11 Contaminantes no reactivos

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

2.12 Descripción estratigráfica

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

2.13 Discontinuidades

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

2.14 Disposición final

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

2.15 Falla

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

2.16 Falla activa

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

2.17 Fracción de carbono orgánico

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

2.18 Fractura

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

2.19 Freatofitas

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

2.20 Geofísica

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

2.21 Geología

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

2.22 Hidrogeología

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

2.23 Hidrología

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

2.24 Infiltración

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

2.25 Lixiviado

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

2.26 Nivel freático

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

2.27 Nivel piezométrico

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

2.28 Parámetros hidráulicos

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

2.29 Percolación

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

2.30 Permeabilidad

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

2.31 Porosidad efectiva

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

2.32 Potencial de contaminación

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

2.33 Residuo sólido municipal

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

2.34 Sistema de flujo

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

2.35 Talud

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

2.36 Unidades litológicas

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

2.37 Volumen de extracción

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

2.38 Zona de aireación

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

2.39 Zona de descarga

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

2.40 Zona de inundación

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

2.41 Zona de recarga

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

2.42 Zona de saturación

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

2.43 Zona no saturada

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

3.- ESPECIFICACIONES

3.1 Con el fin de cumplir con las diferentes especificaciones de ubicación, que debe satisfacer un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales, y facilitar la toma de decisiones en las diferentes etapas de los estudios que se describen en el punto 4 de esta Norma Oficial Mexicana, debe ser considerado el diagrama de flujo que se describe en el Anexo 1.

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

3.2.1 Aspectos generales

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

3.2.1.1.1 Las distancias mínimas a aeropuertos son:

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

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

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

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

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

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

3.2.2 Aspectos hidrológicos

3.2.2.1 Se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no exista la obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que provoquen arrastre de los residuos sólidos.

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

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

3.2.3 Aspectos geológicos

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

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

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

3.2.4 Aspectos hidrogeológicos

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

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

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

3.2.5 Consideraciones de selección

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

4.- PROCEDIMIENTOS

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

4.2 Estudios geológicos

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

4.2.1.1 Estudio geológico regional

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

4.2.1.2 Estudio geológico local

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

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

4.3 Estudios hidrogeológicos

4.3.1 Los estudios hidrogeológicos deben considerar cinco etapas:

- Evidencias y uso del agua subterránea.
- Identificación del tipo de acuífero.
- Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo.
- Análisis del sistema de flujo.
- Evaluación del potencial de contaminación.

4.3.1.1 Evidencias y uso del agua subterránea

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

4.3.1.2 Identificación del tipo de acuífero

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

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

- Determinar la profundidad al nivel piezométrico en el sistema acuífero, dirección y velocidad del agua subterránea a partir de los parámetros de conductividad hidráulica, carga hidráulica y porosidad efectiva.
- Conocer la composición química del agua subterránea.
- Determinar la conductividad hidráulica (K), la fracción de carbono orgánico (FCO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los diferentes estratos del subsuelo de la zona no saturada.

4.3.1.4 Análisis del sistema de flujo

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

4.3.1.5 Evaluación del potencial de contaminación

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

Esta gráfica define la condición de tránsito de la infiltración aceptable que deben tener los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, su valor de frontera está definido por $(f) \leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ que representa el factor de tránsito de la infiltración, el cual

relaciona a la velocidad promedio final de infiltración contra los diferentes espesores de los materiales de la zona no-saturada incluyendo la porosidad de ellos, según la siguiente fórmula:

$$f = \frac{K * i}{U * d}$$

Donde:

f = factor de tránsito de la infiltración, (seg⁻¹).

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

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

i = gradiente hidráulico, (adimensional).

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

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

$$V = \frac{K * i}{U}$$

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

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

4.3.1.6 Aplicación de tecnologías y sistemas equivalentes

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

5.- GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

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

6.- BIBLIOGRAFIA

6.1 Manual de Relleno Sanitario SEDUE, Subsecretaría de Ecología, 1984, México.

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

7.- OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

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

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

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

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

1.- OBJETO

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

2.- CAMPO DE APLICACION

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

3.- DEFINICIONES

3.1 Residuo sólido municipal

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

3.2 Generación.

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

3.5 Peso volumétrico

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

3.6 Disposición

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

3.8 Relleno sanitario

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

3.9 Celda

El bloque unitario de construcción de un relleno sanitario.

3.10 Celda diaria

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

3.11 Material de cubierta

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

3.12 Cubierta diaria

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

3.13 Cubierta intermedia

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

3.14 Cubierta final

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

3.15 Lixiviado

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

3.16 Biogas

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

3.17 Sistema pasivo de extracción

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

3.18 Sistema activo de extracción

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

3.19 Zona de impacto sísmico

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

4.- DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO

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

4.1.1 Topografía

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

4.1.1.1 Planimetría

1.- Tolerancia Angular = $1'N \ 1/2$

2.- Tolerancia lineal = $1/3000$

Donde:

N = Número de Vértices de la poligonal.

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

4.1.1.2 Altimetría

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

4.1.1.3 Secciones

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

4.1.1.4 Configuración topográfica

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

4.1.2 Cantidades y características de los residuos sólidos

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

NMX-AA-61-1985

NMX-AA-15-1985

NMX-AA-22-1985

NMX-AA-19-1985

DETERMINACION DE LA GENERACION
MUESTREO-METODO DE CUARTEO
SELECCION Y CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS
DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO "IN-SITU"

5.- SELECCION DEL METODO

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

6.- REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS

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

TABLA 1 RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

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

7.- CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA

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

8.- CALCULO DE LA VIDA DEL SITIO

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

$$U = V (365 Gt)$$

Donde:

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

V = Volumen del sitio seleccionado, expresado en m³.

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

9.- DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA

9.1 Altura de la celda

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

9.2 Ancho de la celda

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

9.2.1 Para poblaciones de hasta 250,00 hab. el frente de trabajo se define conforme a la ecuación siguiente:

$$F = 0.0333 N T X$$

Donde:

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

N = Número de vehículos recolectores en la hora pico.

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

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

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

$$F = \sum_{i=1}^n (X_i)^2$$

Donde:

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

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

i = Número de equipos.

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

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

Donde:

L = Largo de la celda, expresado en metros.

V = Volumen de la celda, expresado en m³.

W = Ancho de la celda, expresado en metros.

A = Altura de la celda, expresado en metros.

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

Criterio constructivo:

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

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

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

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

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

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

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

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

IX. Las cubiertas tendrán una pendiente del 2% para el drenado adecuado que impidan el paso del agua, para evitar la erosión se deberán revegetar con especies propias de la región.

9.2.5 Con base al método de trinchera las celdas se construirán sobre la base del talud de la trinchera donde los residuos son compactados en capas inclinadas, posteriormente será cubierta con el material excavado de la futura trinchera.

Criterio constructivo:

I. La profundidad mínima de la trinchera será de 2.00 m. de los cuales 1.50 m. será de residuos y el resto de material de cubierta.

II. La trinchera deberá contar con una pendiente del 2% que permita el drenado de la excavación a lo largo de toda su longitud.

III. El ancho de la trinchera será como mínimo de 9.00 m. para facilitar la descarga de los y la operación de la excavación de la máquina.

IV. El procedimiento constructivo, será el mismo a partir del punto IV de los criterios de construcción de las celdas por el método de área.

10.- OBRAS COMPLEMENTARIAS

El relleno sanitario deberá comprender además del diseño de las celdas de confinamiento, con las obras complementarias que correspondan de acuerdo a la densidad de población expresada en la tabla 2.

TABLA 2 RANGO DE POBLACION

INSTALACION DE:	NUMERO DE HABITANTES			
	HASTA 50 MIL	50,001 A 200 MIL	200 MIL A 500	500 MIL EN ADELANTE
AREA DE ACCESO Y ESPERA		*	*	*
CERCA O AREA PERIMETRAL		*	*	*
CASETA DE VIGILANCIA	*	*	*	*
CASETA DE PESAJE Y BASCULAS		*	*	*
CAMINOS PERMANENTES	*	*	*	*
AREA DE EMERGENCIA DE DISPOSICION FINAL		*	*	*
DRENAJES PERIMETRALES E INTERIORES	*	*	*	*
INSTALACION DE ENERGIA ELECTRICA			*	*
POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS		*	*	*
SEÑALAMIENTOS FIJOS Y MOVILES	*	*	*	*
SISTEMA DE CAPTACION DE BIOGAS	*	*	*	*
AREA DE AMORTIGUAMIENTO			*	*
ALMACEN Y COBERTIZO		*	*	*
AREA ADMINISTRATIVA		*	*	*
SERVICIOS SANITARIOS			*	*
SISTEMA DE MONITOREO DE BIOGAS			*	*
SISTEMA DE CAPTACION Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS		*	*	*

11.- AREAS DE ACCESO Y ESPERA

11.1 Las áreas de acceso y espera tienen como propósito el control de entradas y salidas del personal y de los vehículos de recolección.

11.2 El acceso al relleno sanitario debe tener un ancho de 8.00 m. como mínimo.

11.3 Antes del acceso al frente de trabajo se deberá tener una área de espera con la capacidad suficiente para el estacionamiento de los vehículos recolectores y de transferencia en la hora pico.

12.- CERCA PERIMETRAL

El Relleno Sanitario deberá estar cercado, como mínimo con alambre de púas de cinco hilos de 1.50 m. de alto, a partir del nivel del suelo con postes de concreto o tubos galvanizados, debidamente empotrados y colocados a cada 3 m entre sí, para poblaciones de hasta 500,000 habitantes, y como mínimo con maya ciclónica de 2.20 m. de alto para poblaciones mayores.

13.- CASETA DE VIGILANCIA

Las dimensiones de la caseta de vigilancia tendrá como mínimo 4 m² y deberá instalarse a la entrada del relleno sanitario, pudiendo ser construida con materiales propios de cada región.

14.- CASETA DE PESAJE Y BASCULA

14.1 Las dimensiones de la caseta de pesaje tendrán como mínimo 16 m² para alojar el dispositivo indicador de la báscula y el mobiliario necesario para el registro y archivo de datos.

14.2 La báscula deberá ubicarse cerca de la entrada del relleno sanitario y contar con:

14.2.1 Superficie de dimensiones suficientes para dar servicio a la unidad recolectora o de transferencia de mayor volumen de carga.

14.2.2 Capacidad acorde a la unidad recolectora de mayor volumen de carga.

14.2.3 La báscula deberá ser de una precisión de 5 Kg. y su instalación deberá apegarse a las especificaciones del fabricante.

15.- CAMINOS

15.1 Los caminos serán de dos tipos exteriores e interiores.

15.2 Los caminos exteriores deben cumplir como mínimo las especificaciones siguientes:

15.2.1 Ser de trazo permanente, y

15.2.2 Garantizar el tránsito por ellos en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario.

15.3 Cuando por volumen de tránsito y de la capacidad de carga de los vehículos, se haga necesario la colocación de la carpeta asfáltica, esta superficie de rodamiento deberá estar sobre el nivel de despalme, misma que definirá la subrasante, en este caso, para recibir la carpeta se deberá construir:

15.3.1 Una sub-base con espesor mínimo de 12 cm formada de material natural producto de la excavación o explotación de bancos de materiales, y

15.3.2 Una base con espesor de 12 cm de grava controlada y arena compactada al 90% de la prueba proctor.

15.3.3 El espesor de la carpeta asfáltica, cuya finalidad es proporcionar una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada, se calculará en función del valor relativo de soporte del suelo, de la carga de diseño y del volumen de tránsito.

15.4 Los caminos internos deben cumplir las especificaciones siguientes:

15.4.1 Deberán permitir la doble circulación de los vehículos recolectores, hasta el frente de trabajo del relleno sanitario.

15.4.2 Deberán ser de tipo temporal y que no presenten pendientes mayor del 5%.

16.- CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE LOS CAMINOS

Los caminos interiores y exteriores deberán ser diseñados y construidos conforme a los criterios básicos establecidos en la tabla 3.

TABLA 3. CRITERIOS BASICOS PARA CAMINOS

CARACTERISTICAS	CAMINOS EXTERNOS			CAMINOS INTERNOS	
	CLASES DE CAMINOS	CLASES DE CAMINOS	CLASES DE CAMINOS	CLASES DE CAMINOS	CLASES DE CAMINOS
	PLANO Y ONDULADO	MONTAÑOSO	MUY ACCIDENTADO	PLANO Y ONDULADO	ACCIDENTADO
VEL. DE DISEÑO EN KM/II	60	40	30	40	25
GRADO MAXIMO	11.00'	24.30'	44.00'	23.00'	57.00'
RADIO MINIMO (m)	105	47	26	50	20
ANCHO DE CORONA (m)	6	6	6	4	4
PENDIENTE MAXIMA (%)	8	9	10	5	5
CARGA PARA DISEÑO	HS-20	HS-20	HS-20	HS-10	HS-10
CARGA SUPERF. DE RODAMIENTO	REVESTIDO	REVESTIDO	REVESTIDO	TRANSITABLE EN CUALQUIER EPOCA DEL AÑO	TRANSITABLE EN CUALQUIER EPOCA DEL AÑO

17.- AREA DE EMERGENCIA

17.1 El área de emergencia será destinada para la recepción de los residuos municipales, cuando por situaciones climatológicas no permita la operación en el frente de trabajo, para facilitar la operación del relleno, además se deberá contar con lonas plásticas, residuos provenientes de demolición, o del barrido de calles para cubrir los residuos.

17.2 El área de emergencia deberá:

17.2.1 Estar ubicada en el área que presente las mejores condiciones para su operación.

17.2.2 Que su capacidad sea suficiente para una operación ininterrumpida de 6 meses.

17.2.3 Que exista material adecuado y en condiciones suficientes para cubrir diariamente los residuos.

18.- DRENAJE

18.1 Las obras de drenaje serán de tipo permanente y temporal.

18.1.1 Las obras de drenaje permanentes se construirán en los límites del relleno que tienen como objeto la captación del escurrimiento de aguas arriba, los canales deberán revestirse con mortero: cemento-arena en proporción de 1:3 o mediante un sampeado de piedra juntada con mortero cemento-arena en proporción 1:5 la velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0.60 m/seg. ni mayor de 2.00 m/seg.

18.1.2 Las obras de drenaje temporal deberá construirse mediante canales de sección triangular con taludes de 3:1, rellenos de grava de 3 cm. de tamaño máximo para evitar socavones, y captar las aguas pluviales para conducir las fuera del área de trabajo.

18.1.3 Para los drenajes permanentes y temporales, el dimensionamiento de canales, se deberá efectuar mediante la fórmula de Manning, obteniendo el gasto de diseño a partir del método racional americano o la fórmula de Burklieziegler.

FORMULA DEL METODO RACIONAL AMERICANO

$$Q = \frac{CiA}{0.36}$$

Donde:

Q = Gasto máximo expresado en L/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento

i = Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr.

A = Area por drenar expresado en ha.

0.36 = Factor de conversión

FORMULA DE BURKLIEZIEGLER

$$Q = 27.78 CiS(1/4 A^{3/4})$$

Donde:

- Q = Gasto máximo expresado en L/seg.
- C = Coeficiente de escurrimiento (sin dimensiones)
- i = Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr.
- S = Pendiente del terreno expresado en milésimas
- A = Area por drenar expresado en ha.
- 27.78 = Factor de conversión.

Estas obras de drenaje, deberán diseñarse con capacidad para manejar caudales iguales o mayores al de una tormenta con período de retorno de 25 años.

19.- INSTALACION DE ENERGIA ELECTRICA

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

20.- SEÑALAMIENTOS

Los señalamientos se dividirán en 3 géneros: informativos, preventivos y restrictivos, pudiendo ser de tipo móvil o fijo y deberán ajustarse a lo establecido en el "Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras", editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

21.- SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION

21.1 El sistema de impermeabilización será utilizado para aquellos rellenos sanitarios donde el nivel de aguas freáticas se localice a menos de 10 m. de profundidad.

21.2 El sistema de impermeabilización deberá diseñarse para toda la base del relleno y podrá ser de origen tanto natural como sintético, o bien alguna combinación de éstos, debiendo asegurar una permeabilidad mínima de 1×10^{-5} cm/seg. Se deberá demostrar que los materiales que integran dicho sistema no se deteriorarán ni perderán sus propiedades y ser resistentes a los esfuerzos físicos que resulten del peso de los materiales y residuos que serán colocados sobre este sistema de impermeabilización.

21.3 Los materiales de origen natural pueden ser importados o bien del mismo sitio y en ambos casos se deberá especificar el manejo o trato que deberá dárseles para reducir su permeabilidad a los límites establecidos o en su defecto se deberá demostrar que su espesor es capaz de absorber o atenuar la carga contaminante de los lixiviados, evitando su migración hacia los acuíferos.

22.- SISTEMAS DE CAPTACION Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS

22.1 Deberá instalarse un sistema de captación de lixiviados inmediatamente por encima del sistema de impermeabilización.

22.2 Los sistemas de captación de lixiviados deberán ser capas drenantes, ubicadas principalmente en la base del relleno y sobre cualquier capa superior donde se espere tener acumulación de líquidos y estar diseñadas para conducir de la forma más rápida posible el agua libre del relleno hasta cárcamos de colección. Estas capas drenantes podrán constituirse en forma de redes de drenes (tuberías perforadas) o trincheras. Su pendiente mínima debe ser de 0.4% y su conductividad hidráulica de 1×10^{-5} m/seg para espesores de 0.3 m. o bien una transmisibilidad hidráulica de 3×10^{-5} m²/seg para espesores menores.

23.- POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS

23.1 Los sistemas de monitoreo para lixiviados deberán contar de por lo menos 3 pozos de muestreo que se sitúen uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas a 500 m. antes de llegar al sitio del relleno sanitario otro a 500 m. aguas abajo del sitio, y el último en el sitio del relleno.

23.2 Los pozos que se ubican fuera del relleno sanitario deberán profundizar 2 m. dentro del acuífero y el nivel o base del relleno.

23.3 La construcción de los pozos de monitoreo para lixiviados deberán realizarse únicamente con materiales y técnicas que aseguren la no contaminación del acuífero, y podrán ser de un diámetro mínimo, que permita la introducción y recuperación del sistema muestreador debiendo ser este último resistente a la corrosión.

24.- SISTEMA DE CAPTACION DE BIOGAS

24.1 Se deberá construir estructuras verticales de 60 a 100 cms. De lado a manera de chimenea, con malla y varilla, rellenos con piedra, esta estructura se desplantará 30 cms. abajo del fondo del relleno y en la parte superior se cubre con una placa de concreto, dejando un tubo con cuello de ganso, u otro sistema dependiendo de la cantidad generada de gas y el uso que se le de (ver anexo correspondiente).

24.2 Se deberán instalar 2 pozos por hectárea de relleno.

24.3 Independientemente del sistema de control que se use, el biogas que sea venteado o extraído, deberá ser quemado. El diseño de la instalación y del quemador deberá reunir las condiciones adecuadas para un óptimo funcionamiento.

25.- SISTEMA DE MONITOREO PARA BIOGAS

25.1 El sistema de monitoreo de biogas será utilizado para aquellos rellenos sanitarios que sean construidos en oquedades, barrancas depresiones, zanjas, etc., o en el caso que exista el contacto directo de los residuos sólidos con paredes, en las cuales se pueda presentar la migración de biogas de forma horizontal.

25.2 Los sistemas de monitoreo para identificar la migración de biogas estará integrado por pozos distribuidos a lo largo del perímetro del relleno sanitario.

Estos se construirán con una separación máxima de 50 m entre pozo y pozo y a una distancia mínima de 2 m del límite de los residuos sólidos. La profundidad máxima será igual al espesor de residuos sólidos más un metro.

26.- AREA DE AMORTIGUAMIENTO

26.1 El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral que fluctúe entre 15 y 30.

26.2 Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales que reduzcan la salida de polvos, ruido, y materiales ligeros durante la operación.

27.- ALMACEN Y COBERTIZO

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

28.- AREA ADMINISTRATIVA

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

29.- SERVICIOS SANITARIOS

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

30.- VIGILANCIA

Los gobiernos del Distrito Federal, de los Estados y municipios en sus respectivas jurisdicciones, son la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

31.- SANCIONES

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en cada entidad y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

32.- BIBLIOGRAFIA

- 32.1 Manual del relleno sanitario SEDUE, Subsecretaría de Ecología, 1984.
- 32.2 Manual de Hidráulica Azevedo Alvarez (Editorial Harla)
- 32.3 Mecánica de suelos E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez (1970).
- 32.4 Sanitary Landfill Design and Operación Dr. Brunner & D.J. Keller, U.S.E.P.A. 1971.
- 32.5 Buranek, D. (1987), "Construction Guide Liners", Civil Engineering, Nov. 1987.
- 32.6 EPA Liners Workshop for Región VI and State Permit Writers, Dallas, Texas Environmental Protección Agency (1985)
- 32.7 Standar Number 54 flexible Membrane Liners, Ann Arbor, Michigan. National Sanitation Foundation (1985).
- 32.8 Poly-America Inc. Reference Manual. An Engineering Aproach to Groundwater Protección, Gran Praire, Texas.
- 32.9 Polyfelt Ts. Chemie Linz (Manual de Diseño y Practica).
- 32.10 Hazardous Waste Engienering Research Laboratory. U.S. Environmental protección Agency.
- 32.11 Geosynthetic Desingn Guidance for Hazardous Waste Lanfill cells and Surface Impounduments. Cincinnati, Ohio, soil 6 materia Enggieners, Inc.
- 32.12 Dura-flex. An Innovación for the Environmental Containmen Industry. Gran Praire, Texas, Yazdani G. and Nobert J.
- 32.13 Manual de manejo de desechos sólidos caterpillar.
- 32.14 Guía de Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios. Manuales Organización Panamericana de la Salud. Jorge Jaramillo y Francisco Zepeda (1991).
- 32.15 Practical Waster Management, John R. Holmes (1983) Editorial John Willey & Sons.
- 32.16 Estudio de comportamiento de un relleno sanitario mediante una celda de control D.D.F. (1992).

33.- VIGENCIA

La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

ANEXO 2. Parámetros para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de lixiviados

Clasificación	Análisis
Materia Orgánica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Demanda Bioquímica de Oxígeno del 5° día. (DBO₅) 2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).
Parámetros Físicos	<ol style="list-style-type: none"> a. Conductancia Especifica b. Turbiedad
Parámetros Químicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Potencial Hidrógeno 2. Alcalinidad total 3. Cianuros 4. Cloruros 5. Dureza total 6. Fosfatos totales 7. Nitrógeno Orgánico 8. Nitrógeno Amoniacal 9. Sulfatos <p>Cationes:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Arsénico b. Cadmio c. Calcio d. Cobre e. Cromo total f. Hierro total g. Magnesio h. Mercurio total i. Níquel j. Potasio k. Plomo l. Sodio m. Zinc
Organismos indicadores bacteriológicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bacterias Coliformes totales en NMP/100 ml. 2. Bacterias Coliformes fecales en NMP/100 ml.

Para los análisis mostrados en esta lista, se recomienda que se efectuar por lo menos 2 veces al año y en función de los resultados que se obtengan, así como del tiempo que transcurra, se reducirá el número de parámetros a los más importantes que son:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅),
- Demanda Química de Oxígeno (DQO),
- Potencial Hidrógeno,
- Calcio,
- Magnesio,
- Sodio,
- Potasio,
- Hierro total,
- Cromo total,
- Plomo,
- Cobre,
- Níquel,
- Cadmio,
- Zinc,
- Mercurio total y
- Manganeso.

ANEXO 3. Registro de datos para curva masa.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Columna	Título	Aplicación
1	Estación	Se usa para indicar el número de punto o estación a que se refiere el cálculo.
2	Elevación del terreno	Se usa para indicar la elevación del terreno natural respecto a un banco de nivel fijo.
3	Elevación de la rasante	Se usa para indicar la elevación de la rasante de proyecto respecto al mismo banco de nivel fijo.
4	Area en corte	Se usa para indicar el área de corte respecto al terreno natural y el proyecto de la rasante.
5	Area en terraplén	Se usa para indicar el área de relleno o terraplén respecto a nivel de terreno natural y el proyecto de la rasante.
6	Suma de áreas en corte	Se usa para indicar la suma total de las áreas de corte.
7	Suma de áreas en terraplén	Se usa para indicar la suma total de las áreas de terraplén.
8	Semidistancia	Se usa para indicar la distancia promedio de corte o terraplén.
9	Volumen en corte	Es el resultado de multiplicar la suma de áreas en corte por la semidistancia.
10	Volumen en terraplén	Es el resultado de multiplicar la suma de áreas en terraplén por la semidistancia.
11	Volumen de residuos sólidos	Es el volumen de residuos sólidos a disponer.
12	Coefficiente de abundamiento	Se usa para indicar el coeficiente de abundamiento según el material de que se trate, en general se usa el 30 %.
13	Volumen de corte abundado	Es el resultado de multiplicar el volumen de corte por el coeficiente de abundamiento.

Columna	Titulo	Aplicación
14	Volumen de terraplén	Se usa para indicar el volumen de terraplén necesario.
15	Suma del volumen de cortes abundados	Es la suma total de todos los cortes ya multiplicado por su abundamiento.
16	Suma del volumen de terraplén	Es la suma total de todos los terraplenes necesarios.
17	Ordenadas.	Es la elevación de cada punto en un sistema de ejes cartesianos.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. Aburto V. Rafael, Chavarri M. Carlos M., "Movimiento de Tierras", Tomo 1, FUNDEC, A.C., 1991.
2. Aburto V. Rafael, "Los costos en la construcción", FUNDEC, A.C., 1991.
3. Asociación Mexicana para el control de los residuos sólidos y peligrosos, "Notas de los residuos sólidos y peligrosos", Invierno 1993.
4. Caterpillar Articulated Trucks, "Manual de manejo de desechos", 1991.
5. Caterpillar Articulated Trucks, "Sistemas para rellenos sanitarios", 1996.
6. Day A. David, "Maquinaria para la construcción", Edit. Limusa, 1995.
7. DGCOH, "Evolución de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental en México", 1994.
8. Diario Oficial de la Federación del 25/Nov/96, "Norma Oficial Mexicana, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales.", NOM-083-ECOL-1996.
9. Diario Oficial de la Federación del , "Norma Oficial Mexicana, que establece los requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo de un relleno sanitario.", NOM-084-ECOL-1986.
10. FEMISCA, A.C., "Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios", Julio de 1997.
11. González L. Gloria Inés, Sánchez G. Jorge, "Estabilización acelerada de los residuos sólidos en un relleno sanitario", UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria.
12. <http://cec.org/infobases/law/Data.cfm?Country=México&unique=11>, "Derecho ambiental en México".
13. <http://cec.org/infobases/law/Data.cfm?Country=México&unique=133>, "Disposiciones constitucionales para el Medio Ambiente".
14. <http://cec.org/infobases/law/Data.cfm?Country=México&unique=134>, "Plan o política nacional para el medio ambiente".
15. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, "Gaceta Ecológica México", Nueva época, Número 36, Septiembre 1995.
16. Jaramillo Jorge, Residuos Sólidos Municipales, "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios", Manuales de la Organización Panamericana de la Salud, 1991.
17. "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de 1988".
18. Mextrac, "Catálogos Técnicos", 1996.
19. Poder Ejecutivo Federal, "Programa para el Desarrollo del Distrito Federal 1995-2000".
20. Pineda M. Samuel I., Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos, LIME, 1998.

21. Romero B. Rene, "Control de lixiviados generados por la descomposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios", Tesis Profesional, UNAM, Facultad de Ingeniería, México, D.F., 1997.
22. Sánchez G. Jorge, "Lineamiento Técnicos para el diseño racional y confiable de rellenos sanitarios", Dirección Técnica de Desechos Sólidos, XXV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria.
23. SEDESOL, Manual para la operación de rellenos sanitarios, diciembre de 1996.
24. SEDUE, Subsecretaría de Ecología, "Manual de un Relleno Sanitario", Proyecto tipo para tres modalidades de rellenos sanitarios, Dirección General de Contaminación Ambiental.
25. Soto M. Isaac, "Evaluación del impacto ambiental causado por los rellenos sanitarios", Tesis Profesional, UNAM, Facultad de Ingeniería, México, 1996.
26. Subsecretaría de Ecología, "Términos de referencia para la elaboración de un Relleno Sanitario", Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
27. Tchobanoglous George, Theisen Hilary, "Integrated Solid Waste Management", Engineering Principles and Management Issues, Mc Graw-Hill International Editions
28. Vázquez G. Alba B., Cesar V. Enrique, "Impacto Ambiental", Facultad de Ingeniería, 1a. Edición, 1993.