

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



**REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO
SANITARIO Y LA CONSTRUCCION DE SUS
OBRAS COMPLEMENTARIAS, SEGUN
LA NOM-084-ECOL-1994
SEMINARIO
(OPCION II-A)**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA**

**PRESENTA
GERARDO LEAL SEGOVIA**

MARIN, N. L.

SEPTIEMBRE DE 1997



TL

TD795

.7

.L4

1997

c.1



1080110932

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMIA



REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO
SANTUARIO Y LA CONSTRUCCION DE SUS
OBRAS COMPLEMENTARIAS, SEGUN
LA NOM-084-ECOL-1994

SEMINARIO
(OPCION II-A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA

PRESENTA
GERARDO LEAL SEGOVIA

MARIN, N. L.

SEPTIEMBRE DE 1997

TK
TD 795
.7
.L4
1997



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



**REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO
SANITARIO Y LA CONSTRUCCION DE SUS OBRAS
COMPLEMENTARIAS, SEGUN LA NOM-084-ECOL-1994.**

**SEMINARIO
(OPCION II-A)**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA
PRESENTA**

GERARDO LEAL SEGOVIA.

MARIN, N.L.

SEPTIEMBRE 1997

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

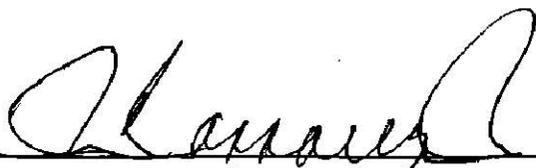
FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO Y
LA CONSTRUCCION DE SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS,
SEGUN LA NOM-084-ECOL-1994.

SEMINARIO elaborado por GERARDO LEAL SEGOVIA
aceptado y aprobado como requisito parcial para obtener el título de
INGENIERO AGRICOLA.

COMITE SUPERVISOR



Ing. Roberto Carranza de la Rosa
Presidente



Ing. Jesús Raúl Rodríguez Rodríguez
Secretario



Ing. Pedro Ricardo Oria Ramos
Vocal

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

SR. RAYMUNDO L. LEAL CAVAZOS
SRA. AMELIA SEGOVIA DE LEAL

A MIS HERMANOS:

JORGE
FERNANDO
MARIA DEL CARMEN

A MIS SOBRINOS:

JORGE
EDUARDO
MELANIE

Con el cariño y respeto que se merecen.

INDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla1. Residuos sólidos municipales.....	17
Tabla2. Rango de población.....	21
Tabla3. Criterios para caminos.....	24

INDICE

	Pág
Introducción.....	1
Definición.....	2
Métodos de relleno sanitario.....	2
Elementos de una celda.....	3
Franjas.....	4
Capas.....	5
Material de cubierta.....	5
Control de acceso, pesaje y tráfico.....	6
Medidas preventivas contra polvos, olores e incendios.....	7
Pozos de monitoreo.....	8
Vista final del relleno sanitario.....	9
El diseño de un relleno sanitario se basará en lo siguiente.....	9
Cálculo de la vida útil.....	10
Topografía.....	15
Cantidades y características de los residuos sólidos.....	16
Selección del método.....	16
Requerimientos volumétricos.....	16
Cálculo de la capacidad volumétrica.....	17
Cálculo de la vida del sitio.....	17
Dimensiones de la celda diaria.....	17
Criterios de construcción.....	19
Obras complementarias.....	20
Áreas de acceso y espera.....	21
Cerca perimetral.....	22

Caseta de vigilancia.....	22
Caseta de pesaje y báscula.....	22
Caminos.....	22
Criterios para la construcción de los caminos.....	23
Area de emergencia.....	24
Drenaje.....	24
Instalación de energía eléctrica.....	26
Señalamientos.....	26
Sistema de impermeabilización.....	26
Sistema de captación y extracción de lixiviados.....	27
Pozos de monitoreo para lixiviados.....	27
Sistema de captación de biógas.....	27
Sistema de monitoreo para biógas.....	28
Area de amortiguamiento.....	28
Almacén y cobertizo.....	28
Area administrativa.....	29
Servicios sanitarios.....	29
Bibliografía.....	30

INTRODUCCION.

Todo proceso de elaboración de un producto implica la previa transformación de materias primas mediante un proceso productivo. Esta transformación no siempre es completa, por lo que se generan productos de desecho, denominados residuos.

En la naturaleza no se generan residuos de un proceso biológico porque se aprovechan en otro, los seres humanos desarrollamos actividades y procesos productivos ineficientes que consumen grandes cantidades de energía, agua o materias primas, y que producen grandes cantidades de residuos que se emiten al aire, al agua o se tiran a la basura.

De acuerdo a su estado físico, los desechos se clasifican en residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Los residuos sólidos a su vez, según su origen, se clasifican en domiciliarios e industriales, formando parte de estas dos categorías los residuos hospitalarios y comerciales.

Los residuos constituyen una pérdida económica para quienes los generan y representa un gasto el deshacerse de ellos. Por lo que se requiere hacer una disposición final efectiva de ellos, y de modo, que no se produzcan daños al medio ambiente.

Los depósitos de basura ambientalmente inadecuados, además de ser peligrosos, deterioran el paisaje y desvalorizan las propiedades de las comunidades vecinas, trayendo consigo un impacto económico y social.

El relleno sanitario es un método de eliminación de residuos sólidos en tierra, a través del cual se disminuyen los riesgos para la salud y la seguridad pública. Su método se basa en seguir ciertos principios de ingeniería para depositar los residuos, ocupando menores dimensiones, reduciéndolos al mínimo mediante compactación y recubriéndolos con una capa de tierra al término de cada jornada o en los intervalos más frecuentes que resultarán necesarios.

DEFINICION.

El 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, se compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra al término de las operaciones del día.

La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles define al relleno sanitario como un método de disponer basuras en tierra, sin crear molestias o peligros a la salud y seguridad pública, utilizando los principios de ingeniería para confinar la basura al área más pequeña, reducir al volumen más pequeño posible, y cubrirla con una capa de tierra al concluirse las operaciones de cada día o a intervalos más frecuentes cuando fuere necesario.

METODOS DE RELLENO SANITARIO.

Trinchera.

Consiste en depositar los residuos sólidos sobre el talud inclinado (1:3) de una trinchera, donde son esparcidos y compactados en capas con el equipo adecuado, hasta formar una celda que después será cubierta con el material excavado de la trinchera, con una frecuencia mínima de una vez al día esparciéndolo y compactándolo sobre el residuo. Es comúnmente usado donde el nivel de aguas freáticas es profundo, las pendientes del terreno sean suaves y las trincheras puedan ser excavadas utilizando equipos normales de movimiento de tierra.

Area.

El método es similar al de la trinchera se compacta en capas inclinadas de 60 cm. para formar la celda que después se cubre con tierra. La celda se construye inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo. Este método se puede usar en cualquier terreno disponible. El material de cubierta debe transportarse de lugares cercanos al terreno.

Para que se cumpla la condición de ser relleno sanitario, al finalizar el trabajo diario se deben cubrir las celdas para evitar la proliferación de fauna nociva, malos olores y que los residuos sean llevados por el viento fuera del relleno.

Combinado.

En algunos casos cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son apropiadas, se pueden combinar los dos métodos anteriores, por ejemplo se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continua con el método de área en la parte superior.

Otra variación consiste en iniciar con un método de área, excavando el material de cubierta de la base de la rampa, formándose una trinchera, la cual servirá también para rellenarla.

Los métodos combinados son considerados los más eficientes ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta y aumentar la vida útil del sitio.

ELEMENTOS DE UNA CELDA.

Se llama celda, a la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta (tierra) debidamente compactados mediante un equipo mecánico.

Las celdas se diseñan conociendo la cantidad de residuos sólidos recolectados diariamente que llegaran al sitio seleccionado para relleno sanitario.

Los elementos de una celda son: altura, largo, ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales, espesores del material de cubierta diaria y del último nivel de celdas.

La altura de la celda depende de la cantidad de los residuos que se depositen, del espesor del material de cubierta, la estabilidad de los taludes y la compactación. 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.

El ancho mínimo de la celda o mínimo frente de trabajo, dependerá de la longitud de la cuchilla del equipo que se emplee en la construcción de las celdas. Se recomienda que el ancho mínimo sea de 2 a 2.5 veces del largo de la cuchilla de la maquinaria. Este factor de aumento es considerado para facilitar las maniobras de la maquinaria.

El talud de la celda es el plano inclinado donde se apoyan los residuos y los equipos compactadores. Su inclinación se especifica mediante un ángulo o una relación que indica el número de unidades que se avanza en dirección vertical por cada unidad que se avanza horizontalmente. Se recomienda que las celdas tengan un talud máximo de 1:3, de decir, que por cada metro de altura se avanzan tres metros horizontalmente.

El material de cubierta es la tierra necesaria que cubre los residuos después de haberlos depositado, esparcido y compactado, este material evita la proliferación de animales como ratas, insectos, etc.; malos olores al descomponerse los residuos y la dispersión de éstos fuera del relleno por el viento. Se recomienda un espesor de 15 a 20 cm. compactados de tierra entre los niveles de celda y 60 cm. compactados en la capa final.

FRANJAS.

Se llaman franjas a un conjunto de celdas del relleno sanitario que se encuentra en una misma capa o nivel. Cada celda del relleno se unirá con la celda del día siguiente y esta, a su vez, con la del tercer día y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denomina franja.

El diseño de las franjas estará de acuerdo con la topografía de la localidad y su número dependerá de las dimensiones de la celda requerida diariamente para depositar los residuos sólidos.

Después de formar las franjas el equipo mecánico nivelará la altura de las celdas con material de cubierta con el fin de que la superficie tenga la misma pendiente que la capa.

En los planos que ubican las construcciones del relleno con las capas, cada franja se numerará con dos subíndices, el primero indicará la capa correspondiente y el segundo a la franja.

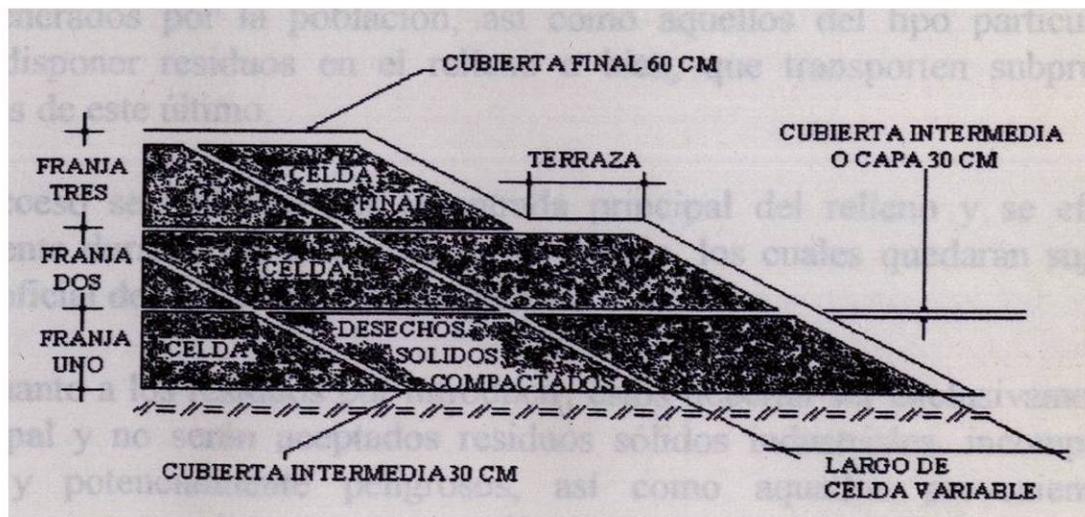
El sentido de la construcción de las franjas se realiza de la parte más alta a la más baja del terreno.

CAPAS.

Se llaman capas al conjunto de celdas que ocupan un mismo nivel en un relleno. Las celdas se unen unas con otras para formar las franjas y estas al irse juntando forman lo que se denomina capa.

Las capas se diseñan considerando la altura del sitio disponible para el relleno y al ubicarse en el plano de construcción, se calendarizan y numeran de abajo hacia arriba usando dos subíndices uno indicando capa y otro celda.

Para evitar infiltraciones pluviales y facilitar el escurrimiento del agua de lluvia, la superficie de las capas tendrán una pendiente del 1 al 2% a partir del eje longitudinal de la capa, teniendo la precaución de no dejar al descubierto los residuos ya sea por la acción del viento o escurrimiento de aguas superficiales o pluviales.



SECCION TRANSVERSAL DE UN RELLENO SANTARIO

MATERIAL DE CUBIERTA.

El material de cubierta tiene las siguientes funciones: evitar la entrada de agua, impedir el acceso a la fauna nociva, reducir los malos olores y ayudar al

control de incendios. Las pruebas experimentales han demostrado que una capa de 15 cm. de arcilla arenosa compactada cumple con estos requisitos. La aplicación diaria de la cubierta reduce grandemente la atracción de las aves y roedores sobre los desechos en busca de alimento y es esencial para mantener una buena apariencia del relleno sanitario.

CONTROL DE ACCESO, PESAJE Y TRAFICO.

El buen desarrollo de las actividades internas del relleno sanitario dependerán de un adecuado control en el acceso a las instalaciones, conocimiento del tipo de residuos a disponer y de la regulación del tránsito de los vehículos que circularán en el relleno. El control específico de esos puntos corresponde a las actividades siguientes:

Acceso.

El acceso al relleno sanitario corresponde a las actividades iniciales que deberán llevar a cabo los vehículos oficiales encargados de la recolección de los residuos generados por la población, así como aquellos del tipo particular que pretendan disponer residuos en el relleno o bien, que transporten subproductos provenientes de este último.

El acceso se realizará por la entrada principal del relleno y se efectuará exclusivamente durante los días y horas de trabajo, los cuales quedarán sujetos al calendario oficial de actividades del municipio.

En cuanto a los residuos por introducir, estos deberán ser exclusivamente del tipo municipal y no serán aceptados residuos sólidos industriales, incompatibles, peligrosos y potencialmente peligrosos, así como aquellos provenientes de hospitales, que por su origen presentan peligro para la salud del personal del relleno y otros.

Pesaje.

Autorizado el ingreso del vehículo al relleno, éste se dirigirá y estacionará en la plataforma de pesaje para registrar el peso de los residuos a disponer.

El encargado del pesaje deberá avisar al jefe de operación del relleno para que se autorice el ingreso del vehículo al frente del trabajo.

Toda vez que el vehículo haya dispuesto su carga en el lugar indicado por el jefe de operación regresará nuevamente a la báscula para ser pesado y registrado su tara. La persona encargada de la báscula llenará una tarjeta con los datos del vehículo, pesos del vehículo lleno y vacío, residuos recibidos y su procedencia, la fecha y hora de entrada, determinando el peso real de los residuos que ingresan o salen en forma de subproductos del relleno.

Tráfico.

Posterior al pesaje y previa autorización del jefe de operación, el vehículo podrá ser conducido al interior del relleno sanitario, respetando las normas de vialidad indicadas mediante los señalamientos pertinentes.

Dentro del relleno sanitario la velocidad máxima de circulación permitida será de 30 km./h. y bajo ningún concepto podrá ser excedido.

MEDIDAS PREVENTIVAS CONTRA POLVOS, OLORES E INCENDIOS.

Esta parte presenta algunas de las medidas preventivas básicas a considerar durante la construcción de las celdas, de tal manera que las actividades en el área de trabajo no se vean interrumpidas por los siguientes aspectos:

Polvos.

Para evitar problemas de levantamiento de polvo tanto en los caminos interiores de acceso, como en las capas de cubierta de las celdas del relleno se recomienda realizar riegos periódicos con agua sin llegar a saturar el material, utilizando para ello un camión cisterna.

Olores.

El relleno sanitario contará con un sistema de ventilación tal que permitirá desfogar los gases emanados del interior de las celdas; sin embargo, durante la operación podrán presentarse algunas molestias causadas por ello. Para eliminar este problema deberán llevarse a cabo los siguientes pasos:

- a) Cubrir con tierra o el material de cubierta recomendado, inmediatamente después de la disposición de los residuos en el área de trabajo.

- b) Tapar con tierra las grietas que se produzcan en las celdas, a causa de asentamientos o deformaciones.
- c) Eliminar la formación de charcos superficiales, infiltraciones laterales y erosiones en la corona y pie de los taludes.
- d) Rociar los residuos con desodorante apropiado si no se ha utilizado suficiente material de cubierta para la reparación del problema.

Incendios.

Se presentan con mayor frecuencia en residuos recién depositados. Las causas pueden ser las siguientes:

- a) Descarga descuidada de escorias calientes.
- b) Ignición espontánea.
- c) Incendio provocado intencionalmente.

Acciones que se recomiendan llevar a cabo:

- a) Aplicación de materiales inertes (grava, arena, tierra) si el incendio es cerca de la superficie.
- b) En incendios profundos excavar hasta el inicio del incendio y cúbrase la excavación con material de cubierta.

POZOS DE MONITOREO.

El relleno sanitario deberá contar con pozos para monitorear las aguas freáticas subterráneas someras que se localizan bajo su área.

Inmediatamente después de haber excavado el pozo se colocará en su interior una tubería especial de 0.10 m. de diámetro perforada en toda su longitud. El área anular localizada entre las paredes del pozo y la tubería deberá ser llenada con grava limpia y cuyo diámetro no será menor de 0.19 mm., los pozos contarán con un registro o tapa metálica para evitar que sean taponados o deteriorados durante su servicio.

De los pozos serán extraídas muestras de agua y deberán ser sometidas a análisis para determinar su calidad o grado de contaminación.

VISTA FINAL DEL RELLENO SANITARIO.

Una vez concluidas las operaciones del relleno sanitario y construcción de acuerdo a proyecto y a los métodos de operación existentes, se procederá a retirar el cercado perimetral, demolidos los edificios que no puedan tener un máximo aprovechamiento como por ejemplo: las casetas de vigilancia y pesaje, así como el cobertizo para resguardar la maquinaria.

Inicialmente el uso del relleno podrá ser destinado como área verde o zona recreativa con la finalidad de evitar impacto negativo. Desde el punto de vista estético se deberá realizar un proyecto arquitectónico que contemple la terminación del relleno en forma de una colina pastizada.

EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO SE BASARA EN LO SIGUIENTE:

- * Tipo de terreno.
- * Selección del sitio.
- * Hidrogeología.
- * Mecánica de suelos.
- * Especificaciones técnicas para la realización de estudios topográficos para los distintos tipos de terreno.
- * Cálculo de la vida útil.
- * Diseño de las celdas diarias.
- * Diseño de franjas.
- * Diseño de capas.
- * Material de cubierta.
- * Movimiento de tierra.
- * Impermeabilización y control de líquidos percolados.
- * Pozos de monitoreo.
- * Sistema de captación de biogás.
- * Sistema de captación de aguas de escurrimiento.
- * Obras complementarias.
- * Equipo mecánico.
- * Gerenciamiento.
- * Manual de operación.

* Especificaciones complementarias.

CALCULO DE LA VIDA UTIL.

Se llama vida útil de un relleno sanitario al tiempo años que se utilizará un sitio seleccionado para la disposición final de los residuos sólidos de una comunidad. La vida útil del sitio depende del volumen disponible del mismo, de la cantidad de residuos sólidos a disponer y del método de operación.

El volumen a disponer de residuos sólidos es la cantidad originada para una fuente en un determinado tiempo. Su valor se obtiene multiplicando la población de la comunidad por el índice de generación (kilogramos de residuos generados por habitantes y por día) y por la eficiencia de recolección.

El índice de generación varía de 0.5 a 1 kg. de residuos/hab./día. La eficiencia de recolección se refiere al porcentaje de la población total que goza de servicios de recolección y en general es difícil encontrar poblaciones con valores superiores al 70%.

En otras palabras, el volumen del sitio será ocupado por los residuos sólidos por disponer y por el material de cubierta.

La fórmula general para calcular la vida útil de un relleno sanitario es:

$$U = V_s / (365 G_t)$$

Donde:

U = Es la vida útil del relleno sanitario, en años.

V_s = Es el volumen del sitio seleccionado, en m^3 .

G_t = Es la cantidad de residuos sólidos recolectados en un tiempo determinado incluyendo el volumen del material de cubierta, en $m^3/día$.

El índice de generación se incrementará de 1 a 3% anual.

El valor promedio de las generaciones a los tres estratos socioeconómicos de una comunidad se encuentra expresado por:

$$G_P = (G_A + G_M + G_B) / 3$$

Donde:

G_P = Cantidad promedio de residuos sólidos a disponer, de la comunidad, en ton/día.

G_A = Cantidad de residuos sólidos a disponer, del estrato de nivel socioeconómico alto, en ton/día.

G_M = Cantidad de residuos sólidos a disponer, del estrato del nivel socioeconómico medio, en ton/día.

G_B = Cantidad de residuos sólidos a disponer, del estrato del nivel socioeconómico bajo, en ton/día.

Se selecciona un incremento de la tasa de generación entre valores de 1 a 3%; se selecciona el año futuro en que se desean depositar los residuos y se aplican las siguientes fórmulas:

$$G_{nf} = G_P (1 + rg)^{nf}$$

Donde:

G_{nf} = Cantidad de residuos sólidos a disponer en el año "nf", en ton/día.

G_P = Cantidad de residuos sólidos presentes a disponer, en ton/día.

rg = Tasa de incremento de generación, varía de 1 a 3, en porcentaje.

nf = Número de años considerados a futuro.

La cantidad de residuos sólidos anuales " $G_{t(nf)}$ " de la comunidad, para cualquier año futuro "nf", se calcula mediante la ecuación:

$$G_{t(nf)} = 365 G_{nf}$$

Donde:

$G_{t(nf)}$ = Cantidad de residuos sólidos para el año futuro "nf", en ton/año.

La cantidad de residuos sólidos total " G_T " de varios años se calcula por la ecuación:

$$G_T = \sum G_{t(nf)}$$

El volumen acumulado de los residuos sólidos V_{RT} para el años "nf", se calcula con la ecuación:

$$V_{RT} = G_{t(nf)} / P_V$$

y para varios años:

$$V_{RT} = G_t / P_V$$

Donde:

V_{RT} = Volumen acumulado de los residuos sólidos en el año "nf", en m^3 .

P_V = Peso volumétrico de los sólidos en el relleno sanitario, en ton/m^3 .

Se determina el volumen del material de cubierta, (V_M), el cual se estima entre un 20 a 30% del volumen de los residuos sólidos.

Se determina el volumen total de residuos sólidos y material de cubierta mediante la ecuación:

$$V_T = V_{RT} + V_M$$

Donde:

V_T = Volumen total de residuos sólidos y material de cubierta, en m^3 .

V_{RT} = Volumen acumulado de los residuos sólidos, en m^3 .

V_M = Volumen de material de cubierta, en m^3 .

Por último se calcula el área del relleno sanitario por medio de la ecuación:

$$A = V_T / H$$

Donde:

A = Area del relleno sanitario, en m^2 .

V_T = Volumen acumulado de los residuos sólidos y material de cubierta, en m^3 .

H = Profundidad del relleno sanitario, en m.

Ejemplo: Encontrar el área (A) de un relleno sanitario si la cantidad de residuos sólidos promedio inicial de la comunidad (G_P) es de 100 ton/día, la vida útil del relleno sanitario (U) es de 5 años, la profundidad media del relleno sanitario (H) será de 4.5 m., el incremento del índice de generación (rg) es de 3% y la compactación de los residuos sólidos (P_V) será de $0.5 \text{ ton}/m^3$.

Solución: Aplicar las fórmulas $G_{nf} = G_P (1 + rg)^{nf}$ y $G_{t(nf)} = 365 G_{nf}$ para determinar la cantidad de residuos sólidos de la comunidad en los cinco años.

Para el final del primer año:

$$G_1 = 100 \text{ ton/ día } (1 + 0.03)^1 = 103 \text{ ton/ día.}$$

$$G_{t1} = 365 \text{ días } (103 \text{ ton/ día}) = 37,595 \text{ ton.}$$

Para el final del segundo año:

$$G_2 = 100 \text{ ton/ día } (1 + 0.03)^2 = 106.1 \text{ ton/ día.}$$

$$G_{t2} = 365 \text{ días } (106.1 \text{ ton/ día}) = 38,722.8 \text{ ton.}$$

Para el final del tercer año:

$$G_3 = 100 \text{ ton/ día } (1 + 0.03)^3 = 109.3 \text{ ton/ día.}$$

$$G_{t3} = 365 \text{ días } (109.3 \text{ ton/ día}) = 39,884.5 \text{ ton.}$$

Para el final del cuarto año:

$$G_4 = 100 \text{ ton/ día } (1 + 0.03)^4 = 112.5 \text{ ton/ día.}$$

$$G_{t4} = 365 \text{ días } (112.5 \text{ ton/ día}) = 41,081.1 \text{ ton.}$$

Para el final del quinto año:

$$G_5 = 100 \text{ ton/ día } (1 + 0.03)^5 = 115.9 \text{ ton/ día.}$$

$$G_{t5} = 365 \text{ días } (115.9 \text{ ton/ día}) = 42,313.5 \text{ ton.}$$

Para obtener la generación total aplicamos:

$$G_T = \sum G_{t(nf)}$$

$$G_T = 199,596.9 \text{ ton.}$$

Para obtener el volumen de los residuos sólidos aplicamos:

$$V_{RT} = G_t / P_v$$

$$V_{RT} = 199,596.9 \text{ ton.} / 0.5 \text{ ton/m}^3 .$$

$$V_{RT} = 399,193.8 \text{ m}^3 \text{ de residuos sólidos.}$$

Para obtener el volumen de material de cubierta aplicamos:

$$V_M = 0.25 V_{RT}$$

$$V_M = 0.25 (399,193.8 \text{ m}^3)$$

$$V_M = 99,798.5 \text{ m}^3 .$$

Para obtener el volumen total aplicamos:

$$V_T = V_{RT} + V_M$$

$$V_T = 399,193.8 \text{ m}^3 + 99,798.5 \text{ m}^3 .$$

$$V_T = 498,992.3 \text{ m}^3 .$$

Por último obtenemos el área requerida para relleno sanitario utilizando:

$$A = V_T / H$$

$$A = 498,992.3 \text{ m}^3 / 4.5 \text{ m.}$$

$$A = 11,0887.2 \text{ m}^2 .$$

EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO, PARA LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES, DEBERA SUJETARSE AL SIGUIENTE PROCEDIMIENTO:

TOPOGRAFIA.

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

Planimetría.

- a) Tolerancia angular = $1' N^{1/2}$
- b) Tolerancia lineal = $1/3000$
- c) Ubicación de los límites del predio, cursos o cuerpos de agua superficial, área 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.

Donde:

N = Número de vértices de la poligonal.

Altimetría.

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

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 abarcaran 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 igual, 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 cada 50 m. en terrenos mayores a 8 hectáreas.

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.

CANTIDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.

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

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

SELECCION DEL METODO.

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

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 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

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.

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:

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

Donde:

U = Vida útil del relleno sanitario, en años.

V = Volumen del sitio seleccionado, en m³

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

DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA.

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.

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.

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

$$F = 0.0333 N T X$$

Donde:

F = Longitud del frente de trabajo, en metros.

N = Número de vehículos recolectores en la hora pico.

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

X = Ancho de los vehículos recolectores, en metros.

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

$$F \geq (X_i)^2 + i$$

Donde:

F = Longitud del frente de trabajo, en metros.

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

i = Número de equipos.

Largo de la celda.

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

$$L = V/WA$$

Donde:

L = Largo de la celda, en metros.

V = Volumen de la celda, en m^3

W = Ancho de la celda, en metros.

A = Altura de la celda, en metros.

CRITERIOS DE CONSTRUCCIÓN.

Criterio constructivo I:

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 existen ondulaciones y depresiones en el terreno deberán ser utilizadas como respaldo conforme a las primeras celdas de una determinada capa constructiva.

- 1.- Se prepara el terreno para trabajarlo a base de terrazas y al mismo tiempo extraer material para cubierta.
- 2.- El frente de trabajo o ancho de la celda se calculará de acuerdo a lo establecido en los incisos a y b.
- 3.- Los cortes al terreno se harán siguiendo la topografía del sitio, para formar terrazas y aprovechar al máximo el terreno.
- 4.- El talud de la celda diaria tendrá una relación de 1:3 ángulo de 18° .
- 5.- Cada celda del relleno será contigua con la del día anterior y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denominaran franjas. Estas celdas se construirán de acuerdo con la topografía del sitio.
- 6.- 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 uno tercero para la celda diaria.
- 7.- Las cubiertas intermedias que sirven de separación de las celdas diarias serán de 30 cm. el espesor de la cubierta deberá ser de 60 cm.

- 8.- La compactación de los residuos dependerá de su composición, el grado de humedad y el equipo utilizado. Para obtener entre un 50 a 70% de reducción de su volumen.
- 9.- Las cubiertas tendrán una pendiente del 2% para el drenado adecuado que impidan el paso del agua, para evitar la erosión se deberán forestar con especies propias de la región.

Criterio constructivo II:

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.

- 1.- 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.
- 2.- La trinchera deberá contar con una pendiente del 2% que permita el drenado de la excavación a lo largo de toda su longitud.
- 3.- 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.
- 4.- El procedimiento constructivo, será el mismo a partir del punto 4 de los criterios de construcción de las celdas por el método de área.

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 200,000	200,000 A 500,000	500 MIL EN DELANTE
AREA DE ACCESO Y ESPERA		*	*	*
CERCA O AREA PERIMETRAL		*	*	*
CASETA DE VIGILANCIA	*	*	*	*
CASETA DE PESAJE Y BASCULA		*	*	*
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 SANTARIOS			*	*
SISTEMA DE MONITOREO DE BIOGAS			*	*
SISTEMA DE CAPTACION Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS		*	*	*

AREAS DE ACCESO Y ESPERA.

- a) Las áreas de acceso y espera tienen como propósito el control de entradas y salidas del personal y de los vehículos de recolección.
- b) El acceso al relleno sanitario debe tener un ancho de 8.00 m. como mínimo.

- c) 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.

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 3.00 m. entre sí, para poblaciones de hasta 500,000 hab., y como mínimo con maya ciclónica de 2.20 m. de alto para poblaciones mayores.

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.

CASETA DE PESAJE Y BASCULA

- a) Las dimensiones de la caseta tendrá como mínimo 16 m² para alojar el dispositivo indicador de la báscula y el mobiliario necesario para el registro y archivo de datos.
- b) La báscula deberá ubicarse cerca de la entrada del relleno sanitario y contar con:
- 1) Superficie de dimensiones suficientes para dar servicio a la unidad recolectora o de transferencia de mayor volumen de carga.
 - 2) Capacidad acorde a la unidad recolectora de mayor volumen de carga.
 - 3) La báscula deberá ser de una precisión de 5 kg. y su instalación deberá apegarse a las disposiciones del fabricante.

CAMINOS

- a) Los caminos serán de dos tipos exteriores e interiores.

- b) Los caminos exteriores deben cumplir como mínimo las especificaciones siguientes:
- 1) Ser de trazo permanente.
 - 2) Garantizar el tránsito por ellos en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario.
- c) Cuando por el 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:
- 1) Una sub-base con espesor mínimo de 12 cm. formada de material natural producto de la excavación o explotación de bancos de materiales.
 - 2) Una base con espesor de 12 cm. de grava controlada y arena compactada al 90% de la prueba proctor.
 - 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.
- d) Los caminos internos deben cumplir las especificaciones siguientes:
- 1) Deberán permitir la doble circulación de los vehículos recolectores, hasta el frente de trabajo del relleno sanitario.
 - 2) Deberán ser de tipo temporal y que no presenten pendientes mayor del 5%.

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.

CAMINOS EXTERNOS		CAMINOS INTERNOS			
CARACTERIS- TICAS	CLASES DE CAMINOS				
	Plano y ondulado	montañoso	muy accidentado	plano y ondulado	Accidentado
Vel. De diseño en Km/h	60	40	30	40	25
Grado máximo	11° 00'	24° 30'	44° 00'	23° 00'	57° 00'
Radio mínimo (m)	105	47	26	50	20
Ancho de corona (m)	6	6	6	4	4
Pendiente máxima (%)	8	9	10	5	5
Carga para diseño	HS-20*	HS-20*	HS-20*	HS-10*	HS-10*
Carga sup. de rodamiento	Revestido	Revestido	Revestido	Transitable en cualquier época del año	Transitable en cualquier época del año

* HS= Carga permitida para diseño en ton.

AREA DE EMERGENCIA.

a) 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.

b) El área de emergencia deberá:

- 1.- Estar ubicada en el área que presente las mejores condiciones para su operación.
- 2.- Que su capacidad sea suficiente para una operación ininterrumpida de seis meses.
- 3.- Que exista material adecuado y en condiciones suficientes para cubrir diariamente los residuos.

DRENAJE.

a) Las obras de drenaje serán de tipo permanente y temporal.

- 1.- Las obras de drenaje permanente se construirán en los límites del relleno que tienen como objetivo la captación del escurrimiento de aguas arriba, los canales deberán revestirse con mortero: cemento-arena en proporción de 1:3 o mediante un sampeado de piedra junteada con mortero cemento-arena en proporción de 1:5, la velocidad del agua dentro de los canales no deberá ser menor de 0.60 m/seg. ni mayor de 2.00 m/seg.
- 2.- Las obras de drenaje temporal deberán construirse mediante canales de sección triangular con taludes de 3:1 relleno de grava de 3 cm. de tamaño máximo para evitar socavones, y captar las aguas pluviales para conducir las fuera del área de trabajo.
- 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.

Fórmula del Método Racional Americano:

$$Q = CiA / 0.36$$

Donde:

Q = Gasto máximo, en L/s.

C = Coeficiente de escurrimiento.

i = Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, en mm/h.

A = El área por drenar, en has.

0.36 = Factor de conversión.

Fórmula de Burklieziegler.

$$Q = 27.78 CiS^{1/4} A^{3/4}$$

Donde:

Q = Gasto máximo, en L/s.

C = Coeficiente de escurrimiento, (adimensional).

i = Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, en mm/hr.

S = Pendiente del terreno, en milésimas.

A = Area por drenar, en has.
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.

INSTALACION DE ENERGIA ELECTRICA.

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

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.

SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION.

- a) 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.
- b) 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 estos, debiendo asegurar una conductividad hidráulica mínima de 1×10^{-5} cm/seg. Se deberá demostrar que los materiales que integran dicho sistema no se deterioran 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.
- c) 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 conductividad hidráulica 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.

SISTEMA DE CAPTACION Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS.

- a) Deberá instalarse un sistema de captación de lixiviados inmediatamente por encima del sistema de impermeabilización.
- b) 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 carcamos 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^{-6} m²/seg. para espesores menos.

POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS.

- a) 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.
- b) Los pozos que se ubican fuera del relleno sanitario deberán profundizar 2 m. dentro del acuífero y el nivel o base del relleno.
- c) 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.

SISTEMA DE CAPTACION DE BIOGAS.

- a) Se deberán construir estructuras verticales de 60 a 100 cm. de lado a manera de chimenea, con malla y varilla, rellenos con piedra, esta estructura se

desplantarán 30 cm. 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.

- b) Se deberá instalar 2 pozos por hectárea de relleno.
- c) Independientemente del sistema de control que se use, el biogás que sea venteado o extraído, deberá ser quemado. El diseño de la instalación y el quemador deberá reunir las condiciones adecuadas para un óptimo funcionamiento.

SISTEMA DE MONITOREO PARA BIOGAS.

- a) El sistema de monitoreo de biogás 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 biogás de forma horizontal.
- b) Los sistemas de monitoreo para identificar la migración de biogás estará integrado por pozos distribuidos a lo largo del perímetro del relleno sanitario.

Estos se construirán con una separación máxima de 50 m. entre pozo y pozo y a una distancia mínima de 2 m. del límite de los residuos sólidos. La profundidad máxima será igual al espesor de residuos sólidos más un metro.

AREA DE AMORTIGUAMIENTO.

- a) El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral que fluctúe entre 15 y 30 m.
- b) Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales que reduzcan la salida de polvos, ruidos, y materiales ligeros durante la operación.

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.

AREA ADMINISTRATIVA.

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

SERVICIOS SANITARIOS.

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

BIBLIOGRAFIA.

BINATIONAL SOILD WASTE MANAGEMENT U.S. DEPARTAMENT OF HEALT, EDUCATION, AND WELFARE. MAY 1970.

DEFFIS C, ARMANDO. LA BASURA ES LA SOLUCION. Ed. ARBOL. Ed. 1994.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION Tomo CDLXXXIX No. 16, Pag. 66, Sección 1 México D.F., Miércoles 22 de Junio, 1994.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION Tomo CDLXXXIX No. 16, Pag. 64, Sección 1 México D.F., Miércoles 22 de Junio, 1994.

EMERES METROPOLITANA DE RESIDUOS LTDA. CONVERTIMOS UN PROBLEMA EN SOLUCION. Email: [emeres.emer001 @ chilmet.cl](mailto:emeres.emer001@chilmet.cl)

UNDA, DR. FRANCISCO. INGENIERIA SANITARIA APLICADA A SANEAMIENTO Y SALUD PUBLICA. Ed. UNION Ed. 1969.

