

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL PRESENTA

CARLOS HERIBERTO ACEVEDO ROMERO

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL
CENTRO DE APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS DE
IXTAPALUCA, ESTADO DE MEXICO.

OCTUBRE 1995

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*Con todo mi cariño y agradecimiento a
quienes me han enseñado el camino.*

Mis padres

Arq. Heriberto Acevedo y Jiménez

Alicia Romero de Acevedo



La motivación nos lleva a lograr cosas en la vida.

Mi motivación principal, con todo mi amor y agradeciendo su apoyo y comprensión

Mi esposa

María del Carmen Molina Vázquez

La base de la sociedad es la familia y gracias a su apoyo y colaboracion, he podido alcanzar esta meta. Mi amor y mis gracias.

Mis hermanos

Carina Loreli

Dania Xayara

Irza Yarani

Victor Leonardo

***A quienes sin su colaboración hubiera
sido imposible el desarrollo de este trabajo.***

Ing. Domingo Cobo Pérez

Ing: Salvador Acevedo Márquez.

EL JURADO

PRESIDENTE

Ing. Salvador Acevedo Márquez

VOCAL

Ing. Victor Jesús Perusquía Montoya.

SECRETARIO

Ing. Carlos Rosales Aguilar.

SUPLENTE

Ing. Manuel Gómez Gutiérrez.

SUPLENTE

Ing. María Andrea Suárez García.

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCION OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL CENTRO DE APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS DE IXTAPALUCA, ESTADO DE MEXICO.

INDICE GENERAL

PAGINA

1. INTRODUCCION.	1-1
2. INFORMACION GENERAL.	2-1
2.1 <i>Objetivos.</i>	2-1
2.1.1 <i>Antecedentes</i>	2-1
2.2 <i>Descripción general.</i>	2-2
2.2.1 <i>Localización del sitio.</i>	2-6
2.2.2 <i>Criterios de localización del sitio.</i>	2-8
2.2.3 <i>Area disponible</i>	2-9
2.2.4 <i>Población atendida</i>	2-10
2.2.5 <i>Características de los desechos aceptables y fuentes de origen</i>	2-10
2.2.5.1 <i>Cantidad de residuos a recibir y proyecciones</i>	2-10
2.2.5.2 <i>Peso volumétrico</i>	2-10
2.2.5.3 <i>Análisis de los residuos</i>	2-12
2.2.6 <i>Información de llegadas y vehículos de recolección</i>	2-13
2.2.6.1 <i>Equipos de recolección de alta especialización o tecnificación</i>	2-15
2.2.6.1.1 <i>Sistema de recolección por contenedores altamente especializados</i>	2-15
2.2.6.1.2 <i>Vehículos compactadores con contenedores y mecanismos de carga y descarga trasera, frontal y lateral</i>	2-15
2.2.6.2 <i>Equipos especializados para la recolección</i>	2-15
2.2.6.2.1 <i>Vehículos compactadores de carga lateral</i>	2-15
2.2.6.2.2 <i>Vehículo compactador de carga trasera</i>	2-16
2.2.6.3 <i>Equipos no convencionales para la recolección de residuos sólidos</i>	2-16
2.2.6.3.1 <i>Vehículos de volteo y redilas</i>	2-16
2.2.7 <i>Histograma de llegadas</i>	2-16
2.2.8 <i>Características del diseño de la disposición final</i>	2-18
2.2.9 <i>Cubierta final</i>	2-19
2.2.10 <i>Accesos al sitio</i>	2-19
2.2.11 <i>Estudios preliminares</i>	2-20
2.2.2 <i>Estudios preliminares.</i>	2-14
2.3 <i>Uso del suelo.</i>	2-14

3. DESCRIPCION DEL SITIO.	3-1
3.1 Topografía actual del sitio.	3-1
3.2 Hidrología superficial.	3-1
3.3 Climatología.	3-3
4. GEOLOGIA Y GEOHIDROLOGIA DEL SITIO.	4-1
4.1 Geología regional.	4-1
4.1.1 Eje Neovolcánica.	4-2
4.1.2 Sierra Madre del Sur.	4-3
4.1.3 Unidades litológicas.	4-3
4.2 Hidrogeología.	4-4
4.3 Geología económica.	4-5
4.4 Sismicidad.	4-5
4.5 Descripción del sitio.	4-6
4.6 Investigación de campo y metodología.	4-6
4.6.1 Sondeos.	4-7
4.6.2 Ensayes de permeabilidad.	4-7
4.6.3 Ensayes de laboratorio.	4-7
4.6.4 Estratigrafía.	4-8
4.6.5 Coeficiente de permeabilidad.	4-9
4.7 Geología del sitio.	4-9
4.7.1 Terciario Andesita T(a).	4-9
4.7.2 Plio Cuaternario brecha volcanoclastica PQ(br)	4-10
4.7.3 Cuaternario basalto Q(b)	4-10
4.7.4 Cuaternario brecha volcánica básica	4-10
4.7.5 Cuaternario toba Q(t)	4-11
4.7.6 Cuaternario lacustre Q(la)	4-11
4.7.7 Cuaternario aluvial Q(al)	4-11
4.7.8 Material de relleno Q(R)	4-12
4.8 Geofísica.	4-12
4.8.1 Unidad geoelectrica I.	4-12
4.8.2 Unidad geoelectrica II.	4-12
4.8.3 Unidad geoelectrica III	4-12
4.8.4 Unidad geoelectrica IV	4-12
4.8.5 Unidad geoelectrica V	4-13
4.9 Geohidrología del sitio.	4-13
4.9.1 Resumen del sistema hidrogeológico.	4-13
4.9.1.1 Unidad hidrogeológica I.	4-13
4.9.1.2 Unidad hidrogeológica II.	4-14
4.9.1.3 Unidad hidrogeológica III.	4-14
4.9.1.4 Unidad hidrogeológica IV.	4-14
4.9.1.5 Unidad hidrogeológica V.	4-14
4.9.2 Pozos existentes alrededor del área.	4-14

5. CONFIGURACION DEL PROYECTO DEL CENTRO DE APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL	5-1
5.1 Características de los desechos, áreas y volúmenes del sitio	5-1
5.2 Vida útil del sitio	5-1
5.3 Diseño del área disponible.	5-3
5.3.1 Diseño del área de relleno y excavación.	5-4
5.3.2 Etapas del relleno.	5-34
5.3.3 Estudios de balance de agua.	5-34
5.3.4 Diseño del frente de trabajo.	5-36
5.3.4.1 Diseño de la celda diaria	5-37
5.3.4.1.1 Cálculo de la primera celda	5-37
5.3.5 Construcción de la capa impermeable.	5-39
5.3.5.1 Análisis tendiente a la preservación del equilibrio ecológico y la no afectación al suelo y cuerpos de agua	5-40
5.3.5.2 Diseño del sistema de impermeabilización	5-40
5.3.5.3 Sistema reforzado para la colocación de una geomembrana que protejera al talud y se tralaparé con el sistema de protección del fondo del relleno o del talud de la etapa anterior	5-42
5.3.6 Diseño de interfase, análisis de contaminación del suelo y acuíferos.	5-45
5.3.6.1 Zona no saturada.	5-46
5.3.6.2 Zona saturada.	5-47
5.3.6.3 Análisis de la contaminación del suelo por carga catiónica	5-48
5.3.6.4 Análisis de contaminación del suelo por carga orgánica	5-49
5.3.7 Control de agua superficial.	5-51
5.3.7.1 Diseño de cunetas	5-52
5.3.7.2 Control de la erosión.	5-54
5.3.7.3 Control de sedimentos	5-54
5.3.8 Topografía final.	5-54
5.4 Obras de apoyo.	5-54
5.4.1 Caminos de acceso.	5-55
5.4.2 Señalamientos	5-57
5.4.3 Cerca perimetral	5-58
5.4.4 Tratamiento de lixiviado	5-59
6. OPERACION.	6-1
6.1 Preparación del sitio.	6-1
6.1.1 Acondicionamiento del terreno.	6-1
6.2 Administración.	6-2
6.2.1 Horario de operación.	6-2
6.2.2 Selección de maquinaria y equipo.	6-2
6.2.2.1 Tractores de carriles.	6-2
6.2.2.2 Cargadores.	6-4
6.2.2.3 Motoconformadoras.	6-4
6.2.2.4 Compactadores.	6-5
6.2.2.5 Pipas.	6-5

6.2.3	Requerimiento de maquinaria	6-6
6.2.4	Control	6-8
6.2.5	Seguridad	6-8
6.2.6	Servicios	6-9
6.2.7	Báscula	6-9
6.2.8	Metodología para efectuar la operación	6-10
6.2.8.1	Método de zanja o trinchera	6-10
6.2.8.2	Método de área	6-10
6.3	Control de afectaciones	6-10
6.3.1	Control de desechos	6-10
6.3.2	Olor	6-11
6.3.3	Polvos	6-11
6.3.4	Fuego y explosiones	6-11
6.3.5	Control de biogás	6-12
6.3.6	Ruido	6-12
6.3.7	Operación en época de lluvia	6-12
6.3.8	Interrupción de la operación normal	6-13
6.3.9	Bardeado, limpieza y vigilancia	6-13
6.4	Manual de operación	6-13
6.4.1	Preliminares	6-13
6.4.2	Operación	6-14
6.4.2.1	Zona inferior (Zonal)	6-14
6.4.2.2	Zona superior (zonal)	6-16
6.4.2.3	Zona superior II	6-16
6.4.3	Operación en temporada de lluvias	6-16
7	MONITOREO DEL SITIO	7-1
7.1	Monitoreo de lixiviado	7-1
7.2	Monitoreo del acuífero	7-1
7.3	Monitoreo del biogás	7-3
7.4	Monitoreo de post-clausura	7-4
7.5	Operación del monitoreo	7-4
8	CLAUSURA DEL SITIO	8-1
8.1	Revegetación	8-1
8.2	Monitoreo	8-1
8.3	Inspección y mantenimiento	8-1
8.4	Uso del suelo	8-2
9	PLAN GENERAL DE CONSTRUCCION Y RELLENO	9-1
9.1	Construcción	9-1
9.2	Relleno	9-2
9.3	Control de agua superficial y erosión	9-2
9.4	Clausura	9-3
9.5	Costos	9-3

10. TRATAMIENTO	10-1
10.1 Características de los residuos.	10-1
10.2 Alternativas de tratamiento para los residuos sólidos municipales	10-2
10.2.1 Tratamientos para la reducción de volumen	10-3
10.2.1.1 Trituración	10-3
10.2.1.2 Empacado o enfiardado	10-4
10.2.1.3 Incineración	10-5
10.2.2 Recuperación de materiales.	10-6
10.2.3 Combustible derivado de la basura	10-7
10.2.4 Pirólisis	10-8
10.2.5 Compostaje	10-8
10.2.6 Hidrólisis	10-10
10.3 Selección de las alternativas de tratamiento	10-10
10.3.1 Discriminación de alternativas	10-10
10.3.1.1 Tratamientos para la reducción de volumen	10-10
10.3.1.2 Recuperación de materiales	10-11
10.3.1.3 Combustible derivado de la basura (RDF)	10-11
10.3.1.4 Pirólisis	10-11
10.3.1.5 Compostaje	10-12
10.3.1.6 Hidrólisis	10-12
10.3.2 Análisis económico	10-13
10.3.2.1 Recuperación de materiales	10-13
10.3.2.2 Incineración	10-14
10.3.2.3 Compostaje	10-15
10.3.3 Estimado de los ingresos para una planta de 4,200 Ton/día	10-16
10.3.3.1 Recuperación manual de subproductos	10-16
10.3.3.2 Incineración	10-17
10.3.3.3 Composteo	10-17
10.4 Fuentes de financiamiento	10-19
10.5 Localización de la planta de tratamiento	10-19
11. GERENCIAMIENTO	11-1
11.1 Residente general.	11-1
11.1.1 Actividad.	11-1
11.1.2 Funciones.	11-1
11.2 Secretaria del residente del general.	11-2
11.2.1 Actividad.	11-2
11.2.2 Funciones.	11-2
11.3 Jefe de operación y construcción.	11-2
11.3.1 Actividad.	11-2
11.3.2 Funciones.	11-2

11.4	Operadores de maquinaria	11-3
11.4.1	Actividad	11-3
11.4.2	Funciones	11-3
11.5	Seleccionadores	11-4
11.5.1	Actividad	11-4
11.5.2	Funciones	11-4
11.6	Mecánico	11-4
11.6.1	Actividad	11-4
11.6.2	Funciones	11-4
11.7	Almacenista	11-4
11.7.1	Actividad	11-4
11.7.2	Funciones	11-5
11.8	Acomodadores	11-5
11.8.1	Actividad	11-5
11.8.2	Funciones	11-5
11.9	Secretaría del jefe de operación y construcción	11-5
11.9.1	Actividad	11-5
11.9.2	Funciones	11-6
11.10	Jefe de control	11-6
11.10.1	Actividad	11-6
11.10.2	Funciones	11-6
11.11	Encargado de control ambiental	11-6
11.11.1	Actividad	11-6
11.11.2	Funciones	11-6
11.12	Encargado de caseta	11-7
11.12.1	Actividad	11-7
11.12.2	Funciones	11-7
11.13	Encargado de báscula	11-7
11.13.1	Actividad	11-7
11.13.2	Funciones	11-7
11.14	Encargado de topografía	11-8
11.14.1	Actividad	11-8
11.14.2	Funciones	11-8
11.15	Secretaría del jefe de control	11-8
11.15.1	Actividad	11-8
11.15.2	Funciones	11-8
11.16	Jefe administrativo	11-8

11.16.1	Actividad	11-8
11.16.2	Funciones	11-8
11.17	Jefe de personal	11-9
11.17.1	Actividad	11-9
11.17.2	Funciones	11-9
11.18	Jefe de contabilidad	11-9
11.18.1	Actividad	11-9
11.18.2	Funciones	11-9
11.19	Secretaria del jefe administrativo	11-9
11.19.1	Actividad	11-9
11.19.2	Funciones	11-9
11.20	Velador del relleno sanitario	11-10
11.20.1	Actividad	11-10
11.20.2	Funciones	11-10
11.21	Checador	11-10
11.21.1	Actividad	11-10
11.21.2	Funciones	11-10

12. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCCION.

En los últimos años, la Ciudad de México y la Zona Metropolitana conurbada, han presentado un crecimiento acelerado de la población, lo cual ha generado una alta demanda de servicios urbanos; esto ha traído como consecuencia la necesidad de cumplir ciertos satisfactores que permitan una correcta relación de equilibrio entre la población de esta zona y el medio ambiente, con el fin de obtener una mejor calidad de vida en el desarrollo de sus actividades. Dentro de este marco, uno de los servicios más importantes es el de contar con un sistema adecuado de manejo y disposición final de los desechos sólidos que se generan en el área (aproximadamente 18,000 toneladas diarias) y que tendrá como resultado una mejoría a la salud y calidad de vida de la población.

El manejo de los desechos sólidos, está relacionado con el estudio de las siguientes actividades: la generación, manejo en sitio, recolección, transferencia y transportación, tratamiento y recuperación, así como disposición final de todos los desechos sólidos resultantes de la actividad humana y animal en las sociedades actuales.

La disposición final de los desechos sólidos, que comprende; la ubicación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y abandono de las obras relativas a lo que en conjunto se conoce como relleno sanitario, debe realizarse de acuerdo a bases técnicas, económicas, de salud pública y ambientales, para establecer los lineamientos operativos o medidas de mitigación pertinentes, tanto de ingeniería como de manejo ambiental con el fin de obtener el mayor beneficio ambiental posible.

Actualmente es una preocupación la necesidad de dar una disposición final en forma ordenada a los residuos municipales; con el fin de optimizar esta situación, se pretende realizar una recuperación del subproducto factible de comercialización o reciclaje y así provocar un funcionamiento más controlado de la obra de ingeniería llamada relleno sanitario.

A la fecha la Dirección General de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal, a través de la Dirección Técnica de Desechos Sólidos y en virtud del deficiente o nulo control que se ha tenido de los desechos sólidos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, esta desarrollando un Programa Metropolitano para dar solución a este problema, ya que hasta el momento, se han generado problemas de contaminación en aire, suelo y agua, alteraciones en el ecosistema, incendios recurrentes en los actuales sitios de localización final de desechos, daños a la salud pública, así como, un descontento continuo de la población.

Por todo lo anterior y dado lo apremiante y prioritario que es dar una solución efectiva a la disposición final de los residuos en el área metropolitana de la Ciudad de México, se han realizado los proyectos de rellenos sanitarios para los sitios de: Huixquilucan, Naucalpan, Huilango y Chiconautla; además se han hecho estudios regionales para la localización de sitios favorables para este fin como es el caso del sitio denominado Ixtapaluca, dentro del municipio del mismo nombre, en el cual se pretende construir un centro de aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos. El sitio se encuentra localizado al oriente del actual centro de disposición final de SANTA CATARINA, el cual se encuentra causando problemas ambientales y de salud, además de la inconformidad social que acarrea una inadecuada disposición de estos desechos. El propósito es dar solución al problema de los desechos sólidos, dentro de la Región VI del mencionado programa Metropolitano.

Es por ello que se ha realizado el presente proyecto ejecutivo para la construcción, operación y mantenimiento del CENTRO DE APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS DE IXTAPALUCA, el cual sustituirá al actual sitio de disposición, el cual está proximo a concluir su vida útil y representa ya un riesgo de afectación ambiental.

2. INFORMACION GENERAL.

2.1 Objetivos.

El objetivo central del presente proyecto es el *diseño del Centro de Aprovechamiento y Disposición Final para Desechos Sólidos no tóxicos*, ubicado en el sitio IXTAPALUCA, dentro del municipio del mismo nombre en el estado de México, contemplando el diseño de las obras de apoyo, recuperación, monitoreo y control, necesarias para el correcto funcionamiento del sitio durante la construcción, operación y clausura del mismo.

Asimismo tiene como objetivo el establecer estimativamente los *gastos de inversión y operación del centro de aprovechamiento y disposición final*; así como el establecer los *manuales de operación, organización y administración del mismo*.

2.1.1 Antecedentes.

Para la determinación del sitio, la empresa Exploraciones y Estudios Geológicos, Geotécnicos y Geohidrológicos (EXYCO) en conjunto con Proyectos Moro, S.A. realizó un estudio llamado "Zonas Favorables para la ubicación de Rellenos Sanitarios en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México" (septiembre de 1991) en el cual concluye que *las unidades litológicas aptas para localizar sobre ellas rellenos sanitarios, son las correspondientes a las localidades de afloramiento de la Formación Tarango, en las partes bajas de las sierras al oriente y poniente de la cuenca. Esta formación presenta materiales de naturaleza limo arcillosa y arenosa con espesores variables entre 10 y 15 m. y con permeabilidades entre 10^{-4} y 10^{-8} cm/seg. La otra unidad litológica apta para ubicar rellenos sanitarios es la correspondiente a los depósitos lacustres del Cuaternario, que ocupan las partes planas y más bajas de la cuenca, que son depósitos de naturaleza limo-arcillosa y arcillosa, con espesores hasta de 50 m. o mayores, con permeabilidades inferidas del orden de 10^{-7} cm/seg.*

Se ha estudiado la zona oriente del Valle de México para definir las características del marco geológico regional y de aquí se determinó que dentro de este marco regional, el sitio de Ixtapaluca puede ser favorable para la ubicación del Centro de Aprovechamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos.

A partir del estudio antes mencionado, la empresa citada en segundo término, realizó el "Estudio Geológico, Geohidrológico De Detalle Para La Ubicación De Rellenos Sanitarios En El Sitio Ixtapaluca, En El Estado De México" (mayo 1992). En este, concluye que, para poder utilizar el área sin riesgo, es necesario un conocimiento mayor y más detallado de la profundidad a que se encuentra el nivel piezométrico, la estratigrafía y permeabilidad de los materiales localizados por encima de este nivel, así como la continuidad hacia el acuífero del valle. Para lo anterior recomienda la realización de ciertas actividades listadas en el mismo estudio, a saber: perforar tres sondeos a una profundidad máxima de 300 m.; llevar un control detallado de los materiales que se corten durante las perforaciones; realizar pruebas de permeabilidad en forma selectiva, según los resultados y si es posible, llevar a cabo registros eléctricos al finalizar cada sondeo. Señala por último este estudio que, a partir de los resultados, se podrá concluir si el sitio es favorable o no para la ubicación del Centro de Aprovechamiento y Disposición Final.

Menciona el mismo estudio que en la zona del arroyo El Tezoyo, se ubica la traza de una estructura geológica reciente, que puede incrementar la permeabilidad natural del terreno, por lo que, si después de los estudios

complementarios se concluye que el sitio puede ser utilizado, es conveniente depositar los residuos sólidos lo más alejado que se pueda del arroyo, para evitar que los lixiviados circulen a través de dicha estructura.

Por todo lo anteriormente mencionado se desarrollaron como anteproyectos las opciones que definieron si el sitio es favorable desde el punto de vista de capacidad volumétrica y vida útil, sujeto esto al resultado de los estudios complementarios.

El sitio estudiado se encuentra en la zona este del municipio de Ixtapaluca, en el Estado de México, entre las coordenadas 19°19'53" y 19°18'53" de latitud norte y 98°47'30" y 98°49'00" de longitud oeste y cubre un área aproximada de 90 km². Se encuentra en las estribaciones de las Sierras Frías y el clima predominante (según Köppen, modificado por García, 1988) es el Cb' (tw2)(w)igw', siendo este un clima semifrío con verano fresco largo, siendo el más húmedo de los subhúmedos.

Dentro de las consideraciones para los anteproyectos, se tomaron dos sitios como factibles para su utilización: el primero ubicado en el Rancho Loma Ancha, al oeste del mismo en un antiguo banco de materiales, del que se extraía arena y grava, lo que provocó la severa modificación de la topografía original; sobre el lecho del arroyo se acumularon a través del tiempo los materiales que quedaron de reza productiva de la explotación formando una serie de seudoterrazas.

El segundo sitio se encuentra hacia la ladera sur del anterior y esta constituido por la propiedad de los sres. Ernesto Flores y Mauricio Urdaneta Casas. El predio está siendo explotado como mina de arena y grava lo cual, ha acabado con la topografía original y presenta paredes prácticamente verticales de entre 60 y 90 m. en donde se observan claramente las unidades que se explotan. Dentro del predio se encuentran las instalaciones que forman la infraestructura de la mina y que sería necesario retirar. En el fondo de los socavones originados por la explotación se observan materiales altamente permeables y de granulometría variable.

Para iniciar el proyecto ejecutivo, se realizaron tres opciones de anteproyecto; la primera considerando la utilización del predio del Rancho Loma Ancha de acuerdo a los datos obtenidos de la topografía realizada por la empresa Consultores, S.A., la segunda considera el aprovechar el terreno propiedad de los Sres. Flores y Urdaneta que actualmente consiste en un banco de materiales de arena y grava principalmente; es necesario mencionar que en este momento no se cuenta con topografía del sitio, sino exclusivamente con una restitución fotogramétrica. Por último, la tercera opción consiste en una solución conjunta, es decir, utilizando ambos predios.

Como resultado de estos trabajos se determinó que la opción correspondiente al uso de los dos predios es la más favorable y sobre esta se desarrolla el presente proyecto ejecutivo.

2.2 Descripción general.

El proyecto del centro de aprovechamiento y disposición final en el sitio conocido como "Ixtapaluca", ubicado dentro del Municipio de Ixtapaluca, en el Estado de México, tiene como objetivo la recuperación de subproducto y la disposición final de los residuos sólidos No peligrosos de la Región VI del Programa Metropolitano constituida por las delegaciones de Iztacalco, Iztapalapa, Coyoacán, Tlalhuac, Xochimilco, Milpa Alta y Tlalpan; así como los municipios de Chalco e Ixtapaluca, (fig 1).

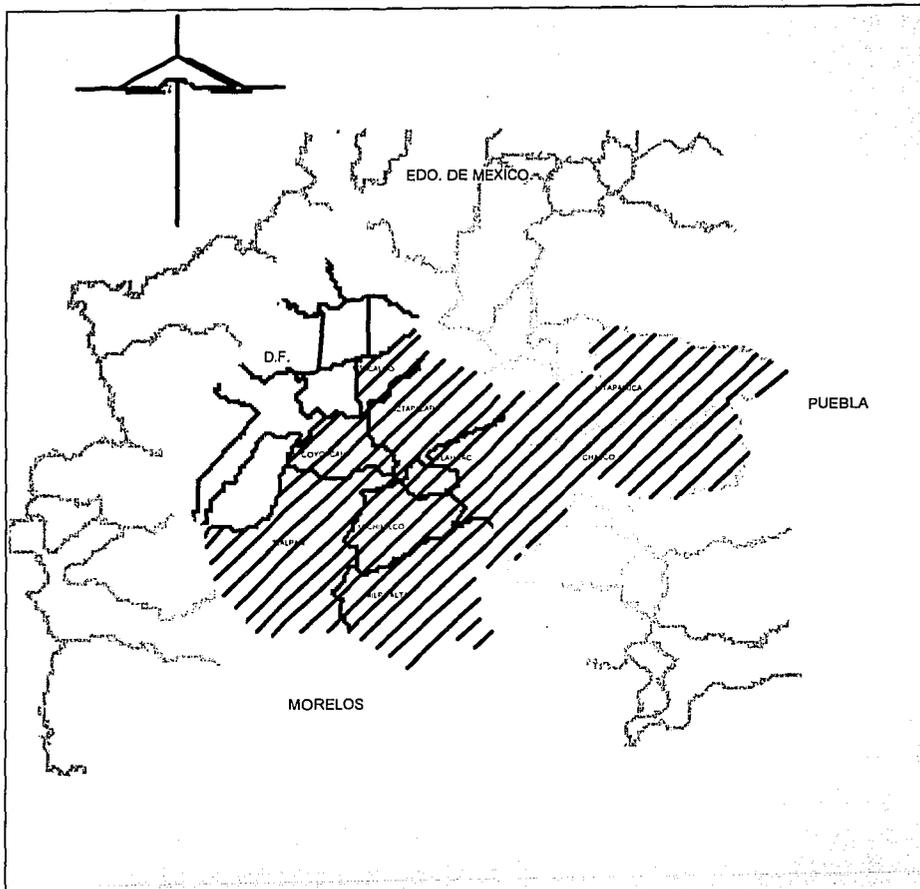


Figura 1: Región VI del Programa Metropolitano

En la actualidad se estima que el volumen de residuos generados en la zona es del orden de 4,174 ton./día, (información obtenida del esquema metropolitano de generación, DDF octubre 1992), tomando en consideración la aportación de todas las delegaciones mencionadas al 100 % de su generación excepto Tlalpán que aportará solo el 55 % de su generación y el 100 % de la generación de los municipios mencionados.

Actualmente se disponen del orden de 2,500 ton./día de residuos sólidos en el tiradero de Santa Catarina; mediante la implantación del Centro de Aprovechamiento y Disposición final de Ixtapaluca, se incrementaría la capacidad de disposición a 4,236 ton./día, para el primer año, es decir aproximadamente 69 % más. En este sentido, la satisfacción de la demanda del servicio requerido por la población se incrementará a futuro, llegando a tener una capacidad total de disposición de 10,699 ton./día para el año 2015, siendo entonces su tiempo de vida útil de cuando menos 23 años, el cual se desarrollará en tres etapas generales de operación de la disposición final.

La construcción y operación del Centro de Aprovechamiento y disposición final de Ixtapaluca deberá satisfacer sólo el crecimiento de la demanda de las delegaciones y municipios aportantes que forman la región VI dentro del programa Metropolitano, durante el tiempo de vida útil previsto, estos son los valores que se consideran dentro del presente proyecto.

El sitio seleccionado para el centro de tratamiento y disposición final se encuentra a 3 km, al oriente del poblado de la Cañada, y a unos 8.5 km al NE del pueblo de Ixtapaluca; está constituido por dos predios, el de la familia Careaga (Rancho Loma Ancha) y el de los Sres. Flores y Urdaneta.

El Rancho Loma Ancha tiene un área de 176 Ha, de estas se pretenden ocupar aproximadamente 51 Ha. para el presente proyecto; la propiedad de los Sres. Urdaneta y Flores tiene un área de aproximadamente 125 Ha. de las cuales se pretenden usar 52 Ha. para la disposición final, lo que nos da un total de 103 Ha. aprovechables en el sitio. Estas 103 Has. se encuentran distribuidas al sur de la carretera libre a Puebla y hacia la autopista México-Puebla. El predio ubicado al norte y que corresponde al Rancho de Loma Ancha presenta una pendiente promedio de 7 % en sentido NE-SW y de un 20 % promedio en sentido N-S. El predio ubicado al sur constituido por la propiedad de los Sres. Flores y Urdaneta corresponde a las minas que se encuentran en explotación y que en su ladera norte presentan cortes casi verticales de entre 60 y 100 m. de altura.

Se puede decir que las actividades correspondientes a la etapa de acondicionamiento se resumen en preparación de la superficie de desplante, construcción de la interfase impermeable, construcción de celdas de confinamiento, de caminos de penetración, de sistemas para captación y tratamiento de lixiviados y control del agua superficial. La etapa de operación, dentro de sus actividades previstas, comprenderá la recepción y pesaje de residuos, recuperación de subproducto, esparcido de los desechos sólidos, compactación, cubierta de los mismos y construcción de los sistemas para captación de biogás.

Finalmente, las actividades correspondientes a la clausura comprenden a la construcción de un sello o cubierta final, recuperación del sitio mediante una capa de suelo vegetal y siembra de pastos y arbustos, así como a las correspondientes al control y monitoreo de biogás, lixiviados y asentamientos locales.

Debido a la naturaleza de esta obra de ingeniería, en este caso puede considerarse un traslape entre las etapas de construcción y operación, así como entre las de operación y clausura, esto causado por el avance progresivo en el llenado de las celdas conforme pasa el tiempo, por lo que algunas obras no se requieren desde el inicio de la operación del sitio. Asimismo, al término del llenado completo de una o varias celdas, es posible dar inicio con las obras de clausura correspondientes a esas celdas en particular, continuando con la construcción y operación de nuevas celdas.

La disposición final se realizará siguiendo la idea de un relleno sanitario, que básicamente es una obra de ingeniería diseñada para la disposición final de los residuos sólidos municipales no peligrosos, se construirá bajo el criterio de área mínima expuesta, es decir, utilizando celdas diarias de depósito perfectamente controladas mediante diques de operación e impermeabilizadas de acuerdo a lo especificado más adelante, lo cual permitirá confinar los residuos en un área mínima expuesta (celda diaria de trabajo) que será cubierta con material inerte al término de cada día de operación.

El diseño de celda diaria inicial para 1992 es de 3.00 m. de altura, 60.0 m. de frente de trabajo y 27.69 m. de fondo como medidas promedio, con una capacidad de 6.02 celdas por hectárea. Para el año final de la operación correspondiente a este proyecto (2015), las dimensiones de celda serán de 3.00 x 60.00 x 69.92 m. de alto, frente y fondo respectivamente, con una ocupación por hectárea de 2.38 celdas.

El requerimiento diario de material de cubierta para 1992 será de 342.67 m³, para su operación final será de 741.82 m³, con un promedio de material de cubierta diaria para el período de 1992 al año 2015 de 498.78 m³. Este material estará constituido por la toba existente en la parte de la loma que será excavada en el ataque de los mineros. Realizado el balance de suelo (excavación-material de cubierta) se tiene que el material producto de las excavaciones del sitio es suficiente y excesivo para cubrir las necesidades de capa impermeable, material para cubierta diaria y material para cubierta final, así como material para caminos, bermas y presas. Tomando en consideración que para dar la capacidad al sitio es necesario excavar en la parte de la loma hasta la explotación de la brecha, toda la toba existente se tendrá como disponible considerando la merma por proceso de excavación y alteración.

La cubierta de celda diaria, incluirá los siguientes elementos: talud inclinado del frente de trabajo (3:1) piso superior de celda (superficie de cubierta superior terminada y compactada a 15 cm) y costado derecho de la celda (dique de operación inicial para la siguiente celda). Respecto al ataque del frente de trabajo, quedará implícitamente terminado y cubierto al ejecutar el relleno en forma adecuada.

La superficie horizontal de celda para el primer año de operación será de 1,661.41 m² y para el último año será de 4,195.70 m², con una superficie horizontal promedio de 2,652.62 m². En cuanto al volumen total de celda, para el primer año de operación será de 5,326.902 m³ y para el último año será de 13,328.923 m³, con un promedio de volumen de 8,443.78 m³, durante el tiempo de vida útil del relleno, es decir, aproximadamente 23 años.

En cuanto al número de viajes que ingresarán al relleno sanitario se puede mencionar que será para el inicio de la operación de alrededor de 450 viajes/día.

A partir de estos valores se dimensionó la celda diaria de trabajo obteniéndose los valores antes mencionados.

En cuanto al desarrollo de las obras ingenieriles para el relleno sanitario, se presenta a continuación una descripción general de dichas obras y/o actividades:

Obras preliminares:

- a.- Quitar maleza, hierba, zacate o residuos de siembra.
- b.- Retirar y estibar el producto de desmonte al lugar que se indique.
- c.- Terracerías como excavaciones o remociones de los materiales producto de las mismas, abatimiento de taludes o ampliación de los mismos.
- d.- Acarreos en los que se transportará el material producto de las excavaciones de cortes adicionales.
- e.- Acondicionamiento de la superficie de desplante y compactación de la misma hasta obtener las permeabilidades del diseño.
- f.- Construcción de los caminos interiores.

Durante la operación:

- a.- Conformación de celdas de confinamiento de residuos sólidos.
- b.- Remoción diaria de los residuos generados por la obra.
- c.- Preparar los puntos en los que se instalará pozos para el monitoreo de biogas, así como para la extracción de lixiviados indicados en planos y hacer el hincado de los pozos.

- d.- Instalar piezómetros para monitorear la hidrodinámica y composición química del agua subterránea.
- e.- Instalaciones administrativas de recuperación de subproducto y complementarias.
- f.- Instrumentar adecuadamente las celdas ya terminadas para observar y registrar los asentamientos diferenciales provocados por la degradación de residuos.
- g.- Cubrir y compactar diariamente los residuos sólidos
- h.- Realizar una aspersión con aguas sobre el material de cubierta para evitar que la tierra se levante y facilite su compactación.
- i.- Mantener riego de zonas recuperadas.
- j.- Aseo del sitio.
- k.- Llevar a cabo adecuadamente el programa de monitoreo que se indica en el capítulo 7.

En la periferia del sitio:

- a.- Uso de barreras visuales alrededor de la obra durante toda la ejecución.
- b.- Eliminación continua de los residuos generados.
- c.- Señalización adecuada y permanente en las vialidades que serán empleadas por el flujo vehicular propio de la obra.
- d.- Barreras físicas como mallas y manparas en dirección viento a favor, para controlar la dispersión de residuos.
- e.- Colocar barreras acústicas que aislen el camino en las zonas habitadas.
- f.- Construcción de drenajes laterales en la vía de acceso.
- g.- Bacheo o reencarpetado de los accesos.
- h.- Desazolve frecuente del drenaje.

Para la clausura:

- a.- Mantener vigilancia y control ambiental permanente.
- b.- Continuar con el programa de monitoreo.
- c.- Recuperación de la vegetación.

2.2.1 Localización del sitio.

Debido a la importancia que para la ubicación de un proyecto de este tipo revisten las características geológicas, hidrogeológicas y topográficas, se elaboraron estudios para definir el sitio donde se localizará el Centro de Aprovechamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos de Ixtapaluca, estos estudios se resumen como parte de este proyecto en los capítulos correspondientes.

El sitio seleccionado donde se ubicará el relleno sanitario se encuentra a 3 km, al oriente del poblado La Cañada, localizado fuera de los límites marcados por el crecimiento de la mancha urbana; esta constituido por varias propiedades, el acceso hacia este sitio, es através de la Carretera Federal a Puebla, la cual está en regular estado y al ser de un solo carril por sentido puede ocasionar lentitud en el tránsito de los vehículos que se dirijan al sitio. Tiene un área de aproximadamente 301 ha. distribuidas al sur de la carretera mencionada. En el sentido longitudinal se tiene una pendiente promedio de 7 % y transversalmente de 20 % (Fig.2 y Plano 1).

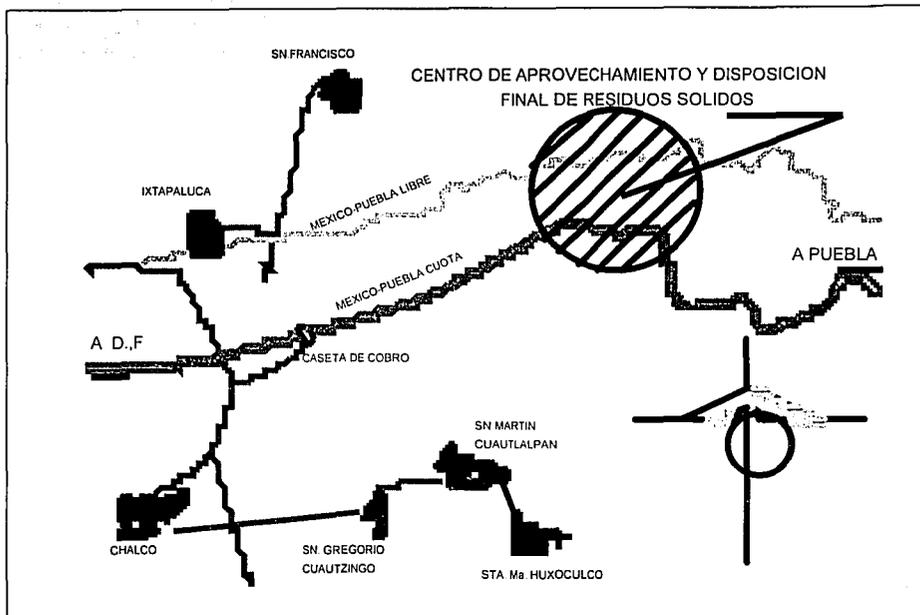


Figura 2: Localización del sitio.

El lugar seleccionado se encuentra ubicado en la región Xerofítica Mexicana, perteneciente a la Zona Neotropical (Rzedowski, 1978, Ref. 12), fisiográficamente se encuentra en la Provincia del Eje Neovolcánico, en lo que corresponde a la subprovincia de los lagos y volcanes del Anahuac (INEGI, 1978).

La vegetación natural, representada por un bosque semiperturbado de encino, cubre una zona muy pequeña en donde los árboles forman un bosque caducifólio de fisonomía variable, presentándose una altura que va de 8.0 a 10.0 m., o bien, en forma de arbustos de talla de 30 cm a 5.0 m de altura. La zona de pastizal, en general, está condicionada a pequeñas áreas en donde con la deforestación que se ha llevado a cabo en las últimas décadas, no ha progresado la vegetación de matorral y solo se tienen pastos y gramíneas. Las áreas agrícolas se encuentran ocupando grandes porciones de terreno, dedicadas al cultivo y explotación del maguey, para la extracción y venta de pulque.

En cuanto a fauna, no se detecta la presencia de organismos propios de este tipo de comunidades, presentándose ocasionalmente especies como conejo, gorriones, tórtolas y calandrias, solo la fauna de reptiles, aves, insectos e invertebrados es la más abundante dada su dinámica de reproducción, adaptada y facilitada a un ambiente carente cada vez más de predadores importantes que, constituyen los mamíferos.

2.2.2 Criterios de localización del Sitio.

La conformación de un sitio de disposición final debe reunir entre otras, las siguientes características:

- a.- *Estar alejado de áreas habitadas, lagos, lagunas, ríos, carreteras, aeropuertos y pozos de agua.*
- b.- *Estar constituido por suelos de baja permeabilidad y de espesor potente.*
- c.- *Existencia de material de cubierta.*
- d.- *Ubicación al inicio de cañadas.*
- e.- *Existencia de accesos al sitio.*

La selección del sitio responde fundamentalmente al hecho de tratarse de la apertura de un centro de aprovechamiento y disposición final lo cual conlleva implícitas ventajas.

A continuación se enumeran algunos aspectos técnicos que permitieron seleccionar al sitio "Ixtapaluca", como un lugar aceptable para la función de este proyecto.

- a.- **Vida útil:** *Normalmente se recomienda que el sitio tenga una extensión tal que en una rasante de proyecto terminado, se tenga un volumen que pueda recibir desechos sólidos, para cuando menos 10 años de operación. En el caso del sitio se contará con una superficie aprovechable para este proyecto de 103 Ha, con una vida útil de 23 años.*
- b.- **Tierra para Cubierta:** *El relleno sanitario debe ser lo más autosuficiente en tierra necesaria para su construcción como sea posible. Para el caso del presente proyecto, se realizó un balance de suelo entre la excavación y las necesidades de material para cubierta, encontrándose que por la forma de ataque; es decir, a partir del supuesto de que los mineros explotan la parte de la loma, será necesario retirar todo el material superficial compuesto por la toba existente, este material cubre sobradamente las necesidades del presente proyecto, por lo que dicho aspecto técnico es cumplido.*
- c.- **Vías de Acceso:** *Las condiciones de tránsito de las vías de acceso al sitio afectan el costo global del sistema, dado que si se encuentran en malas condiciones se retardan los viajes y dañan los vehículos; por tanto el sitio debe encontrarse a una distancia significativa de la mancha urbana y bien comunicado. Para el sitio "Ixtapaluca", se cuenta con un camino de acceso constituido por la carretera Federal México-Puebla, que aunque es de un solo carril por sentido es aceptable para el funcionamiento del sitio, el mantenimiento de esta y mejoras que pudieran hacerse en la misma beneficiarían al funcionamiento.*
- d.- **Ubicación del Sitio:** *Se considera que un relleno sanitario bien operado no causa molestias, sin embargo es preferible ubicar el sitio fuera de la mancha urbana, previendo que al final de la vida útil del sitio, este se pueda usar como área verde. En el caso del sitio Ixtapaluca, la mancha urbana más significativa se localiza aproximadamente a 8.5 kilómetros.*
- e.- **Geología:** *Un contaminante puede penetrar al suelo, llegar al acuífero y contaminarlo, por lo tanto es importante conocer la estratigrafía del sitio para el relleno sanitario. Los suelos sedimentarios que presenten características areno-arcillosas son los más recomendables ya que son suelos poco permeables. Aunque la base de importante conocer la estratigrafía del sitio para el relleno sanitario. Los suelos sedimentarios que presenten características areno-arcillosas son los más recomendables ya que son suelos poco permeables. Aunque la base de desplante de la disposición final se hará sobre materiales granulares, una correcta impermeabilización de esta base solucionará el problema. La estratigrafía del sitio nos habla de permeabilidades variables con estratos con valores bajos de permeabilidad que son condiciones favorables. Además el acuífero se detecta a más de 200.0 m. de profundidad.*

2.2.3 Area disponible.

El sitio tomando los dos predios tiene un área aproximada de 301 Ha. distribuidas al sur de la carretera federal México-Puebla, de esta área total, se están destinando para el presente proyecto del centro de aprovechamiento y disposición final, la ocupación de 103 Ha. con una proyección de vida útil de 23 años.

TABLA 1
PROYECCION DE LA POBLACION (REGION VI)

DELEGACION	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2010
IZTACALCO	448,357	448,357	448,357	448,357	448,357	448,357	448,357	448,357	448,357	448,357
IZTAPALAPA	1,638,970	1,683,471	1,727,972	1,772,474	1,816,975	1,861,476	1,905,978	1,950,479	1,994,980	2,885,008
COYOACAN	720,204	736,886	753,569	770,252	786,934	803,617	820,300	836,982	853,665	1,020,492
TLAHUAC	216,015	222,165	228,314	234,463	240,612	246,762	252,911	259,060	265,210	326,702
XOCHIMILCO	288,338	295,367	302,396	309,425	316,454	323,483	330,512	337,541	344,570	414,861
MILPA ALTA	67,191	68,566	69,941	71,316	72,691	74,066	75,441	76,816	78,192	91,942
TLALPAN	518,149	533,247	548,345	563,443	578,541	593,639	608,737	623,835	638,933	789,912
SUMA	3,897,224	3,988,059	4,078,894	4,169,730	4,260,564	4,351,400	4,442,236	4,533,070	4,623,907	5,977,274
-45% DE TLALPAN	233,127	239,961	246,755	253,549	260,343	267,138	273,932	280,726	287,520	355,460
SUBTOTAL	3,664,057	3,748,098	3,832,139	3,916,181	4,000,221	4,084,262	4,168,304	4,252,344	4,336,387	5,621,814

MUNICIPIO	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2010
CHALCO	324,013	344,481	364,949	385,418	405,886	426,354	446,822	467,291	487,759	692,442
IXTAPALUCA	165,043	176,127	187,255	200,578	214,049	228,424	243,765	260,136	277,606	531,766
SUBTOTAL	489,056	520,608	552,204	585,996	619,935	654,778	690,587	727,427	765,365	1,224,208

TOTAL	4,153,113	4,268,706	4,385,043	4,502,177	4,620,156	4,739,040	4,858,891	4,979,771	5,101,752	6,846,022
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

2.2.4 Población atendida.

Para el cálculo de la población a que dará servicio el sitio de Ixtapaluca, se tomaron como base los datos obtenidos de la Dirección Técnica de Desechos Sólidos de acuerdo al esquema metropolitano y se realizó la proyección del crecimiento de la población hasta el año 2010 (tabla 1).

Están considerados para los fines de cálculo los valores de la población aportante por parte de los municipios de Ixtapaluca y Chalco, así como las delegaciones de Coyoacán, Iztacalco, Xochimilco, Milpa Alta, Tlahuac, Iztapalapa y el 55 % de Tlalpa que forman la Región VI.

2.2.5 Características de los desechos aceptables y fuentes de origen.

El sitio recibirá desechos municipales domiciliarios no tóxicos provenientes de los vehículos para recolección con que cuentan los municipios y delegaciones aportantes.

De acuerdo con lo anterior se recibirán en el sitio todos los desechos sólidos provenientes de la actividad familiar que se generan en la Región VI, así como sólidos inertes que son relativamente insolubles en agua.

No se permitirá la entrada de desechos médicos, industriales o todos aquellos considerados como peligrosos o tóxicos, de esta manera se deben mantener durante la operación del centro de aprovechamiento y disposición final, las políticas y prácticas para prevenir el ingreso al sitio de cualquier desecho tóxico.

TABLA 2
PROYECCION DE LA GENERACION (REGION VI)

DELEGACION	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2010
IZTACALCO	499.9	501.1	502.4	503.7	504.9	506.1	507.3	508.5	509.6	523.6
IZTAPALAPA	1,687.7	1,738.1	1,788.5	1,839.2	1,889.9	1,940.9	1,992.1	2,043.1	2,094.4	3,111.8
COYOACAN	733.9	752.9	771.9	790.9	810.0	829.2	848.4	867.6	886.9	1,089.3
TLAHUAC	180.5	186.2	191.8	197.4	203.1	208.8	214.5	220.2	226.0	286.0
XOCHIMILCO	251.9	258.7	265.5	272.4	279.2	286.1	293.0	299.9	306.9	379.6
MILPA ALTA	90.5	92.6	94.7	96.8	98.9	101.0	103.1	105.3	107.4	129.7
TLALPAN	423.3	436.8	450.3	463.9	477.5	491.1	504.8	518.5	532.2	676.0
SUMA	3,867.8	3,966.3	4,065.1	4,164.2	4,263.6	4,363.2	4,463.4	4,563.1	4,563.4	6,195.9
-45% DE TLALPAN	190.5	196.6	202.6	208.7	214.9	221.0	227.2	233.3	194.5	304.2
SUBTOTAL	3,677.3	3,769.8	3,862.5	3,955.5	4,048.7	4,142.2	4,236.2	4,329.8	4,368.9	5,891.7

MUNICIPIO	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2010
CHALCO	328.9	355.1	381.6	415.9	452.0	490.0	530.0	572.0	616.1	759.6
INTAPALUCA	167.5	181.5	196.5	216.5	238.4	262.5	289.1	318.4	350.7	583.3
SUBTOTAL	496.4	536.6	578.2	632.4	690.4	752.5	819.1	890.4	966.8	1,343.0

TOTAL	4,173.6	4,306.3	4,440.7	4,587.9	4,739.1	4,894.7	5,055.3	5,220.2	5,335.7	7,234.7
--------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

2.2.5.1 Cantidad de residuos a recibir y proyecciones.

Para obtener los datos de generación de residuos sólidos se tomó como base la población que será atendida en la Región VI del esquema Metropolitano, con estos datos se obtuvo la generación per capita, a partir de la consideración de una generación unitaria de residuos sólidos municipales de 1 Kg/hab/día, los resultados se muestran en las Tabla 2.

A partir de los datos generados en la Tabla 2, tenemos que para el año de 1992 se generarán 4,174 ton./día de desechos sólidos y en el año 2010 se generarán 7,234 ton./día.

2.2.5.2 Peso volumétrico.

Para la consideración del peso volumétrico de los desechos sólidos, se tomaron como base los datos obtenidos de la observación en la operación de rellenos en el Distrito Federal como es el caso de Prados de la Montaña. En este sitio se ha obtenido que el peso volumétrico de los desechos en el sitio de la disposición final es de 850 kg/m³. Con este valor se realizaron los cálculos para la volumetría en el sitio de disposición final.

TABLA 3
COMPOSICION PROMEDIO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

SUBPRODUCTO	% EN PESO					
	IZTACALCO	COYOACAN	TLAHUAC	TLALPÁN	XOCHIMILCO	PROMEDIO
Algodón	0.05	0.00	0.95	0.00	0.02	0.204
Cartón	4.04	2.91	5.21	4.11	3.49	3.952
Cuero	0.77	0.00	0.00	0.00	0.57	0.268
Residuo fino	1.07	2.10	0.03	2.05	1.92	1.434
Entese cartón enterao	3.27	1.59	1.43	1.16	2.13	1.916
Fibra dura vegetal	0.67	0.00	0.00	0.00	0.18	0.17
Fibras sintéticas	0.19	2.16	0.93	3.43	0.61	1.464
Hueso	0.65	0.00	0.00	0.00	0.47	0.234
Hule	2.51	0.00	0.00	0.00	0.35	0.572
Lata	2.94	2.80	0.35	3.11	1.74	2.188
Loza y cerámica	0.55	0.85	0.01	0.92	0.11	0.488
Madera	0.46	0.00	0.00	0.00	0.26	0.144
Material de construcción	1.01	1.01	0.00	0.49	0.66	0.634
Material ferroso	0.12	0.16	4.41	0.10	0.23	1.004
Material no ferroso	0.32	0.00	0.00	0.00	0.25	0.114
Papel	11.17	15.56	6.64	15.51	12.25	12.226
Pañal desechable	8.73	6.36	0.00	6.56	9.52	6.234
Plástico de película	5.66	6.99	4.19	4.49	5.00	5.266
Plástico rígido	1.96	2.63	4.59	2.75	1.22	2.63
Poliuretano	0.23	0.00	0.08	0.10	0.23	0.128
Poliestireno expandido	1.67	0.36	0.43	0.17	1.45	0.816
Residuos alimenticios	40.48	35.06	43.00	34.34	45.36	39.648
Residuos de jardinería	1.22	3.87	9.88	6.38	4.28	5.126
Trozo	1.91	1.01	0.00	0.67	1.12	0.942
Vidrio de color	1.02	0.72	3.65	0.84	0.58	1.362
Vidrio transparente	3.18	3.43	3.45	4.34	2.67	3.414
Otros	4.17	10.43	10.77	8.48	3.32	7.434
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

2.2.5.3 Análisis de los residuos.

De acuerdo al muestreo realizado en los vehículos recolectores, se encontró una composición promedio para los desechos sólidos que serán recibidos en el sitio Ixtapaluca, así como la distribución en peso de cada uno de los componentes, estos valores se muestran en la Tabla 3.

Esta composición sirvió como base para el cálculo de la generación de biogas dentro de la disposición final.

2.2.6 Información de llegadas y vehículos de recolección.

Para conocer el número y tipo de vehículos que van a ingresar al sitio de Ixtapaluca, se recopiló información del sitio de disposición final de Santa Catarina correspondiente al mes de Julio de 1992. Lo anterior en virtud de que los vehículos que actualmente están ingresando a Santa Catarina, son los que llegarán aproximadamente al nuevo sitio. Se hace mención que esta información fué la más actualizada que se pudo recopilar.

En la Tabla 4 se presentan las cantidades y porcentajes de residuos sólidos que están ingresando de acuerdo a la Delegación o Municipio correspondiente, observándose que la Delegación Coyoacán con 1017.99 toneladas diarias y un 42.46% es la que aporta el mayor ingreso de residuos sólidos, aunque la D.G.S.U. es la que transporta hasta el sitio de disposición final la mayor cantidad de residuos con 1,729.11 toneladas y un 72.12%.

TABLA 4
INGRESOS DE RESIDUOS SOLIDOS POR ORIGEN

ORIGEN	TONELADAS/MES	TRANSPORTE PROPIO	TRANSPORTE DGSU	%	PROMEDIO DIARIO
BENITO JUAREZ	182.20	182.20	0.00	0.25	5.88
COYOACAN	31,557.80	569.70	30,988.10	42.46	1,017.99
CUAUHTEMOC	16,028.60	4,604.10	11,424.50	21.57	517.05
IZTAPALAPA	8,602.30	8,602.30	0.00	11.57	277.49
MIGUEL HIDALGO	3.90	3.90	0.00	0.01	0.13
VENUSTIANO CARRANZA	131.60	20.50	111.10	0.18	4.25
DGSU-ABAS.	6,073.00	0.00	6,073.00	8.17	195.90
DGSU-TLALPAN	4,984.10	0.00	4,984.10	6.71	160.78
DGSU-XOCHIMILCO	21.50	0.00	21.50	0.03	0.69
CHALCO	1,690.30	1,690.30	0.00	2.27	54.53
IXTAPALUCA	1,558.80	1,558.80	0.00	2.10	50.28
LA PAZ	2,301.10	2,301.10	0.00	3.10	74.23
PARTICULARES	1,185.30	1,185.30	0.00	1.59	38.24
SUMA		20,718.20		27.88	668.33
SUMA			53,602.30	72.12	1,729.11
TOTAL	74,320.50			100.00	

En la Tabla 5 se presentan los viajes y toneladas que ingresaron al relleno de Santa Catarina de acuerdo al tipo de vehículo durante el mes de Julio de 1992.

Los vehículos que más cantidad de viajes realizan son los del tipo transferencia caja abierta (TCA) con un promedio diario de 88 viajes y un 36.46% del total de viajes, le siguen en cantidad de viajes los del tipo Carga Lateral Rectangular (CLR), Volteos y carga lateral tubular (CLT) con un porcentaje de 16.79%, 15.95% y 13.85% respectivamente.

TABLA 5
INGRESOS DE RESIDUOS SOLIDOS POR VEHICULO

TIPO DE VEHICULO	TONELADAS/MES	VIAJES/MES	TONELADAS/DIA	VIAJES/DIA	%
Carga Traseira	2,399.40	457.00	77.40	14.74	6.13
Redilas Grande	1,118.40	327.00	36.08	10.55	4.38
Microbus	21.60	18.00	0.70	0.58	0.24
Panel	2.00	4.00	0.06	0.13	0.05
Pick up	21.40	47.00	0.69	1.52	0.63
Redilas Chico	353.50	187.00	11.40	6.03	2.51
Volteo	3,534.40	1,190.00	114.01	38.39	15.95
Carga Lateral Rectangular	5,388.90	1,253.00	173.84	40.42	16.79
Carga Lateral Tubular	4,070.00	1,033.00	131.29	33.32	13.85
Transferencia Caja Cerrada	3,629.20	172.00	117.07	5.55	2.31
Gondola	118.30	11.00	3.82	0.35	0.15
Transferencia Caja Abierta	53,584.00	2,720.00	1,728.52	87.74	36.46
Contenedor Chico	78.50	42.00	2.53	1.35	0.56
TOTAL	74,319.60	7,461.00	2,397.41	240.67	100.00

Como se observa, a Santa Catarina ingresan una gran variedad de vehículos de recolección y transferencia, por lo que se presume que al nuevo sitio llegarán vehículos de recolección de los siguientes tipos: combis, contenedores, carga lateral rectangular, carga lateral tubular, carga trasera, carga frontal, pick-ups, redilas, microbuses y volteos. Los vehículos de transferencia que llegarán son góndolas de dos ejes, así como transferencias de caja abierta y compactadoras.

Tomando en cuenta la información anteriormente citada, los equipos de recolección y transferencia pueden ser clasificados de acuerdo con el siguiente criterio:

- a.- **Equipos recolectores de alta especialización.** Son todos aquellos que por adaptación o por diseño original, están capacitados para realizar maniobras de carga y descarga de contenedores. Tales como los tipos de carga frontal y los contenedores.
- b.- **Equipos especializados para la recolección y transferencia de residuos sólidos.** Son aquellos que por su diseño original, están capacitados para la prestación del servicio de recolección de residuos con cierta comodidad, como lo son todos los vehículos compactadores de carga trasera y lateral y algunos otros de carga lateral sin mecanismos de compactación pero con placa empujadora de residuos. Los tractocamiones que cuentan con caja de transferencia con mecanismos de descarga de cadena, cama viva y pistón se contemplan en este rubro.
- c.- **Equipos no convencionales para la recolección de residuos sólidos.** Son vehículos utilizados para la prestación del servicio de recolección, que no presenten las características mencionadas para los equipos especializados y de alta tecnificación. En este rubro se incluyen los camiones volteos, redilas, pick-ups, combis, microbuses, etc. y los equipos de transferencia denominados góndolas.

A continuación se presenta una breve descripción de los equipos de recolección y transferencia citados anteriormente.

2.2.6.1 Equipos de recolección de alta especialización o tecnificación.

2.2.6.1.1 Sistema de recolección por contenedores altamente especializados.

Estos sistemas están diseñados para atender la demanda de servicio, exclusivamente a través de la utilización de contenedores. Son equipos altamente tecnificados donde la variante radica, casi exclusivamente, en cuanto al mecanismo empleado para la carga y descarga de contenedores, cuya capacidad normalmente es muy alta (de 6 hasta 24 m³). Cuando se usa adecuadamente, su eficiencia de recolección es muy alta.

Estos sistemas no son recomendables para la recolección domiciliaria con métodos tradicionales, solo cuando no se cuenta con un acceso adecuado y/o en zonas de gran generación. Su utilización también es recomendable en mercados, hospitales, tiendas de autoservicio, multifamiliares de gran tamaño, industrias, etc.

La diferencia básica con respecto a los vehículos compactadores de carga trasera, frontal o lateral con mecanismos para contenedores, radica en el tamaño de los contenedores por atender, ya que normalmente, un sistema como los indicados maneja contenedores de 2 a 5 veces más grandes que los que pueden atender vehículos con mecanismos de contenedores adaptados; además de que estos últimos, después de atender al contenedor, lo dejan nuevamente en su sitio, mientras que los sistemas altamente especializados sustituyen un contenedor lleno por uno vacío.

2.2.6.1.2 Vehículos compactadores con contenedores y mecanismos de carga y descarga trasera, frontal y lateral.

Estos vehículos son generalmente de 12 a 30 m³ con mecanismos de carga y descarga de contenedores cuya capacidad varía desde 1 a 6 m³, según la potencia de dicho mecanismo. Su eficiencia de recolección es muy alta cuando se usa adecuadamente, por lo que no debe ser utilizado en los métodos de recolección de esquina, acera o de llevar y traer. Su principal uso es para la recolección de residuos en centros de gran generación como mercados, multifamiliares, unidades habitacionales y supermercados.

2.2.6.2 Equipos especializados para la recolección.

2.2.6.2.1 Vehículos compactadores de carga lateral.

Pueden ser de caja cuadrada o cilíndrica con mecanismos de compactación. La carga de basura se hace lateralmente. Su capacidad de carga varía normalmente de 10 a 16 m³ pudiendo en algunos casos ser más elevada. Su principal ventaja es que cuenta con un mecanismo sencillo de compactación, además de que se le puede adaptar un mecanismo para la carga y descarga de contenedores.

Su principal desventaja es que la altura de carga y su diseño obligan a que un empleado de viaje dentro de la caja para recibir los residuos, por lo que la compactación no se hace con la regularidad debida.

2.2.6.2.2 Vehículo compactador de carga trasera.

En este tipo de vehículos la carga de basura se hace a través de una tolva que se encuentra ubicada en la parte posterior de la carrocería, son de 10 a 20 m³ de capacidad, con equipo opcional para carga de contenedores. Sus principales ventajas son que la altura de carga es baja, que los operarios no tienen acceso a la basura para pepenarla una vez que el mecanismo compactador de carga se ha hecho funcionar y que puede atender contenedores pequeños en su ruta de recolección.

2.2.6.3 Equipos no convencionales para la recolección de residuos sólidos.

2.2.6.3.1 Vehículos de volteo y redilas.

Estos vehículos ocasionalmente se emplean para cumplir con el servicio de recolección de basura, a falta de equipos más tecnificados o debido a que se adaptan más adecuadamente a las características físicas de la localidad por servir y al tipo de actividades y servicios que en general se brinda a la comunidad. Su capacidad varía desde 6 hasta 10 o 12 m³, aunque los más usuales son de 7 y 8 m³. Se estima que un vehículo de 6 m³ puede atender hasta 6,000 habitantes en promedio, sobre todo en localidades eminentemente rurales.

Sus principales desventajas son, por una parte, la elevada altura de carga, lo que obliga a contar con un obrero adicional que viaje dentro de la caja para ayudar a cumplir con la función de carga de basura y por otra parte, la disminución en cuanto al tonelaje de basura que puede transportar, ya que por la falta de mecanismo de compactación, el peso volumétrico alcanzado dentro de la carrocería por los residuos sólidos, difícilmente rebasa los 350 Kg/m³.

2.2.7 Histograma de llegadas

Como ya se mencionó anteriormente, al sitio de Santa Catarina están ingresando un promedio diario de 2,398 toneladas (Julio 1992), valor muy debajo de las 4,000 toneladas con las que se va a diseñar el sitio de Ixtapaluca. Para tener datos más representativos acerca de la frecuencia de llegada al sitio de Ixtapaluca, se obtuvo un histograma de llegadas del relleno sanitario de Bordo Poniente, en donde el ingreso promedio de residuos sólidos es similar a las 4,000 toneladas (figura 3).

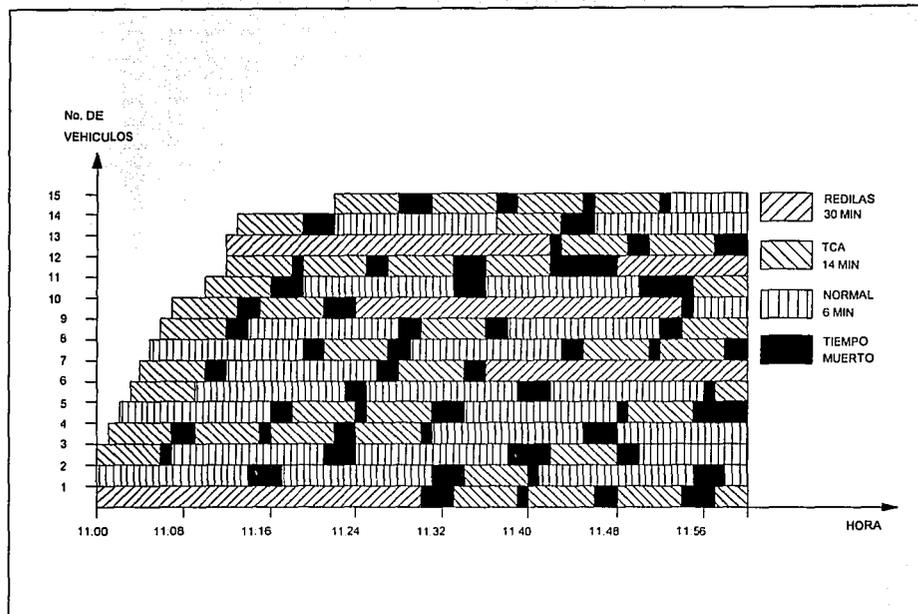


Figura 3: Histograma de llegadas.

Tomando en cuenta los tipos y porcentajes de vehículos que actualmente están ingresando a Santa Catarina (datos presentados en la Tabla 5) y considerando el ingreso promedio diario de residuos (4,010 tons.) y el ingreso de vehículos en la hora pico (70 vehículos) que ingresaron a Bordo Poniente los días Lunes del mes de Agosto de 1992 (estos valores se presentan en las Tablas 6 y 7, se estimó el número de vehículos y la frecuencia de llegadas que ingresarán al sitio de Ixtapaluca teniendo como resultado los valores que se presentan en la Tabla 8.

La hora pico obtenida se presentó de las 12:00 a las 13:00 horas, los valores sobre frecuencia de llegadas y hora pico estimadas anteriormente, se emplearán para el diseño del frente de trabajo que se presenta en los capítulos posteriores y que sirve como base para la obtención de la calendarización de cada una de las etapas de disposición final. Como se observa en el histograma de llegadas, los vehículos corresponden a las llegadas al sitio de Santa Catarina, en donde la hora pico se presenta entre las 11:00 y las 12:00 horas. Los datos considerados para el presente proyecto, son una combinación entre la información obtenida de los sitios de Bordo Poniente y Santa Catarina.

TABLA 6

INGRESO PROMEDIO DIARIO DE RESIDUOS SOLIDOS

HORA	TONELADAS
7:00	50
8:00	200
9:00	310
10:00	440
11:00	600
12:00	610
13:00	410
14:00	310
15:00	440
16:00	360
17:00	250
18:00	120
19:00	50
DE 20:00 A 6:00	60

TABLA 7

INGRESO DE VEHICULOS HORA PICO

HORA	VEHICULO
12:00	7
12:06	6
12:12	9
12:18	6
12:24	8
12:30	9
12:36	8
12:42	7
12:48	6
12:54	6
TOTAL	70

TABLA 8

INGRESO POR TIPO DE VEHICULO

TIPO DE VEHICULO	%	VIAJES
CT	6.13	4
RG	4.38	3
MICRO	0.24	0
PANEL	0.05	0
PICK	0.63	1
RCH	2.51	2
VOL	15.95	11
CLR	16.79	12
CLT	13.84	10
TCC	2.31	2
GOND	0.15	0
TCA	36.46	25
CCH	0.56	0
TOTAL	100	70

2.2.8 Características del diseño de la disposición final.

El presente proyecto ejecutivo, incorpora los siguientes trabajos para la protección ambiental o medidas de mitigación del impacto ambiental.

- a.- Una vez alcanzado el fondo de la excavación, se deberá de tratar mecánicamente con el equipo de excavación a fin de lograr una superficie compacta libre de cualquier vegetación, tierra vegetal, suelos orgánicos, o material de acarreo. Posterior a esta preparación del nivel de desplante, se colocará una base que servirá de transición entre el material que constituye el desplante y el sistema de impermeabilización. Se propone emplear para este caso la toba que existe en la parte superficial del sitio, la cual deberá estar libre de toda materia orgánica en partes o cantidades visibles, no contendrá cascajo, fragmentos de materiales extraños ni piedras mayores de 2 1/2" de tamaño medio. El espesor de la base será de 60 cm. constituida por capas de 20 cm., el tendido del material se realizará con el equipo necesario que permita garantizar una eficiente incorporación al material terreo, del agua requerida para alcanzar la humedad óptima. La capa que se forme directamente sobre el nivel de desplante tendrá un espesor compacto de 20 cm., la compactación deberá alcanzar un 90% de su peso volumétrico seco máximo, prueba proctor modificada, logrando con ello un coeficiente de permeabilidad del orden de 1.3×10^{-7} cm/seg. Sobre esta capa seca y libre de polvos se aplicará un riego de impregnación usando producto asfáltico rebajado del tipo FM-1, a razón de 1.5 lts/m², debiéndose ejecutar en las horas más calurosas del día, esperándose la absorción total en no más de 24 horas, la capa impregnada deberá ser cerrada al tránsito por un lapso mínimo de 48 horas. El procedimiento se repite para la colocación de la segunda capa, la tercera y última capa se realizará de igual forma a excepción del riego de impregnación el cual se omitirá. Una vez

terminada la tercera capa se colocará la geomembrana y sobre esta se colocará una capa de protección de arena que además servirá como dren del lixiviado.

- b.- Un sistema de captación, colección y extracción de lixiviados consistente en un dren de material permeable, fosas de captación y sistemas de extracción.
- c.- Sistema de monitoreo de gas, extracción y control del mismo.
- d.- Sistema de monitoreo del agua subterránea.
- e.- Una capa de suelo para la clausura de todas y cada una de las partes del relleno sanitario compactada al 95 % de la prueba proctor estandar.

Para la operación del relleno sanitario se utilizará el método de área, esto incluye la excavación y tendido de la capa de material impermeable para el área activa, disposición y compactación de los desechos en capas controladas y cubierta diaria de los desechos, todo esto siguiendo el criterio de área mínima de exposición.

2.2.9 Cubierta final.

Para la cobertura final de los residuos, se utilizará un sistema consistente en una capa de material impermeable producto de la excavación de 30 cms. de altura y compactado al 95 % de la prueba proctor estandar, para después colocar una capa de 15 cms. de espesor con el mismo material pero sin compactar que sirva como protección y por último, una capa de 15 cms. en promedio, de tierra-lama, para propiciar el crecimiento de la vegetación.

2.2.10 Accesos al sitio.

El acceso al sitio para la primera etapa será a través de la carretera federal México-Puebla hasta el entronque con la terracería que actualmente es la entrada a la mina hasta llegar al sitio Ixtapaluca; para la segunda y tercera etapas, el acceso será a través de la carretera federal México-Puebla.

Es necesario comentar que actualmente la carretera está en regular estado y al ser de un solo carril por sentido, podrá propiciar embotellamientos, por esto debe considerarse dentro del proyecto de vialidades, una solución a este problema y debe considerarse también el encarpetado de la terracería que será el acceso al sitio, todo esto con el fin de optimizar el tránsito de los vehículos recolectores que tendrán como destino final el centro de aprovechamiento y disposición final de Ixtapaluca.

Los caminos para los vehículos recolectores dentro del sitio, deberán ser transitables durante todos los tipos de clima hacia el frente de trabajo y se construirán con material producto de la excavación, con un mejoramiento de grava controlada para darles una mayor vida útil. Será responsabilidad del operador, el correcto mantenimiento de los caminos interiores en cualquier época incluyendo la mitigación de polvos cuando sea necesario.

Los caminos interiores permitirán el paso de los camiones recolectores a los diferentes frentes de trabajo, que se tendrán a todo lo largo de la vida útil del sitio.

2.2.11 Estudios preliminares.

Para el desarrollo del proyecto ejecutivo se han realizado ciertos estudios preliminares, a saber:

- a.- *Zonas Favorables para la ubicación de Rellenos Sanitarios en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (septiembre de 1991, EXYCO, S.A.).*
- b.- *Estudio Geológico Geohidrológico de Detalle para la ubicación de rellenos sanitario en el sitio de Ixtapaluca, en el Edo. de México (Mayo 1992, Proyectos Moro, S.A.)*
- c.- *Estudio Geológico-Geohidrológico para la localización de rellenos sanitarios en la zona oriente de la Cuenca del Valle de México (Agosto 1992, Proyectos Moro, S.A.)*
- d.- *Estudio para la verificación del subsuelo en la zona de Ixtapaluca, primera etapa, en Ixtapaluca, Estado de México (Octubre 1992, Proyectos Moro, S.A.)*

Tomando como base estos estudios es como se realiza el presente proyecto ejecutivo.

2.3 Uso del suelo.

Debido a las características topográficas de la zona el uso actual que se le da a una parte del área es a la explotación de maguey pulquero y a la explotación de bancos de materiales para la construcción generando los ya tan conocidos socavones.

De acuerdo con lo anterior, las características topográficas en la mayor parte de la zona ha sido modificada, por lo que la compatibilidad desde el punto de vista de uso del suelo debe considerarse completa puesto que dichas modificaciones favorecen el establecimiento y operación del centro de aprovechamiento y disposición final.

3. DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

El sitio para el centro de aprovechamiento y disposición final se encuentra a 3 km, al oriente del poblado La Cañada, localizado fuera de los límites marcados por el crecimiento de la mancha urbana; está constituido por dos predios propiedad de la familia Careaga, el primero y de los Sres. Flores y Urdaneta el segundo, tienen en conjunto un área de aproximadamente 301 Ha. distribuidas al sur de la carretera federal a Puebla, en dirección sensiblemente norte-sur. El predio ubicado más al norte corresponde a una loma donde actualmente se siembra maguey, y el predio al sur corresponde a un banco de materiales en donde se extrae arena y grava principalmente.

3.1 Topografía actual del sitio.

La topografía existente en el sitio y el área propuesta para el centro de aprovechamiento y disposición final, se muestran en el Plano 2. El predio al norte, denominado Rancho Loma Ancha tiene en sentido NE-SW una pendiente de 7 % y transversalmente a esto, es decir en sentido sensiblemente N-S varía entre 15 y 20 %. El predio ubicado al sur que corresponde a la propiedad de los sres. Flores y Urdaneta, presenta una topografía abrupta, debido a su uso como banco de materiales; presenta hacia su lindero norte grandes paredes, prácticamente verticales con alturas de entre 60 y 100 m., esto nos hace ver que la estabilidad de los materiales en su estado natural es bastante buena. La elevación máxima que se presenta dentro del área de la loma, es la cota 2630 msnm localizada al límite este del predio y el punto más bajo se localiza al extremo oeste de la loma y es la cota 2540 msnm. Con respecto al segundo predio, este presenta su elevación máxima hacia el lindero norte y corresponde a la cota 2560 msnm y el punto más bajo aparece hacia el sur de la propiedad y esta dado por la cota 2430 msnm.

La topografía del sitio permite la operación del centro de aprovechamiento y disposición final sin alterar las zonas aledañas al sitio. Aunque el sitio no corresponde específicamente a un inicio de cañada, se considera que el escurrimiento superficial no afectará de gran forma a la disposición final, sin embargo, se diseñan canales de desvío y obras de control para estos fines, de manera tal que el mencionado escurrimiento, no se introduzca en el área de disposición final.

3.2 Hidrología superficial.

El Estado de México queda comprendido en parte de las siguientes regiones hidrológicas: "Lerma-Chapala-Santiago" (No.12), que cubre la porción centro-oeste con una superficie de 5'548.540 km²; "Rio Balsas" (No.18) con un área de 9'761.850 km², en la parte sur; y "Alto Pánuco" (No.26) en la porción norte del estado con 7'933.830 km² de superficie.

El municipio de Ixtapaluca pertenece a una de las regiones hidrológicas más importantes de la República Mexicana (No. 26) tanto por el volumen de sus corrientes superficiales, que la sitúan dentro de las cinco más grandes del país, como por su superficie. Esta región hidrológica abarca una gran extensión que comprende toda la parte norte, noreste y noroeste del estado. El sitio donde se implementará el centro de aprovechamiento y disposición final se encuentra

dentro de la Región Hidrológica No. 26, Cuenca D, Subcuenca p, correspondiente al Lago de Texcoco, con un grado de permeabilidad alta y que por sus características geohidrológicas sirve de marco de influencia del presente proyecto, ya que teniendo como antecedente de que funge como zona de recarga, podría en un caso de contaminación llegar a alterar el acuífero profundo. Es zona de veda rígida, bajo el decreto presidencial del 21 de Julio de 1954.

La cuenca D es la denominada Río Moctezuma, la cual tiene una superficie dentro del Estado de México de 7'933,830 km². La corriente más importante de esta cuenca es el principal afluente del Río Pánuco, teniendo como origen al Río San Juan y al Río Tula, el cual después de un recorrido de 174 km cambia de nombre a Río Moctezuma. A partir de este punto, sigue un recorrido hacia el norte-noreste y 51 km después recibe las aportaciones del Río Extoras, cambia de dirección hacia el este-noreste, cruza la Sierra Madre Oriental, cambia nuevamente de dirección e inicia su recorrido por la planicie costera donde desvía su rumbo a norte-noreste y después de 31 km de recorrido, vira hacia el noreste a lo largo de 70 km, donde recibe por la margen derecha al Río Tempoal. Desde aquí, el Río Moctezuma sigue una dirección norte-noroeste y a partir de la confluencia con el Río Tampaón, el Moctezuma recibe el nombre de Río Pánuco, siguiendo un rumbo este-noreste durante 144 km hasta su desembocadura en el Golfo de México.

El nombre de la subcuenca principal es la del Lago de Texcoco y Zumpango (26Dp). El área de estudio se encuentra en esta subcuenca, donde los ríos principales son de poca importancia ya que la mayoría de los escurrimientos que bajan de las estribaciones de las Sierras Frías son infiltrados al subsuelo por la alta permeabilidad de los materiales que la componen.

Se mencionan los Ríos Santo Domingo y Las Jicaras, ubicados al sur y norte del área respectivamente, los cuales tienen como origen los escurrimientos de los Cerros Telapón, Los Potreros y El Tejocote, ubicados en las Sierras Frías y van a verter sus aguas a canales aprovechados en los Valles de Chalco e Ixtapaluca.

Cabe mencionar que el patrón de drenaje en estas geoformas volcánicas es de tipo radial, en la cual los escurrimientos captan sus aguas de forma dendrítica, para realizar su descarga en un dren principal.

En el área de estudio no se tienen aprovechamientos superficiales tales como presas o bordos, ya que la principal fuente de descarga es de tipo subterráneo.

Para esta gran cuenca se presenta un problema de contaminación de primer orden requiriendo de un control inmediato. La situación que prevalece en esta gran cuenca se ha hecho muy crítica, a causa de las descargas del gran número de industrias de diferentes ramas y de las del gran canal que proviene de la Ciudad de México, involucrando un gran volumen estas descargas con altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno, lo cual repercute negativamente en la ecología de la zona.

3.3 Climatología.

El área de estudio se encuentra en las estribaciones de las Sierras Frías, para lo cual se tomaron datos de la estación más cercana representativa de este tipo de ambiente, siendo esta la estación Río Frío la cual se encuentra ubicada a aproximadamente 12 km al este del área bajo las coordenadas 19°21' de latitud norte y 98°40' de longitud oeste, con una altitud de 3,000 msnm.

El clima predominante en el área (según Köppen, modificado por García, 1988, Ref.11), es el Cb'(w2)(w)igw'' siendo este un clima semifrío con verano fresco largo, siendo el más húmedo de los subhúmedos cuyo coeficiente P/P_T es mayor a 55 y la precipitación del mes más seco es menor a 40 mm.

A continuación se mencionan los datos meteorológicos de la estación tomando el período de 1951 a 1980, por ser éstos los más actualizados.

La temperatura media anual es de 10.1°C, siendo el promedio máximo extremo 18.5°C en el mes de mayo y su mínimo extremo 1.6°C en el mes de diciembre. La evaporación total anual del área son 1,223.5 mm. La precipitación media anual en el área de estudio es de 1071.0 mm, con una máxima mensual de 463.0 mm detectada en el mes de septiembre y una mínima mensual de 0.1 mm en los meses de diciembre y enero; la precipitación máxima en 24 horas fue de 80 mm localizada el día 7 de octubre de 1976. El periodo de sequía es evidenciado en los meses de diciembre a marzo.

La Figura 4 muestra las temperaturas, precipitaciones y evaporaciones medias mensuales para el período 1951-1980.

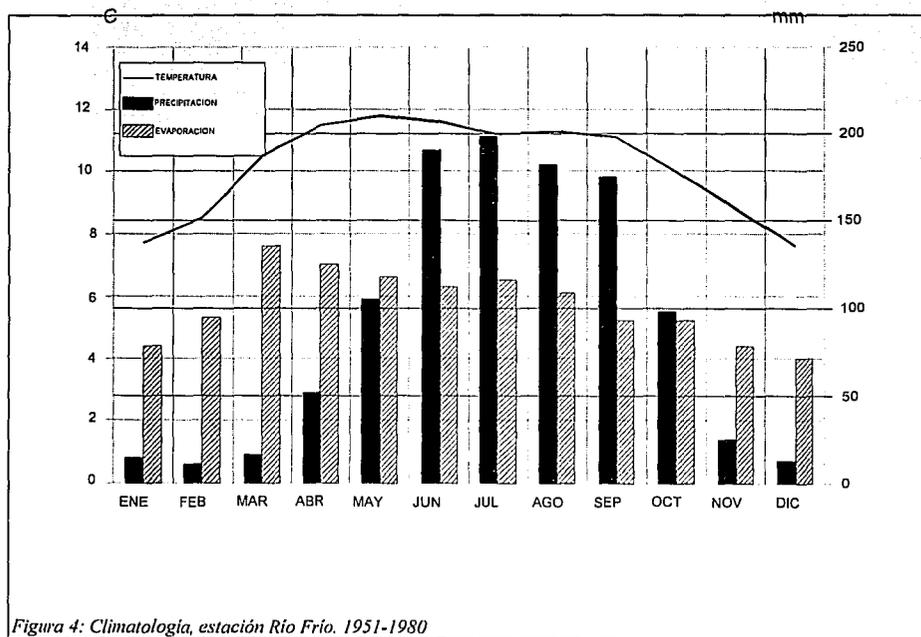


Figura 4: Climatología, estación Río Frío. 1951-1980

El promedio de días nublados es de 179.66 por año siendo el mes de julio con 25.60 días el máximo reportado, el promedio de días soleados es de 141.84 días por año, teniendo la mayor concentración de días despejados en el mes de enero con 21.93.

Basandose en los datos mensuales obtenidos durante el periodo 1980-1985 de la estación "Río Frio", se observó una dominancia de los vientos del Este con valores que varían de 1 a 2.3 m/seg, en los meses de abril a julio y de septiembre a noviembre.

A continuación se enlistan los fenómenos meteorológicos más severos y su frecuencia en el área de estudio durante el periodo 1951-1980:

- a.- Frecuencia de Heladas: 122.69 días por año, siendo los mayores porcentajes de diciembre a febrero.*
- b.- Frecuencia de Granizadas: 1.85 días por año, siendo los meses de abril a mayo los de mayor densidad.*
- c.- Frecuencia de Nevadas: 0.19 días por año, se presenta en forma esporádica durante el mes de enero.*

4. GEOLOGIA Y GEOHIDROLOGIA DEL SITIO.

4.1 Geología regional.

La geología histórica regional del área de estudio toma como modelo el desarrollo de la Cuenca del Valle de México, la cual se remonta al periodo Cretácico, en el que la zona se encontraba cubierta por mares. Las rocas acumuladas en este periodo fueron calizas, las cuales son correlacionables con las rocas mesozóicas aflorantes en los estados de Morelos e Hidalgo.

Al final del Cretácico y principios del Terciario se inició el levantamiento del continente y la consecuente retirada de los mares, dando lugar a depósitos de clastos continentales tales como calizas y menor abundancia de areniscas, empacadas en una matriz arcillosa de color rojo (a estos sedimentos se les consideran del Grupo Balsas de edad Oligoceno-Eoceno Tardío), los espesores de este paquete varían de 2,500 m. al sur de la cuenca a 400 m. al norte de ella (Fries, 1960).

Debido a los levantamientos ocurridos en el Terciario, se originaron una serie de fallas, fracturas locales y regionales, constituyendo zonas de debilidad a través de las cuales fueron emitidas rocas volcánicas, teniendo gran influencia en la Cuenca del Valle de México. La emisión de rocas volcánicas se ha correlacionado con la zona de subducción en el Pacífico Mexicano.

En el Plio-Cuaternario ocurren depósitos de abanicos aluviales derivados de las sierras mayores del este y oeste de la cuenca, depositados como Formación Tarango, cuyas características se consideran vulcano-sedimentarias de granulometría mal clasificada, con clastos de rocas ígneas básicas y ácidas empacados en una matriz tobácea limo-arenosa, con lentes o capas de arena. Algunos de estos materiales se encuentran interdigitados con derrames de lavas.

Los eventos volcánicos se extendieron hasta el Cuaternario, depositándose rocas ígneas sobre una antigua topografía muy disectada, sobre todo en la Cuenca del Valle de México, debido probablemente a una erosión intensa ocasiona por el levantamiento de la región.

En el sur de la Cuenca del Valle de México, ocurrieron una serie de emisiones volcánicas derivadas de centenares de conos monogenéticos, conformando a la sierra de Chichináutzin. Las rocas que componen a esta serranía son andesitas, andesitas basálticas y basaltos, asociadas a materiales piroclásticos, con un espesor estimado en más de 1,800 m., los cuales fueron suficientes para cerrar la cuenca, estas rocas se han datado y han dado edades de 2,422 años (\pm 250 años) (A. Lybby 1951 en De Cserna 1988).

En otras zonas de la cuenca, las fracturas secundarias que se desarrollaron, dieron lugar a nuevas emisiones, como las que formaron los volcánes de Chiconáuitla, Santa Catarina y El Pino; al noroeste de estos, sobresale un volcán de menor tamaño denominado el Chimalihuache y hacia la zona de estudio un cono piroclástico denominado El Tezoyo.

La época de glaciaciones, asociada a la gran cantidad de lluvias y la actividad volcánica, se combinaron para la acumulación en la cuenca de cenizas y sedimentos, principalmente de granulometría arcillosa y de carácter impermeable, lo que facilitó la acumulación de agua en dicha cuenca y la formación de los lagos de Zumpango, Texcoco y Chalco, entre otros.

Los eventos finales que continuaron el modelado del paisaje del área, fueron los depósitos de material aluvial, que se encuentran en las inmediaciones de las elevaciones y en parte de la zona plana de la cuenca; estos se componen de arcilla, limo y arena, de acuerdo a la cercanía de la fuente de aporte.

La litología del Estado de México es observada en afloramientos de rocas de origen ígneo sedimentario y metamórfico, siendo las rocas ígneas extrusivas las que ocupan una mayor extensión. Las rocas de esta entidad datan del Triásico (las metamórficas) y del Terciario y Cuaternario (representado por rocas ígneas de composición basáltica así como para depósitos lacustres y aluviales).

Las principales estructuras geológicas de origen ígneo que se presentan son los volcanes, algunos de los cuales se cuentan entre los más notables del país: el Popocatepetl, el Iztaccihuatl y el Nevado de Toluca. Además existen fracturas y fallas regionales, asociadas a los fenómenos de vulcanismo y mineralización. Los aspectos de geología económica más importantes están relacionados con las rocas que por su naturaleza primaria y las estructuras que las han afectado, constituyen zonas favorables para la explotación de acuíferos, de yacimientos minerales y de bancos de materiales para la construcción.

El estado de México está comprendido dentro de dos provincias geológicas que son: el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur.

4.1.1 Eje Neovolcánico.

En esta provincia se localiza el municipio de Ixtapaluca y cubre la mayor parte del estado en su porción norte. Limita al sur con la Sierra Madre del Sur. Está caracterizada geológicamente por el predominio de rocas volcánicas que datan del Terciario y del Cuaternario.

En esta provincia hay algunos afloramientos de rocas triásicas, litológicamente clasificadas como filitas y pizarras. Dichos afloramientos están cartografiados en el noroeste. Del Cretácico, afloran rocas sedimentarias marinas de composición carbonatada.

Las rocas ígneas extrusivas (andesíticas, riolíticas y basálticas) del Terciario yacen discordantemente sobre las rocas mesozoicas, cubriendo la mayor parte de esta provincia. Existen además algunos cuerpos intrusivos de tipo ácido (granitos y granodioritas) que afloran al occidente de Ixtapaluca, relacionándose este tipo de rocas con la mineralización de algunas zonas. También del Cuaternario existen depósitos lacustres y aluviales que rellenan antiguos lagos de la cuenca de México y los valles de la cuenca del Lerma.

Las principales estructuras de esta provincia son los aparatos volcánicos formados por conos cineríticos y derrames de lavas. De entre estos sobresalen el Popocatepetl, el Iztaccihuatl y el Nevado de Toluca, formados todos ellos por rocas andesíticas.

El municipio de Ixtapaluca y el sitio donde se ubicará el Centro de Aprovechamiento y Disposición Final, se encuentran dentro de esta provincia.

4.1.2 Sierra Madre del Sur.

Lo que de esta provincia penetra en el Estado de México, es la subprovincia conocida como Cuenca del Balsas, la cual cubre la porción sur de la entidad.

Las rocas más antiguas de esta provincia son las metamórficas del Triásico. Litológicamente están clasificadas como gneises, esquistos, filitas y pizarras, que en conjunto forman un complejo metamórfico (Cmet). Cubren una gran extensión del sur del estado.

Las rocas del Cretácico son sedimentarias, litológicamente clasificadas como calizas y calizas interestratificadas con lutitas, aunque no cubren mucha extensión, afloran discordantemente cubriendo las rocas metamórficas del Triásico.

Las rocas del Terciario son en su gran mayoría volcánicas (ígneas extrusivas intermedias, ácidas y básicas, las cuales cubren discordantemente tanto a las rocas sedimentarias del Cretácico como a las rocas metamórficas del Triásico. De este periodo afloran también rocas sedimentarias continentales (areniscas y conglomerados) que en ocasiones yacen directamente sobre las rocas metamórficas y en otras, lo hacen sobre las rocas ígneas extrusivas intermedias (andesíticas).

Del Cuaternario existen rocas volcánicas de tipo basáltico que, por sus estructuras bien conservadas, evidencian la actividad volcánica reciente. También del Cuaternario son los depósitos aluviales que rellenan los valles de los ríos. Además de las estructuras volcánicas, en esta provincia existen fallas y fracturas que en los distritos mineros aparecen mineralizadas.

4.1.3 Unidades litológicas.

El área donde se ubicará el centro de tratamiento y disposición final, se ubica al oriente de la Cuenca de México; a continuación se hace una breve descripción de las unidades litológicas más importantes existentes en la cuenca, a saber: Formación Las Cruces, Formación Tarango, Formación Chichináutzin, así como otras rocas lávicas y depósitos aluviales y lacustres.

La Formación las Cruces está constituida en su parte inferior por una secuencia potente de brechas volcánicas epiclásticas, de composición principalmente andesítica, con intercalaciones de derrames lavicos andesíticos. La parte superior consiste de una serie de derrames sobrepuestos de rocas mesocráticas, porfídicas de composición riódacítica. Esta formación se presenta fracturada, por lo que se le atribuye una permeabilidad media y se le considera como una zona de recarga en la porción oeste y suroeste de la cuenca.

La Formación Tarango se conforma por una secuencia de gravas, arenas, limos, arcillas y piroclásticos que se encuentran aflorando en forma de lomeríos en las partes bajas de la sierra de Las Cruces y Monte Alto al poniente de la cuenca y en las estribaciones occidentales de la Sierra de Río Frio al oriente. Se le encuentra también subyaciendo a las rocas volcánicas de la Formación Chichináutzin en las delegaciones Alvaro Obregón, Contreras, Coyoacán y Tlalpan, subyaciendo también a los depósitos lacustres en el centro de la cuenca, se presenta en la región como un grueso depósito de abanicos volcánicos que incluyen tobas, horizontes de arena pumítica, ceniza volcánica, snuelos, así como depósitos fluviales y depósitos fluviales híbridos. Por la relación de campo se le considera de edad

Plioceno-Pleistoceno. Excepcionalmente puede encontrarse fracturada y por su litología en presencia de horizontes arcillosos se puede considerar de muy baja permeabilidad a impermeable.

La Formación Chichináyútzin está formada por rocas de origen volcánico que constituyen una secuencia de coladas de lava basáltica y andesítica con intercalaciones escoriáceas, sumamente agrietadas y fracturadas, son rocas de alta permeabilidad y constituye las principales zonas de recarga de los acuíferos profundos.

Las rocas volcánicas no diferenciadas, son aquellos aparatos volcánicos y otros cuerpos ígneos que se encuentran en forma aislada o alineados al centro de la cuenca. Su composición es variada, algunos son basálticos en parte escoriáceos y otros riódacíticos como la sierra de Guadalupe. Entre los aparatos escoriáceos y basálticos se encuentran el cerro de La Estrella, la sierra de Santa Catarina, los cerros de Chimalhuacán y Chiconautla o Tecamac.

Las aluviones se constituyen por arenas, gravas y boleos en estado suelto, que se acumulan a lo largo de las corrientes principales, así como en la falda de las lomas que circundan a la zona de lo que fueron los lagos.

Estos depósitos son delgados (del orden de unos 5 ó 6 m.) en las zonas más altas, pero se engrosan hacia la porción baja de la cuenca (posiblemente son mayores a 20 m.).

4.2 Hidrogeología.

A continuación se hace un resumen de las características hidrogeológicas del área de estudio de datos obtenidos de la compañía Proyectos Moro, S.A. y de las observaciones realizadas en campo.

El área de estudio se encuentra en las estribaciones de la Sierra Nevada, en donde las rocas aflorantes son volcánicas y volcanoclásticas y hacia la planicie predominan los suelos aluviales y lacustres.

La cubierta de la mayor parte del área la componen una secuencia de tobas de carácter limo-arcilloso con horizontes esporádicos de arenas, cubriendo concordantemente a las brechas derivadas de avalanchas aluviales, provenientes de la Sierra Nevada; caracterizados por estar formados por clastos de rocas andesíticas, basálticas y dacíticas, en tamaños de gravas a bloques, dispuestos en una matriz arenosa de granulometría media a gruesa de baja compactación; no observándose fracturamiento sobresaliente y al igual que las tobas, solo muestran alineaciones debidas a erosión hídrica.

En las márgenes de la barranca El Tezoyo, aproximadamente a la mitad de las laderas, afloran rocas basálticas fracturadas, asociadas a brechas volcánicas (tezontle), condición que facilita la infiltración del agua; consideradas de permeabilidad alta, por la pérdida de fluidos durante las perforaciones realizadas.

Los depósitos ubicados en la planicie son también permeables, desarrollándose en ellos un acuífero de tipo libre o semiconfinado.

Las rocas donde se ha desarrollado el acuífero, tienen un espesor mayor a 100 m., siendo el límite inferior de dicho acuífero otras rocas volcánicas de menor permeabilidad; el límite superior se considera la capa de sedimentos aluviales limo arcillosos y/o las tobas, o bien la misma zona de saturación; en este último caso es cuando se considera el acuífero como libre; los límites laterales son: al este, los depósitos volcano-sedimentarios que constituyen las lomas que anteceden a la sierra y al oeste, sedimentos lacustres de baja permeabilidad.

4.3 Geología económica.

Por las características geológicas del área, esta se presta a la explotación de grandes unidades de brechas vulcanoclásticas, a manera de tajos a cielo abierto, aprovechando las gravas y arenas que caracterizan a la Formación Tarango.

Cabe mencionar que en el área existen afloramientos de basaltos los cuales se pueden explotar de manera adecuada y obtener gravas de mejor calidad que las primeras.

Se observó en campo que uno de los bancos ha llegado a la unidad de brecha volcánica (tezontle), material que por su baja densidad y alta porosidad, se puede aprovechar como material de terraplén en zonas donde los materiales son suaves.

También se aprovechan las tobas como material de relleno o para cuerpo de terraplén, es fundamental el uso de este tipo de sedimentos por las características de arcillosidad que presenta como material de cubierta en las celdas de trabajo.

4.4 Sismicidad.

En la República Mexicana los sismos de mayor magnitud ocurren donde se encuentran la frontera entre las placas oceánicas y continental. El Estado de México se encuentra a algunos cientos de kilómetros de la frontera entre dichas placas y por lo tanto, de los posibles epicentros de los terremotos de gran magnitud. Habría que esperar que las intensidades sísmicas fueran pequeñas por la atenuación que sufren las ondas sísmicas al recorrer tales distancias; sin embargo, debido a las características topográficas del estado y especialmente a los mantos del terreno blando que existen hacia el centro del mismo y en el Valle de México, ocurren amplificaciones locales del movimiento del terreno.

En esta situación los sismos en la cuenca del Valle de México, son muy diferentes de los que ocurren en la mayoría de las zonas de alto riesgo sísmico, las cuales generalmente se encuentran a corta distancia de posibles epicentros de gran magnitud. En las zonas de terreno blando del valle, las ondas sísmicas de baja frecuencia se amplifican, mientras que debido a la gran distancia del epicentro las de alta y mediana frecuencia se filtran. Como resultado el movimiento del terreno se caracteriza por aceleraciones pequeñas pero con grandes desplazamientos.

Existen hacia el norte y noreste del estado, así como hacia el oeste, zonas de terreno firme donde la situación es más favorable a pesar de encontrarse dentro de la zona pleosísmica (sismos poco frecuentes) y persistir cierto riesgo por la posibilidad de sismos locales.

Los sismos locales se caracterizan por ser débiles, de muy escasa duración y raras veces exceden a un minuto de registro; se manifiestan en un área muy limitada, son muy superficiales (menos de un km de profundidad) y la magnitud es menor de 3 en la escala de Richter.

Los sistemas de fallas principales del Estado de México son: el llamado fracturamiento Jocoitlán-Malinche que cruza por la porción central del estado y el fracturamiento Zapopan-Acambay-Oxochoacán, que atraviesa el estado de este a oeste.

La EPA (Environmental Protection Agency), señala que un relleno sanitario se ubicará a 60 m. o más de las fallas que hayan tenido desplazamientos durante el Holoceno.

El 25% del total de los municipios del estado posee asentamientos humanos ubicados en el trayecto que describen las fallas citadas y pueden verse afectados distantemente por movimientos tectónicos producidos en ellas, que generalmente son de muy baja intensidad.

En el área de estudio se tiene la presencia de alineaciones que De Cserna (1987), ha considerado como una serie de fallas con arreglo escalonado, determinando cuatro fallas con orientación N 70-75° E, con dimensiones del orden de 5 a 9 Km; de estas estructuras resulta particularmente la falla El Tezoyo, pues se localiza dentro del área provocando el desplazamiento de los materiales volcánicos. Los límites del área aprovechable se ubicarán a más de 60 m. de esta falla

De acuerdo con la edad asignada a los depósitos vulcanoclásticos (Pleistoceno) que se encuentran afectados por la falla, se deduce que la actividad tectónica que la originó debe haber sido contemporánea o posterior a esta época, concluyendo una edad reciente. Otro rasgo que evidencia la edad de estas estructuras es el cerro El Tezoyo de edad cuaternaria, el cual se ubica encima de la falla del mismo nombre (tomado de Moro, S.A.).

Además se encuentran otras estructuras de menor dimensión perpendiculares a las descritas, como es el caso de Arroyo El Tezoyo en el que dislocan a las rocas basálticas.

De manera general se concluye que esto se debe a un tectonismo reciente, probablemente a los movimientos originados por la tectónica de placas en la subducción de la porción pacífica de nuestro país.

4.5 Descripción del sitio.

El sitio destinado para el centro de aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos de Ixtapaluca, fistográficamente es un lomerío disectado por fallas y fracturas de carácter local producto de la erosión fluvial y de movimientos vulcano-tectónicos, estos lomeríos en la actualidad se encuentran parcialmente desgajados producto de la explotación a cielo abierto de materiales utilizados en la construcción (grava y arena).

4.6 Investigación de campo y metodología.

Antes de iniciar los trabajos de campo, se hizo la recopilación de toda la información existente en relación al sitio y con base en el mapeo realizado y los recorridos efectuados, se derivó un programa de exploración mediante dieciséis sondeos distribuidos en toda el área, que posteriormente se redujo a seis, en función de los resultados obtenidos.

Los objetivos de la exploración fueron definir el volumen de material aún explotable, que permitiera estudiar la posibilidad de adquisición del terreno para la explotación del banco de materiales y definir la factibilidad para la ubicación del centro de aprovechamiento y disposición final.

Otro de los objetivos fué el asegurarse de la no existencia de lentes permeables, por muy delgados que fueran, por lo que, además de los sondeos, se efectuaron pruebas de permeabilidad tipo Nasberg.

4.6.1 Sondeos.

Los sondeos se realizaron utilizando aire comprimido como fluido de perforación en los suelos secos, cambiándose la metodología de exploración a penetración estándar o a avance controlado con broca tricónica cuando se presentaron problemas por aparición de humedad en los suelos.

La recuperación de muestras se realizó colectando el material cortado en la descarga de un separador de polvos, en el caso de utilizar aire comprimido; mediante el tubo liso, en el caso de la penetración estándar y en el canal cuando se utilizó el avance controlado. Además en el caso de los sondeos con aire se tomaron muestras adicionales con tubo Shelby hincado a rotación, a cada cinco metros de profundidad o a cada cambio de estrato.

Se realizaron seis sondeos como se indica:

- a.- LA-1 a 60.00 m. de profundidad en la loma.
- b.- LA-2 a 65.00 m. de profundidad en la loma.
- c.- LA-3 a 50.45 m. de profundidad en el valle.
- d.- LA-4 a 55.00 m. de profundidad en la loma.
- e.- LA-5 a 50.00 m. de profundidad en la ladera.
- f.- LA-6 a 60.00 m. de profundidad en la ladera.

Es necesario mencionar que todos los sondeos se hicieron en la propiedad correspondiente al Rancho Lomas Ancha, debido a que en principio solo se pensaba ocupar este sitio para el presente proyecto. Se considera que la estratigrafía en la zona de las minas es similar.

4.6.2 Ensayes de permeabilidad.

Se realizaron ensayes de permeabilidad tipo Nasberg, a cada cinco metros de profundidad o en cada cambio de estrato, el período de saturación previo a la ejecución de las pruebas de permeabilidad, varió entre dos y veinticuatro horas. En la formación rocosa también se efectuaron pruebas de permeabilidad tipo Lefranc.

En total se realizaron treinta y seis pruebas de permeabilidad in situ.

4.6.3 Ensayes de laboratorio.

Las muestras obtenidas durante la ejecución de los sondeos fueron clasificadas visualmente y al tacto en el sitio; posteriormente, se les sometió a los siguientes ensayes:

- a.- Contenido de humedad.
- b.- Límites de Atterberg.

Del material tobaceo que aflora en la parte central del predio, se tomaron muestras representativas, que se sometieron a los siguientes ensayos:

- a.- Granulometría.
- b.- Límites de Atterberg.
- c.- Contracción lineal.
- d.- Peso volumétrico seco máximo vs. humedad óptima.
- e.- Determinación de coeficiente de permeabilidad con el permeámetro de carga variable.

Los resultados se muestran a continuación:

RESULTADOS DE ENSAYES EN LA TOBA QUE AFLORA EN EL SITIO.

% de grava	0
% de arena	8
% de finos	92
Límite líquido, %	55
Límite plástico, %	29
Índice de plasticidad	26
Contracción lineal, %	10
Clasificación SUCS	CH
Peso volumétrico seco máximo,	
Proctor estándar, Método A,	
kg/m ³	1,210
Humedad óptima, %	46
Peso volumétrico seco máximo,	
Proctor modificado, Método A,	
kg/m ³	1,340
Humedad óptima, %	38
Densidad de sólidos	2.59
Coefficiente de permeabilidad	
cm/seg	
Compactado al 85 % Proctor estandar	9.5×10^{-3}
Compactado al 85 % Proctor modificado	1.7×10^{-6}
Compactado al 90 % Proctor estandar	2.3×10^{-7}
Compactado al 90 % Proctor modificado	1.3×10^{-7}
Compactado al 95 % Proctor estandar	3.4×10^{-5}
Compactado al 95 % Proctor modificado	1.5×10^{-8}

4.6.4 Estratigrafía.

De la información obtenida de los sondeos, se desprende la siguiente estratigrafía: para la parte alta de la loma se encontró una capa de 40 m. de espesor, constituido por una toba formada por una arcilla limosa y limo arenosa con poca arena fina, color café, subyacente por arena, con gravas y boleos color gris, que se extiende en el resto de la profundidad investigada. Sobreyacen a este estrato diferentes manifestaciones de la actividad volcánica de la zona.

4.6.5 Coeficiente de permeabilidad.

De los resultados obtenidos de las muestras obtenidas *in situ* para la determinación del coeficiente de permeabilidad se obtuvo que este valor (*k*) varía como se muestra en la siguiente tabla:

MATERIAL	K (cm/seg)
Toba	2.0×10^{-5} a 1.8×10^{-7}
Arena con gravas y algunos boleos.	1.0×10^{-3} a 1.0×10^{-6}
Gravas y boleos empacados en arena.	2.2×10^{-1} a 1.8×10^{-3}
Basalto fracturado	1.6×10^{-1}
Tezontle	1.0×10^0 a 1.0×10^{-1}

De las pruebas de permeabilidad efectuadas en el laboratorio, utilizando el material remoldeado y reconstituido a diferentes grados de compactación, se obtuvieron los coeficientes de permeabilidad para diferentes grados de compactación de la prueba próctor estándar y proctor modificado como se señala anteriormente.

4.7 Geología del sitio.

A continuación se describe la geología local y su distribución en el área.

4.7.1 Terciario Andesita T(a).

Esta unidad se localiza en el volcán El Tejocote al noroeste y oeste del área. Se trata de una roca de composición andesítica-dacítica porfídica, de color rosado en forma sana y amarillenta al intemperizar. La forma sana presenta una resistencia alta y al intemperizar reduce a media.

Se relaciona con una brecha compuesta por fragmentos de la misma roca, con fracturamiento continuo y aberturas entre las paredes del orden de 5 cm y sin relleno, sin embargo, se deduce que cierra a profundidad, características por las que se infiere una permeabilidad media a profundidad y alta en la zona de fracturamiento.

4.7.2 Plio Cuaternario brecha volcanoclástica PQ(br).

Se encuentran esporádicamente en los lechos de los arroyos y en los cortes donde se desarrollan los bancos de materiales El Tezoyo, La Rosita, Loma Ancha y la Cañada, entre otros.

Esta unidad se compone de fragmentos de roca de composición que va de básica a ácida y tamaños que varían desde gravas a grandes bloques, no existiendo una selección granulométrica, sin embargo, se observó que en la base, los clastos de roca que predominan son los de tamaño de 10 cm y hacia la cima hay abundancia de bloques (algunos hasta de aproximadamente 5 m), siendo la mayoría de estos de composición andesítica, estos fragmentos se encuentran distribuidos caóticamente y tienen formas angulosas a subredondeadas, lo cual indica que el transporte fue de diferente grado de intensidad.

En estos depósitos se encontró fracturamiento escaso, en la mayoría de los casos, cerrado o relleno con el mismo material.

De acuerdo a su granulometría y a la distribución de sus componentes tenemos diferentes grados de permeabilidad, reportando un coeficiente promedio de 3.4×10^{-4} cm/seg (De acuerdo a las perforaciones realizadas por la compañía TGC), siendo este de media a alta.

La unidad ha sido correlacionada con la Formación Tarango.

4.7.3 Cuaternario basalto Q(b).

Se encuentran aflorando en la porción sur del cerro El Tezoyo y en la zona de Loma Ancha. La roca es un basalto-andesítico de color gris oscuro en el que se observan minerales de olivino y plagioclasa cálcica. La resistencia de la roca es alta y el grado de intemperismo es bajo.

El fracturamiento es intenso en este tipo de roca, con aberturas del orden de 5 cm. sin presentar relleno, algunas de ellas parecen haber tenido desplazamiento y ser más bien fallas.

Las perforaciones realizadas por TGC, reportan un coeficiente de 1.6×10^{-1} cm/seg, que indica su alta permeabilidad, comprobándose con la pérdida de agua durante la perforación.

Los basaltos alternan con capas de brecha volcánica (tezontle), de color rojo muy poroso, de espesor variable; reportándose coeficientes de permeabilidad de 1.0 cm/seg. Bajo esta unidad de basalto-tezontle, se reportó otra capa de toba, de 2.5 m de espesor con permeabilidad de 2.0×10^{-6} cm/seg.

De lo anterior, podemos suponer que los derrames basálticos fueron las primeras emisiones del volcán El Tezoyo, interrumpiendo el depósito continuo de las tobas.

4.7.4 Cuaternario brecha volcánica básica Q(bvb).

Los materiales constituyentes del cerro El Tezoyo, son de color negro y rojo, integrada por: fragmentos de basalto de tamaños de 5 a 10 cm, escorias (tezontle), arena de tamaño de lapilli y escasa ceniza, encontrándose en pseudoestratos paralelos a la pendiente del volcán.

En términos generales tienen baja compactación debido a la falta de cohesión de sus componentes, dado que no están piroconsolidados, infiriendo una permeabilidad alta.

Constituye una de las emisiones volcánicas más jóvenes de la región y se encuentra intercalada con derrames de composición basáltica.

4.7.5 Cuaternario toba Q(t).

Esta unidad se encuentra aflorando en la mayoría del área de estudio. Corresponde a una roca de textura piroclástica, de color amarillento cuya granulometría predominante es limosa con horizontes en los que la arcilla o la arena son más abundantes. La consistencia de la roca es baja, por la baja consolidación y compactación que presenta. En este paquete se presenta fracturamiento escaso y cuando se presenta está cerrado o relleno por el mismo material.

La permeabilidad del paquete de toba en general es 1×10^{-6} cm/seg a 1.8×10^{-6} cm/seg, por lo que es considerada como baja, sin embargo existen horizontes arenosos con permeabilidad alta, esto se comprueba con la pérdida de agua que se tuvo durante la perforación de los pozos realizados por TGC.

La toba se ve interrumpida en su depósito, por derrames básicos fracturados, que afloran a ambos lados del cerro El Tezoyo.

4.7.5 Cuaternario lacustre Q(la).

Los depósitos lacustres se localizan en la porción suroeste del área, sus límites no se definen exactamente ya que se interdigitan con los materiales aluviales.

El tipo de ambiente sedimentario permitió el predominio de materiales de granulometría arcillosa con horizontes limo-arenosos, todos con permeabilidad baja.

4.7.6 Cuaternario aluvial Q(al).

Se distribuyen ampliamente en la zona, se trata de materiales clásticos depositados al mismo tiempo que los sedimentos lacustres y los materiales volcánicos cuaternarios.

Constan de una serie de capas compuestas por sedimentos de granulometría variable en la que predominan limos y arcillas. La permeabilidad de dichos materiales varían de baja a media, sin embargo, en el subsuelo debido a los cambios granulométricos, la permeabilidad puede variar de media a alta.

4.7.7 Material de relleno Q(R).

Este material se fue acumulando a través del tiempo, durante el desarrollo de la mina. Consiste en clastos de tamaños de arena, grava y bloques, los cuales dada su baja compactación y selección, se registró durante la perforación realizada por TGC una gran pérdida de agua, deduciéndose una permeabilidad alta.

El espesor reportado de los materiales de relleno en la perforación realizada es de 35 m.

4.8 Geofísica.

Con el fin de definir las características físicas y homogeneidad de las unidades que se encuentran en el subsuelo se realizó la exploración geofísica por medio de sondeos eléctricos verticales mediante el dispositivo Schlumberger, definiéndose cinco unidades geoelectricas.

4.8.1 Unidad geoelectrica I.

En esta unidad se agrupa a la capa más superficial de espesor variable entre 2 y 24 m., consistente en suelo y material tobáceo de granulometría limo-arcillosa, con horizontes delgados de arena.

Se identificó una subunidad geoelectrica Ia, compuesta de toba de granulometría principalmente limosa, aunque contiene arcilla y arena en menor proporción. El espesor de esta capa varía de 12 a 40 m.

4.8.2 Unidad geoelectrica II.

Compuesta por un paquete de brechas volcanoclasticas de espesor aproximado de 10 m., compuestas por gravas y boleas empacados en material arenoso. Este paquete se registró hacia el valle y hacia la parte alta y central del arroyo El Tezoyo.

4.8.3 Unidad geoelectrica III.

Esta unidad se compone de material brechoide, compuesto por grava y arena saturada de agua, la unidad tiene un espesor de 132 m. en la parte central del valle y se adelgaza hacia la parte este hasta 8 m. Hacia la zona alta del arroyo El Tezoyo ya no se registra la unidad.

4.8.4 Unidad geoelectrica IV.

Se dividió en dos subunidades; la subunidad geoelectrica IVa, se correlaciona con rocas lávicas basálticas fracturadas, ubicadas al sur del área de estudio y con un espesor de 120 a 135 m. La subunidad geoelectrica IVb, se asoció con materiales brechoideos, compactados, interrumpidos por coladas básicas fracturadas las cuales se observan a la margen derecha del arroyo el Tezoyo. El espesor varía de 65 a 134 m.

4.8.5 Unidad geoelectrica V.

Es la unidad más inferior por lo que su espesor no se detectó, se correlaciona con brechas volcanoclasticas de baja permeabilidad y se encuentra distribuida en toda el área.

4.9 Geohidrología del sitio.

4.9.1 Resumen del sistema hidrogeológico.

El modelo de funcionamiento hidrogeológico consideró los siguientes aspectos: permeabilidad de las diferentes unidades hidrogeológicas mencionadas en el capítulo 4.2, relación estructural entre ellas y profundidad de niveles piezométricos en pozos.

El acuífero más cercano se localiza al poniente del sitio y se comporta como libre o semiconfinado, su distribución es irregular en el subsuelo. La granulometría del material que constituye el acuífero es principalmente de arenas y limos con un espesor mayor a los 80 m.

La principal recarga del acuífero se da en zonas alejadas del sitio y se debe a la infiltración de agua de lluvia a través de los mismos materiales cuando afloran o cuando están en contacto con otras rocas permeables, como los depósitos volcánicos de la Sierra Nevada. En la zona plana del valle se da la recarga a través de los excedentes de riego cuando la capa superior es permeable.

Los materiales descritos anteriormente se diferenciaron en unidades hidrogeológicas, de acuerdo a su comportamiento similar en cuanto a su capacidad para permitir el paso y almacenamiento del agua; siendo las siguientes las principales.

4.9.1.1 Unidad hidrogeológica I

Está constituida por tobas $Q(t)$, depósitos lacustres $Q(la)$ y aluviones $Q(al)$, que en general presentan permeabilidades de baja a media con predominio de baja, cuyos materiales presentan características que llegan a limitar considerablemente el flujo vertical del agua y a confinar o semiconfinar los acuíferos que le subyacen.

Se localizan cubriendo casi totalmente el área, con espesores que varían desde unos cuantos metros en los materiales lacustres y aluviales hasta 40 ó 50 m. en las tobas.

Por pruebas de permeabilidad realizadas por la compañía TGC, se pudo establecer que en la unidad de tobas se tienen coeficientes que varían de 1.0×10^{-6} cm/seg a 1.8×10^{-6} cm/seg, lo cual indica una baja permeabilidad. Cabe mencionar que durante la perforación se detectaron pérdidas de agua, correlacionandola con lentejones de arena intercalados.

4.9.1.2 Unidad hidrogeológica II

Esta unidad está constituida por basaltos Q(b), andesitas fracturadas T(a), brechas volcánicas Q(bvb) del volcán El Tezoyo y por material de relleno Q(R) resultante de la operación de los bancos de material que se han acumulado en las partes topográficamente bajas. En las perforaciones realizadas por TGC, se intentó determinar la permeabilidad de la unidad de basaltos sin éxito, ya que debido a la alta permeabilidad, los fluidos se perdieron totalmente.

4.9.1.3 Unidad hidrogeológica III

Esta unidad la conforman materiales volcánicos y sedimentarios clasificados como PQ(br); en el área tiene una amplia extensión tanto vertical como horizontal. Presenta una granulometría variada y por esta situación la permeabilidad que presentan estos materiales es también variable, con valores promedio de 2.2×10^{-7} .

4.9.1.4 Unidad hidrogeológica IV

Esta unidad está formada por rocas clasificadas como brechas volcano-sedimentarias PQ(br), pero en este caso con las que presentan permeabilidad baja, lo que permite la saturación de la unidad hidrogeológica III.

4.9.1.5 Unidad hidrogeológica V

Se localiza en la zona del cerro El Tezoyo y se infiere su presencia en la parte profunda del valle, debajo de las unidades hidrogeológicas III y IV. Estos materiales constituyen la materia prima a explotar en las minas, los cuales están totalmente drenados debido a su buena permeabilidad, a la posición topográfica en que se encuentran y a que no existe ninguna capa continua de baja permeabilidad que interrumpa el flujo vertical.

Por pruebas realizadas por la compañía TGC, se reconoce un coeficiente de permeabilidad que varía de 3.6×10^{-3} cm/seg a 9.4×10^{-7} cm/seg, esta amplia gama de permeabilidades confirma la variación granulométrica, en la cual predominan las permeabilidades altas.

4.9.2 Pozos existentes alrededor del área.

La descarga del acuífero se realiza principalmente por el bombeo de pozos distribuidos irregularmente en todo el valle, destinados para consumo humano, riego e industrial. Los caudales registrados son variables y van desde 30 l/seg hasta 80 l/seg, el bombeo se realiza en la mayoría de los casos solo por unas horas al día y solo los pozos destinados para uso doméstico laboran las 24 horas.

Los niveles estáticos son variables y se profundizan de oeste a este desde 40 m. hasta 97 m. En los últimos años el nivel ha sufrido descensos mayores a 10 m. en algunos casos, esto ha provocado, en algunas zonas, que el funcionamiento hidráulico del acuífero cambie de ser confinado a un acuífero libre.

5. CONFIGURACION DEL PROYECTO DEL CENTRO DE APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL.

5.1 Características de los desechos, áreas y volúmenes del sitio.

Para el Centro de Aprovechamiento y Disposición final para Residuos Sólidos de Ixtapaluca, solo se aceptarán desechos sólidos no tóxicos, el área total del sitio conformado por los dos predios mencionados con anterioridad, es de aproximadamente 301 Ha, de las cuales 103 Ha. serán utilizadas para el centro de aprovechamiento y disposición final, el resto del área será usada en un principio como zona de amortiguamiento y hacia el noreste en un futuro como posible zona de expansión para la disposición final.

El sitio fue seleccionado a partir de los estudios realizados con anterioridad y por su condición de inicio de cañada en la parte de la loma, esto último evita tener grandes volúmenes de escurrimiento superficial, además el material producto de la excavación será usado para la construcción de la interfase impermeable en la base de desplante de la disposición final.

El volumen disponible en el sitio con el diseño de excavación que se presenta en este proyecto, es de aproximadamente 73'749,000 m³, este total incluye 68'761,625 m³ como volumen disponible para desechos sólidos.

La excavación será de aproximadamente 48'722,000 m³ para la totalidad del sitio, en la parte de la loma la excavación será de aproximadamente 37'814,995 m³ de estos, de acuerdo con la estratigrafía, se calcula que aproximadamente, 15'000,000 m³ serán de material correspondiente a la toba existente y que se usarán para la construcción de la interfase impermeable y como material de cubierta diaria y final, para este proyecto se ha calculado que el requerimiento de este material es de aproximadamente 5'213,000 m³, por lo que este punto se satisface sin problema. El material sobrante será usado para la construcción de los caminos interiores, presas temporales, bermas, presa final y para los terraplenes necesarios para alcanzar los niveles del proyecto. El resto del volumen de excavación en la parte de la loma corresponde a la brecha vulcanoclástica que sería explotada por los mineros y que corresponde a aproximadamente 22'814,995 m³ los cuales tendrán que ser retirados en un lapso de 10 años para permitir el correcto desarrollo de la disposición final. La excavación en la parte de las minas será de aproximadamente 10'907,005 m³ que serán en material granular y su motivo es aumentar la capacidad y poder crear una superficie de desplante para la disposición final.

Los materiales para drenes deberán cumplir con especificaciones de permeabilidad más que de el espesor de las capas, para el caso de las fosas de recolección de lixiviado se utilizará grava controlada la cual podrá obtenerse de la explotación de la loma por parte de los mineros.

5.2 Vida útil del sitio.

El sitio recibirá inicialmente 4,984.23 m³ de desechos sólidos por día, estos valores tomados a partir de la población de los municipios y delegaciones que forman la Región VI del esquema metropolitano, a saber: Los municipios

de Chalco e Ixtapaluca y las delegaciones de Iztacalco, Iztapalapa, Coyoacán, Tlahuac, Xochimilco, Milpa Alta y el 55 % de la población de Tlalpan, considerando una generación per capita de 1 kg/Aty/día y un peso volumétrico en disposición final de 850 kg/m³. Considerando los índices de crecimiento anual de la población para cada uno de los municipios y delegaciones, para un periodo de operación del relleno de 23 años se anticipa que se recibirán en el sitio 12'587.10 m³ de desechos sólidos por día y que la tasa de crecimiento continuará con los índices antes mencionado, lo que será base para una posible expansión del relleno hacia el este, siendo esto motivo de otro proyecto. A partir de los valores anteriores se obtiene que para este proyecto se tendrá una vida útil de 23 años para la disposición final. En las Tablas 9 y 10 se muestran los resultados de estos cálculos. Es necesario mencionar que para los fines de diseño la tabla 9 modifica los valores de la tabla 2, al considerar un aumento anual del 1 % en la generación per capita.

TABLA 9
GENERACION DE DESECHOS SOLIDOS

AÑO	POBLACION HAB.	GENERACION PER CAPITA	PROYECCION DE LA GENERACION (TON)				
			DIARIA	DIARIA (M ³)	MENSUAL	ANUAL	ACUMULADO
1990	3'807,981	1.00000	3,807.981	4,479.978	114,239.4	1,389,913.1	1,389,913
1991	4'038,195	1.01000	4,078.577	4,798.326	122,357.3	1,488,680.6	1,488,681
1992	4'153,113	1.02010	4,236.591	4,984.225	127,097.7	1,546,355.6	1,546,356
1993	4'268,706	1.03030	4,398.052	5,174.179	131,941.6	1,605,289.0	3,151,645
1994	4'385,043	1.04060	4,563.093	5,368.345	136,892.8	1,665,529.1	4,817,174
1995	4'502,177	1.05101	4,731.833	5,566.862	141,955.0	1,727,119.1	6,544,293
1996	4'620,156	1.06152	4,904.389	5,769.869	147,131.7	1,790,101.9	8,334,395
1997	4'739,040	1.07214	5,080.892	5,977.520	152,426.8	1,854,525.7	10,188,920
1998	4'858,891	1.08286	5,261.483	6,189.980	157,844.5	1,920,441.2	12,109,362
1999	4'979,771	1.09369	5,446.302	6,407.414	163,389.1	1,987,900.3	14,097,262
2000	5'101,752	1.10462	5,635.508	6,630.009	169,065.2	2,056,960.5	16,154,222
2001	5'227,664	1.11567	5,832.339	6,861.575	174,970.2	2,128,803.8	18,283,026
2002	5'354,660	1.12683	6,033.765	7,098.547	181,012.9	2,202,324.2	20,485,350
2003	5'485,691	1.13809	6,243.228	7,344.974	187,296.8	2,278,778.2	22,764,129
2004	5'623,992	1.14947	6,464.634	7,605.452	193,939.0	2,359,591.3	25,123,720
2005	5'773,044	1.16097	6,702.325	7,885.088	201,069.7	2,446,348.6	27,570,068
2006	5'936,778	1.17258	6,961.339	8,189.811	208,840.2	2,540,888.8	30,110,957
2007	6'119,790	1.18430	7,247.694	8,526.699	217,430.8	2,645,408.5	32,756,366
2008	6'327,553	1.19615	7,568.687	8,904.338	227,060.6	2,762,570.6	35,518,936
2009	6'566,861	1.20811	7,933.484	9,333.511	238,004.5	2,895,721.5	38,414,658
2010	6'846,022	1.22019	8,353.448	9,827.586	250,603.4	3,049,008.5	41,463,666
2011	7'139,952	1.23239	8,799.219	10,352.022	263,976.6	3,211,715.0	44,675,381
2012	7'444,935	1.24472	9,266.829	10,902.152	278,004.9	3,382,392.5	48,057,774
2013	7'753,195	1.25716	9,747.030	11,467.094	292,410.9	3,557,666.0	51,615,440
2014	8'055,960	1.26973	10,228.932	12,034.038	306,867.9	3,733,560.0	55,349,000
2015	8'342,769	1.28243	10,699.034	12,587.099	320,971.0	3,905,147.4	59,254,147

TABLA 10
REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS DEL RELLENO SANITARIO

AÑO	VOL.REAL DE CELDA (M ³)	SUP.HOR.D E CELDA (M ³)	VOL.DIARI ODIARI. CUBIERTA.(M ³)	VOL.TOTAL DE CELDA (M ³)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS ANUALES (M ³)					
					BASURA		MAT. DE CUBIERTA		SUJIA	
					PARCIAL	ACUMUL.	PARCIAL	ACUMUL.	PARCIAL	ACUMUL.
1992	4,984.23	1,661.41	342.67	5,326.902	1,819,244	1,819,244	125,075	125,075	1,944,319	1,944,319
1993	5,174.18	1,724.73	352.64	5,526.824	1,888,576	3,707,820	128,715	253,790	2,017,291	3,961,610
1994	5,368.35	1,789.45	362.84	5,731.188	1,959,448	5,667,267	132,436	386,226	2,091,884	6,053,494
1995	5,566.86	1,855.62	373.26	5,940.120	2,031,904	7,699,171	136,240	522,466	2,168,144	8,221,638
1996	5,769.87	1,923.29	383.92	6,153.788	2,106,003	9,805,174	140,130	662,596	2,246,133	10,467,770
1997	5,977.52	1,992.51	394.82	6,372.340	2,181,795	11,986,969	144,109	806,706	2,325,904	12,793,674
1998	6,189.98	2,063.33	405.97	6,595,954	2,259,343	14,246,311	148,180	954,886	2,407,523	15,201,198
1999	6,407.41	2,135.80	417.39	6,824.799	2,338,705	16,585,016	152,347	1,107,233	2,491,052	17,692,249
2000	6,630.01	2,210.00	429.08	7,059,086	2,419,954	19,004,970	156,613	1,263,846	2,576,566	20,268,815
2001	6,861.58	2,287.19	441.23	7,302,813	2,504,477	21,509,446	161,050	1,424,896	2,665,527	22,934,342
2002	7,098.55	2,366.18	453.67	7,552,224	2,590,971	24,100,417	165,591	1,590,487	2,756,562	25,690,904
2003	7,344.97	2,448.32	466.61	7,811,581	2,680,914	26,781,331	170,313	1,760,800	2,851,227	28,542,131
2004	7,605.45	2,535.15	480.29	8,085,736	2,775,989	29,557,320	175,304	1,936,104	2,951,294	31,493,425
2005	7,885.09	2,628.36	494.97	8,380,057	2,878,058	32,435,378	180,663	2,116,767	3,058,721	34,552,145
2006	8,189.81	2,729.94	510.97	8,700,775	2,989,281	35,424,659	186,502	2,303,269	3,175,783	37,727,928
2007	8,526.70	2,842.23	528.65	9,055,352	3,112,246	38,536,904	192,958	2,496,227	3,305,203	41,033,132
2008	8,904.34	2,968.11	548.48	9,452,818	3,250,084	41,786,989	200,194	2,696,422	3,450,278	44,483,410
2009	9,333.51	3,111.17	571.01	9,904,519	3,406,731	45,193,720	208,418	2,904,840	3,615,150	48,098,560
2010	9,827.59	3,275.86	596.95	10,424,538	3,587,070	48,780,790	217,886	3,122,726	3,804,956	51,903,516
2011	10,035.02	3,450.67	624.48	10,659,501	3,662,782	52,443,572	227,936	3,350,662	3,890,718	55,794,234
2012	10,902.15	3,634.05	653.36	11,555,513	3,979,285	56,422,857	238,477	3,589,139	4,217,762	60,011,996
2013	11,467.09	3,822.36	683.02	12,150,112	4,185,488	60,608,345	249,303	3,838,442	4,434,791	64,446,787
2014	12,034.04	4,011.35	712.79	12,746,827	4,392,425	65,000,770	260,167	4,098,610	4,652,592	69,099,379
2015	12,587.10	4,195.70	741.82	13,328,923	4,594,292	69,595,011	270,765	4,369,375	4,865,057	73,964,436

5.3 Diseño del área disponible.

El desarrollo del diseño del proyecto, se muestra en los planos incluidos en este documento; la finalidad de estos planos es mostrar gráficamente los diversos detalles de la disposición final y el programa de ocupación. Los planos son referidos en la sección correspondiente a su aplicación.

5.3.1 Diseño del área de relleno y excavación.

Para el diseño del área de la disposición final, se establece un programa de excavaciones en base a tres fases generales de operación. La primera de ellas corresponde a la disposición en la zona de los socavones comprendiendo tres macroceldas; la segunda se refiere a la zona de la loma y comprende cuatro macroceldas y la tercera corresponde a la totalidad del sitio una vez uniformizados los niveles de relleno para las dos primeras fases. La base de desplante está configurada para la instalación de una fosa para colección de lixiviado en cada una de las fases, siguiendo el drenaje creado en el sitio para la localización del sistema de colección de lixiviado. El área inicial de trabajo que corresponde a la etapa 1 se muestra gráficamente en el Plano 5 señalando ahí mismo la localización de las bermas formadas por los caminos de acceso, el canal de recolección de lixiviado, el plani y límites de la excavación y los canales de desvío de agua superficial. En el Plano 4 se muestran cada una de las fases; durante la operación del relleno se irán construyendo los canales de desvío de agua superficial, así como, todos los caminos interiores necesarios para la correcta operación del sitio.

TABLA 11

CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (1A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2431	81,728	81,728	81,728
2432	82,557	82,557	164,284
2433	83,386	83,386	247,670
2434	84,215	84,215	331,885
2435	85,044	85,044	416,929
2436	85,873	85,873	502,802
2437	86,702	86,702	589,504
2438	87,531	87,531	677,035
2439	88,360	88,360	765,396
2440	89,189	89,189	854,585
2441	88,670	88,670	943,255
2442	86,801	86,801	1,030,056
2443	84,933	84,933	1,114,989
2444	83,064	83,064	1,198,053
2445	81,196	81,196	1,279,249
2446	79,327	79,327	1,358,576
2447	77,459	77,459	1,436,035
2448	75,590	75,590	1,511,625
2449	73,722	73,722	1,585,347
2450	71,853	71,853	1,657,200

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2451	69,655	69,655	1,726,855
2452	67,126	67,126	1,793,981
2453	64,598	64,598	1,858,579
2454	62,070	62,070	1,920,649
2455	59,541	59,541	1,980,190
2456	57,013	57,013	2,037,203
2457	54,484	54,484	2,091,687
2458	51,956	51,956	2,143,643
2459	49,428	49,428	2,193,071
2460	46,899	46,899	2,239,970
2461	43,826	43,826	2,283,796
2462	40,209	40,209	2,324,006
2463	36,592	36,592	2,360,598
2464	32,975	32,975	2,393,572
2465	29,358	29,358	2,422,930
2466	25,740	25,740	2,448,670
2467	22,123	22,123	2,470,794
2468	18,506	18,506	2,489,300
2469	14,889	14,889	2,504,188
2470	11,272	11,272	2,515,460

La totalidad de la base de desplante será recubierta con una capa de 0.60 m de arcilla compactada de acuerdo a lo señalado en el capítulo de impermeabilización. Los caminos interiores serán construidos y cubiertos de acuerdo lo señala el inciso 5.4.1.

El sistema de colección de lixiviado está formado por el filtro de arena, cuya permeabilidad deberá ser de 1×10^{-2} cm/seg o mayor para asegurar que el sistema de colección de lixiviados drenará eficientemente hacia el y de aquí hacia la fosa de colección y monitoreo; las áreas estarán delimitadas a la percolación de lixiviados por las presas temporales y final, por las bermas y por los caminos; todas estas obras en su funcionamiento conjunto, aseguran la colección y control de los lixiviados. Se corrió el programa HELP MODEL (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance, Versión 2) con los datos y parámetros específicos para el sitio para obtener la generación de lixiviado en el sitio.

TABLA 12

CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (1A. ETAPA)

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER LA					OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO PARA LA DISPOSICION				
AÑO	POBLACION (HABS)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS			ELEV.	CAPA No.	AREA PROM. (M ²)	OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO	
		DIARIOS	PARCIAL	ACUMULADO				PARCIAL	ACUMULADO
1992	4,153,113	5,326,902	1,944,319	1,944,319	2433	7	83,386	247,670	247,670
1993	4,268,706	5,526,824	2,017,291	3,961,610	2436	2	85,873	255,132	502,802
1994	4,385,043	5,731,188	2,091,884	6,053,494	2439	3	88,360	262,594	765,396
1995	4,502,177	5,940,120	2,168,144	8,221,637	2442	4	86,801	264,660	1,030,056
1996	4,620,156	6,153,788	2,246,133	10,467,770	2445	5	81,196	249,193	1,279,249
1997	4,739,040	6,372,340	2,325,904	12,793,674	2448	6	75,590	232,376	1,511,625
1998	4,858,891	6,595,954	2,407,523	15,201,197	2451	7	69,655	215,230	1,726,855
1999	4,979,771	6,824,799	2,491,052	17,692,249	2454	8	62,070	193,794	1,920,649
2000	5,101,752	7,059,086	2,576,566	20,268,815	2457	9	54,484	171,038	2,091,687
2001	5,227,664	7,302,813	2,665,527	22,934,342	2460	10	46,899	148,283	2,239,970
2002	5,354,660	7,552,224	2,756,562	25,690,904	2463	11	36,592	120,628	2,360,598
2003	5,485,691	7,811,581	2,851,227	28,542,131	2466	12	25,740	88,073	2,448,670
2004	5,623,992	8,085,736	2,951,294	31,493,425	2469	13	14,889	55,518	2,504,188

TABLA 13

CALENDARIZACION DEL RELLENO (1A. ETAPA)

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA (M ³)	ELEVACION
1992	1	46	5,326.902	2433
1992	2	47	5,326.902	2436
1992	3	49	5,326.902	2439
1992	4	49	5,326.902	2442
1992	5	46	5,326.902	2445
1992	6	43	5,326.902	2448
1992	7	40	5,326.902	2451

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA (M ³)	ELEVACION
1992	8	36	5,326.902	2454
1992	9	9	5,326.902	2457
1993	9	22	5,526.824	2457
1993	10	26	5,526.824	2460
1993	11	21	5,526.824	2463
1993	12	15	5,526.824	2466
1993	13	10	5,526.824	2469

Para la extracción de lixiviado se utilizará un tubo de 12" de PVC con perforaciones, que se extenderá desde el fondo de la fosa de colección hasta la superficie, este servirá también para monitoreo de lixiviado que se acumule en la fosa. El tubo será protegido con una capa de arena contra algún posible colapso.

La capacidad volumétrica del sitio, esta calculada para cada una de las diferentes fases de la operación, estableciendo para cada fase, la capacidad del sitio, la vida útil para la etapa y señalando la calendarización del relleno.

CAPACIDAD VOLUMETRICA 1A. ETAPA

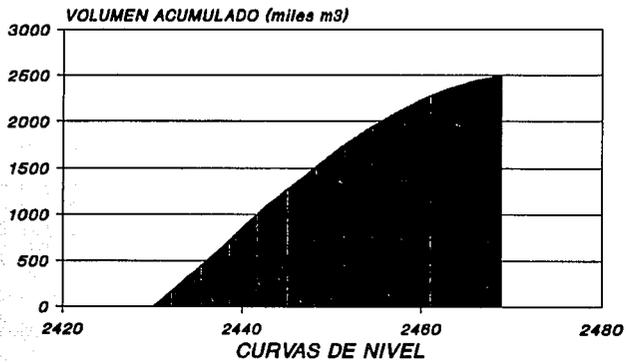


Figura 5: Capacidad volumétrica 1a. etapa.

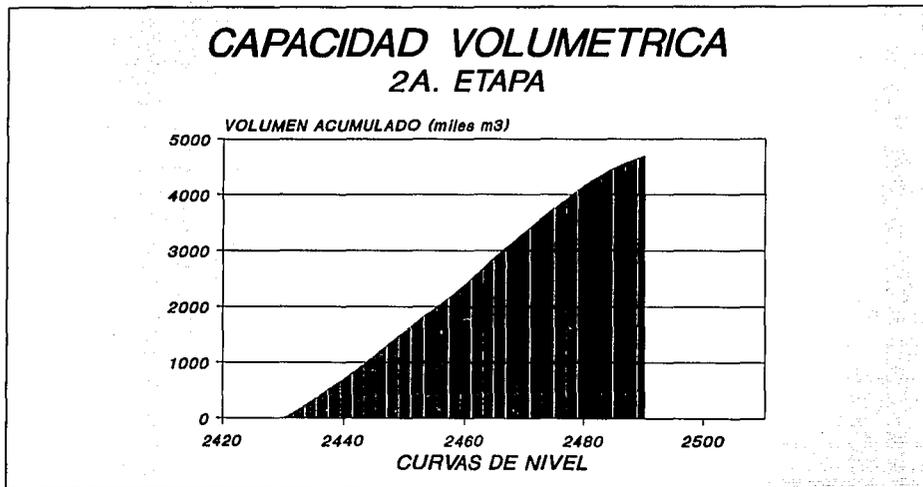


Figura 6: Capacidad Volumétrica 2a. etapa.

TABLA 14
CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (2A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	ÁREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2431	61,093	61,093	61,093
2432	63,100	63,100	124,193
2433	65,106	65,106	189,299
2434	67,112	67,112	256,411
2435	69,119	69,119	325,530
2436	71,125	71,125	396,655
2437	73,132	73,132	469,787
2438	75,138	75,138	544,925
2439	77,144	77,144	622,069
2440	79,151	79,151	701,220
2441	80,430	80,430	781,650
2442	80,983	80,983	862,634
2443	81,536	81,536	944,170
2444	82,089	82,089	1,026,258
2445	82,642	82,642	1,108,900
2446	83,194	83,194	1,192,094
2447	83,747	83,747	1,275,842
2448	84,300	84,300	1,360,142
2449	84,853	84,853	1,444,994
2450	85,406	85,406	1,530,400
2451	85,823	85,823	1,616,223
2452	86,104	86,104	1,702,327
2453	86,385	86,385	1,788,712
2454	86,667	86,667	1,875,378
2455	86,948	86,948	1,962,326
2456	87,229	87,229	2,049,555
2457	87,510	87,510	2,137,066
2458	87,792	87,792	2,224,858
2459	88,073	88,073	2,312,931
2460	88,354	88,354	2,401,285

CURVA DE NIVEL	ÁREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2461	88,806	88,806	2,490,091
2462	89,429	89,429	2,579,520
2463	90,051	90,051	2,669,571
2464	90,673	90,673	2,760,244
2465	91,296	91,296	2,851,540
2466	91,918	91,918	2,943,458
2467	92,541	92,541	3,035,999
2468	93,163	93,163	3,129,162
2469	93,785	93,785	3,222,947
2470	94,408	94,408	3,317,355
2471	93,691	93,691	3,411,046
2472	91,635	91,635	3,502,681
2473	89,579	89,579	3,592,259
2474	87,522	87,522	3,679,781
2475	85,466	85,466	3,765,248
2476	83,410	83,410	3,848,657
2477	81,354	81,354	3,930,011
2478	79,298	79,298	4,009,309
2479	77,241	77,241	4,086,550
2480	75,185	75,185	4,161,735
2481	72,210	72,210	4,233,945
2482	68,316	68,316	4,302,260
2483	64,421	64,421	4,366,682
2484	60,527	60,527	4,427,209
2485	56,633	56,633	4,483,841
2486	52,738	52,738	4,536,580
2487	48,844	48,844	4,585,424
2488	44,950	44,950	4,630,373
2489	41,055	41,055	4,671,429
2490	37,161	37,161	4,708,590

La información correspondiente a estos cálculos se presenta en las Tablas de la 11 a la 46 en donde se muestran los cálculos para cada una de las doce etapas secundarias que constituyen el programa de llenado para el sitio Ixtapaluca; de igual forma se presentan las curvas altura-volumen para cada una de las fases en las figuras asociadas con las tablas (figuras de la 5 a la 16).

Cabe mencionar que las etapas de la 1 a la 6 corresponden a la zona de los socavones, las etapas de la 7 a la 11 corresponden a la zona de la loma y la etapa 12 es el cierre del sitio hasta alcanzar la topografía final de proyecto.

TABLA 15

CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (2A. ETAPA)

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER LA				
AÑO	POBLACION N	REQUISITOS VOLUMETRICOS		
		DIARIOS	PARCIAL	ACUAMUL.
1992	4,153,113	5,326,902	1,944,319	1,944,319
1993	4,268,706	5,526,824	2,017,291	3,961,610
1994	4,385,043	5,731,188	2,091,884	6,053,494
1995	4,502,177	5,940,120	2,168,144	8,221,637
1996	4,620,156	6,153,788	2,246,133	10,467,770
1997	4,739,040	6,372,340	2,325,904	12,793,674
1998	4,858,891	6,595,954	2,407,523	15,201,197
1999	4,979,771	6,824,799	2,491,052	17,692,249
2000	5,101,752	7,059,086	2,576,566	20,268,815
2001	5,227,664	7,302,813	2,665,527	22,934,342
2002	5,354,660	7,552,224	2,756,562	25,690,904
2003	5,485,691	7,811,581	2,851,227	28,542,131
2004	5,623,992	8,085,736	2,951,291	31,493,425
2005	5,773,044	8,380,057	3,058,721	34,552,145
2006	5,936,778	8,700,775	3,175,783	37,727,928
2007	6,119,790	9,055,352	3,305,203	41,033,132
2008	6,327,553	9,452,818	3,450,279	44,483,410
2009	6,566,861	9,904,519	3,615,149	48,099,560
2010	6,846,022	10,424,538	3,804,956	51,903,516
2011	7,139,952	10,659,501	3,890,718	55,794,234

OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO PARA LA DISPOSICION				
ELEV.	CAPA No.	AREA PROM. (M ²)	OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO	
			PARCIAL	ACUAMULADO
2433	1	65,106	189,299	189,299
2436	2	71,125	207,356	396,655
2439	3	77,144	225,414	622,069
2442	4	80,983	240,564	862,634
2445	5	82,842	246,266	1,108,900
2448	6	84,300	251,242	1,360,142
2451	7	85,823	256,081	1,616,223
2454	8	86,667	259,156	1,875,378
2457	9	87,510	261,687	2,137,066
2460	10	88,354	264,219	2,401,285
2463	11	90,051	268,286	2,669,571
2466	12	91,918	273,887	2,943,458
2469	13	93,785	279,489	3,222,947
2472	14	91,635	279,733	3,502,681
2475	15	85,466	262,567	3,765,248
2478	16	79,298	244,061	4,009,309
2481	17	72,210	224,636	4,233,945
2484	18	60,527	193,264	4,427,209
2487	19	48,844	158,215	4,585,424
2490	20	37,161	123,166	4,708,590

TABLA 16

CALENDARIZACION DEL RELLENO (2A. ETAPA)

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
1993	1	34	5,526.824	2433
1993	2	37	5,526.824	2436
1993	3	40	5,526.824	2439
1993	4	43	5,526.824	2442
1993	5	44	5,526.824	2445
1993	6	45	5,526.824	2448
1993	7	28	5,526.824	2451
1994	7	17	5,731.188	2451
1994	8	45	5,731.188	2454
1994	9	45	5,731.188	2457
1994	10	46	5,731.188	2460

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
1994	11	46	5,731.188	2463
1994	12	47	5,731.188	2466
1994	13	48	5,731.188	2469
1994	14	48	5,731.188	2472
1994	15	23	5,731.188	2475
1995	15	22	5,940.120	2475
1995	16	41	5,940.120	2478
1995	17	37	5,940.120	2481
1995	18	32	5,940.120	2484
1995	19	26	5,940.120	2487
1995	20	20	5,940.120	2490

TABLA 17

CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (3A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2431	48,845	48,845	48,845
2432	50,720	50,720	99,565
2433	52,595	52,595	152,160
2434	54,469	54,469	206,629
2435	56,344	56,344	262,973
2436	58,218	58,218	321,191
2437	60,093	60,093	381,284
2438	61,968	61,968	443,251
2439	63,842	63,842	507,093
2440	65,717	65,717	572,810
2441	67,017	67,017	639,827
2442	67,742	67,742	707,568
2443	68,467	68,467	776,035
2444	69,192	69,192	845,228
2445	69,917	69,917	915,145
2446	70,643	70,643	985,788
2447	71,368	71,368	1,057,155
2448	72,093	72,093	1,129,248
2449	72,818	72,818	1,202,067
2450	73,543	73,543	1,275,610
2451	73,277	73,277	1,349,337
2452	73,369	73,369	1,422,706
2453	73,011	73,011	1,495,717
2454	72,653	72,653	1,568,371
2455	72,295	72,295	1,640,666
2456	71,938	71,938	1,712,604
2457	71,580	71,580	1,784,183
2458	71,222	71,222	1,855,405
2459	70,864	70,864	1,926,269
2460	70,506	70,506	1,996,775
2461	70,249	70,249	2,067,024
2462	70,093	70,093	2,137,118
2463	69,938	69,938	2,207,055
2464	69,782	69,782	2,276,837
2465	69,626	69,626	2,346,464
2466	69,471	69,471	2,415,934
2467	69,315	69,315	2,485,249
2468	69,159	69,159	2,554,409
2469	69,004	69,004	2,623,412
2470	68,848	68,848	2,692,260

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2471	68,580	68,580	2,760,840
2472	68,200	68,200	2,829,040
2473	67,820	67,820	2,896,860
2474	67,440	67,440	2,964,301
2475	67,060	67,060	3,031,361
2476	66,681	66,681	3,098,042
2477	66,301	66,301	3,164,342
2478	65,921	65,921	3,230,263
2479	65,541	65,541	3,295,804
2480	65,161	65,161	3,360,965
2481	65,017	65,017	3,425,982
2482	65,108	65,108	3,491,090
2483	65,200	65,200	3,556,290
2484	65,292	65,292	3,621,582
2485	65,383	65,383	3,686,965
2486	65,475	65,475	3,752,440
2487	65,566	65,566	3,818,006
2488	65,658	65,658	3,883,664
2489	65,750	65,750	3,949,414
2490	65,841	65,841	4,015,255
2491	65,678	65,678	4,080,933
2492	65,260	65,260	4,146,192
2493	64,841	64,841	4,211,034
2494	64,423	64,423	4,275,457
2495	64,005	64,005	4,339,461
2496	63,586	63,586	4,403,048
2497	63,168	63,168	4,466,216
2498	62,750	62,750	4,528,965
2499	62,331	62,331	4,591,297
2500	61,913	61,913	4,653,210
2501	59,171	59,171	4,712,381
2502	54,105	54,105	4,766,486
2503	49,040	49,040	4,815,526
2504	43,974	43,974	4,859,500
2505	38,908	38,908	4,898,408
2506	33,842	33,842	4,932,250
2507	28,776	28,776	4,961,026
2508	23,711	23,711	4,984,726
2509	18,645	18,645	5,003,381
2510	13,579	13,579	5,016,960

TABLA 18
CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (3A. ETAPA)

AÑO	POBLACION (HABS)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS		
		DIARIOS	PARCIAL	ACUMULADO
		1992	4,153,113	5,526,902
1993	4,268,706	5,526,824	2,017,291	3,961,610
1994	4,385,043	5,731,188	2,091,884	6,053,494
1995	4,502,177	5,940,120	2,168,144	8,221,637
1996	4,620,156	6,153,788	2,246,133	10,467,770
1997	4,739,040	6,372,340	2,325,904	12,793,674
1998	4,858,891	6,595,954	2,407,523	15,201,197
1999	4,979,771	6,824,799	2,491,052	17,692,249
2000	5,101,752	7,059,086	2,576,566	20,268,815
2001	5,227,064	7,302,813	2,665,527	22,934,342
2002	5,354,660	7,552,224	2,756,562	25,690,904
2003	5,485,691	7,811,581	2,851,227	28,542,131
2004	5,623,992	8,085,736	2,951,294	31,493,425
2005	5,773,044	8,380,057	3,058,721	34,552,145
2006	5,936,778	8,700,775	3,175,783	37,727,928
2007	6,119,790	9,055,352	3,305,203	41,033,132
2008	6,327,553	9,452,818	3,450,278	44,483,410
2009	6,566,861	9,904,519	3,615,150	48,098,560
2010	6,846,032	10,424,538	3,804,956	51,903,516
2011	7,139,952	10,659,501	3,890,718	55,794,234
2012	7,444,935	11,555,513	4,217,762	60,011,996
2013	7,753,195	12,190,112	4,434,791	64,446,787
2014	8,055,960	12,746,827	4,652,592	69,099,379
2015	8,342,769	13,328,923	4,865,057	73,964,436

ELEV.	CAPA No.	AREA PROM. (AP)	OFERTA VOLUMETRICA PARA LA DISPOSICION	
			OFERTA VOLUIMETRICA DEL SITIO	
			PARCIAL	ACUMULADO
2433	1	52,595	152,160	152,160
2436	2	58,218	169,031	321,191
2439	3	63,842	185,903	507,093
2442	4	67,742	200,475	707,568
2445	5	69,917	207,577	915,145
2448	6	72,093	214,103	1,129,248
2451	7	73,727	220,089	1,349,337
2454	8	72,653	219,034	1,568,371
2457	9	71,580	215,813	1,784,183
2460	10	70,506	212,592	1,996,775
2463	11	69,918	210,280	2,207,055
2466	12	69,471	208,789	2,415,934
2469	13	69,004	207,478	2,623,412
2472	14	68,200	205,628	2,829,040
2475	15	67,060	202,321	3,031,361
2478	16	65,921	198,902	3,230,263
2481	17	65,017	195,719	3,425,982
2484	18	65,292	195,600	3,621,582
2487	19	65,566	196,424	3,818,006
2490	20	65,841	197,249	4,015,255
2493	21	64,841	195,779	4,211,034
2496	22	65,586	192,014	4,403,048
2499	23	62,331	188,249	4,591,297
2502	24	54,105	175,190	4,766,486
2505	25	38,908	131,921	4,898,408
2508	26	23,711	86,329	4,984,736

TABLA 19
CALENDARIZACION DEL RELLENO (3A. ETAPA)

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
1995	1	25	5,940,120	2433
1995	2	28	5,940,120	2436
1995	3	31	5,940,120	2439
1995	4	33	5,940,120	2442
1995	5	34	5,940,120	2445
1995	6	36	5,940,120	2448
1996	7	37	6,153,788	2451
1996	8	35	6,153,788	2454
1996	9	35	6,153,788	2457
1996	10	34	6,153,788	2460
1996	11	34	6,153,788	2463
1996	12	33	6,153,788	2466
1996	13	33	6,153,788	2469
1996	14	33	6,153,788	2472

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
1996	15	32	6,153,788	2475
1996	16	32	6,153,788	2478
1996	17	27	6,153,788	2481
1997	17	4	6,372,340	2481
1997	18	30	6,372,340	2484
1997	19	30	6,372,340	2487
1997	20	30	6,372,340	2490
1997	21	30	6,372,340	2493
1997	22	30	6,372,340	2496
1997	23	29	6,372,340	2499
1997	24	27	6,372,340	2502
1997	25	20	6,372,340	2505
1997	26	13	6,372,340	2508

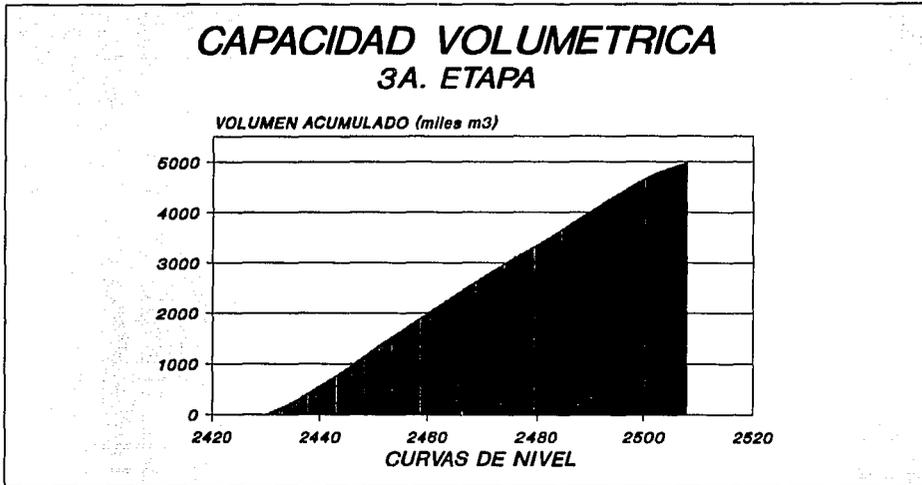


Figura 7: Capacidad volumétrica 3a. etapa.

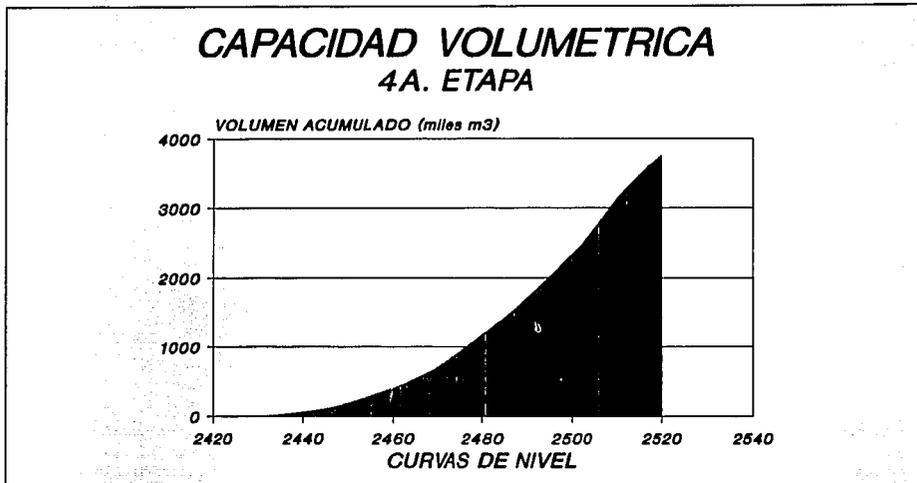


Figura 8: Capacidad volumétrica 4a. etapa.

TABLA 20

CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (4A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M3	
		PARCIAL	ACUMULADO
2431	4,296	4,296	4,296
2432	4,711	4,711	9,007
2433	5,125	5,125	14,132
2434	5,540	5,540	19,672
2435	5,954	5,954	25,626
2436	6,369	6,369	31,995
2437	6,783	6,783	38,778
2438	7,198	7,198	45,976
2439	7,612	7,612	53,588
2440	8,027	8,027	61,615
2441	8,701	8,701	70,316
2442	9,635	9,635	79,951
2443	10,569	10,569	90,520
2444	11,503	11,503	102,022
2445	12,437	12,437	114,459
2446	13,370	13,370	127,829
2447	14,304	14,304	142,134
2448	15,238	15,238	157,372
2449	16,172	16,172	173,544
2450	17,106	17,106	190,650
2451	17,951	17,951	208,601
2452	18,706	18,706	227,307
2453	19,462	19,462	246,769
2454	20,218	20,218	266,987
2455	20,973	20,973	287,960
2456	21,729	21,729	309,689
2457	22,484	22,484	332,173
2458	23,240	23,240	355,413
2459	23,996	23,996	379,409
2460	24,751	24,751	404,160
2461	25,777	25,777	429,937
2462	27,072	27,072	457,008
2463	28,367	28,367	485,375
2464	29,662	29,662	515,038
2465	30,957	30,957	545,995
2466	32,253	32,253	578,248
2467	33,548	33,548	611,795
2468	34,843	34,843	646,638
2469	36,138	36,138	682,777
2470	37,433	37,433	720,210
2471	38,763	38,763	758,973
2472	40,127	40,127	799,100
2473	41,491	41,491	840,590
2474	42,854	42,854	883,444
2475	44,218	44,218	927,663

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M3	
		PARCIAL	ACUMULADO
2476	45,582	45,582	973,244
2477	46,946	46,946	1,020,190
2478	48,310	48,310	1,068,500
2479	49,673	49,673	1,118,173
2480	51,037	51,037	1,169,210
2481	51,996	51,996	1,221,206
2482	52,549	52,549	1,273,754
2483	53,102	53,102	1,326,856
2484	53,655	53,655	1,380,510
2485	54,208	54,208	1,434,718
2486	54,761	54,761	1,489,478
2487	55,314	55,314	1,544,792
2488	55,867	55,867	1,600,658
2489	56,420	56,420	1,657,078
2490	56,973	56,973	1,714,050
2491	57,770	57,770	1,771,820
2492	58,813	58,813	1,830,633
2493	59,855	59,855	1,890,488
2494	60,898	60,898	1,951,386
2495	61,940	61,940	2,013,326
2496	62,983	62,983	2,076,309
2497	64,025	64,025	2,140,334
2498	65,068	65,068	2,205,402
2499	66,110	66,110	2,271,512
2500	67,153	67,153	2,338,665
2501	68,225	68,225	2,407,190
2502	70,228	70,228	2,477,418
2503	71,930	71,930	2,549,348
2504	73,632	73,632	2,622,980
2505	75,335	75,335	2,698,315
2506	77,037	77,037	2,775,352
2507	78,740	78,740	2,854,092
2508	80,442	80,442	2,934,534
2509	82,144	82,144	3,016,678
2510	83,847	83,847	3,100,525
2511	82,780	82,780	3,183,305
2512	78,943	78,943	3,262,248
2513	75,107	75,107	3,337,355
2514	71,271	71,271	3,408,626
2515	67,434	67,434	3,476,060
2516	63,598	63,598	3,539,658
2517	59,761	59,761	3,599,419
2518	55,925	55,925	3,655,344
2519	52,089	52,089	3,707,433
2520	48,252	48,252	3,755,685

TABLA 21

CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (4A. ETAPA)

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER LA BASURA				
AÑO	POBLACION (HAB.)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS		
		DIARIOS	PARCIAL	ACUMULADO
1992	4.153.113	5.326.902	1.944.319	1.944.319
1993	4.268.706	5.536.824	2.017.291	3.961.610
1994	4.385.043	5.731.188	2.091.884	6.053.494
1995	4.502.177	5.940.120	2.168.144	8.221.637
1996	4.620.156	6.153.288	2.246.133	10.467.770
1997	4.739.040	6.372.340	2.325.904	12.793.674
1998	4.858.891	6.595.954	2.407.523	15.201.197
1999	4.979.771	6.824.799	2.491.052	17.692.249
2000	5.101.752	7.059.086	2.576.506	20.268.755
2001	5.227.664	7.302.813	2.665.527	22.934.282
2002	5.354.660	7.552.224	2.756.502	25.690.784
2003	5.485.691	7.811.581	2.851.227	28.542.011
2004	5.623.992	8.085.736	2.951.294	31.493.305
2005	5.773.044	8.380.057	3.058.721	34.552.026
2006	5.936.778	8.700.775	3.175.283	37.727.309
2007	6.119.790	9.055.352	3.305.203	41.032.512
2008	6.327.553	9.452.818	3.450.279	44.482.791
2009	6.566.861	9.904.519	3.615.149	48.097.940
2010	6.846.022	10.424.538	3.804.956	51.902.896
2011	7.139.952	10.939.501	3.990.718	55.793.614
2012	7.444.935	11.555.513	4.217.762	60.011.376
2013	7.763.195	12.150.112	4.434.791	64.446.167
2014	8.055.960	12.746.827	4.652.592	69.098.759
2015	8.342.769	13.328.923	4.865.057	73.963.816

OFERTA VOLUMETRICA PARA LA DISPOSICION				
ELEV.	CAPA No.	AREA PROM. (A/P)	OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO	
			PARCIAL	ACUMULADO
2433	1	5.125	14.132	14.132
2436	2	6.369	17.863	31.995
2439	3	7.612	21.593	53.588
2442	4	9.635	26.363	79.951
2445	5	12.437	34.508	114.459
2448	6	15.338	42.913	157.372
2451	7	17.951	51.229	208.601
2454	8	20.218	58.386	266.987
2457	9	22.484	65.186	332.173
2460	10	24.751	71.987	404.160
2463	11	28.367	81.215	485.375
2466	12	32.253	92.872	578.248
2469	13	36.138	104.529	682.777
2472	14	40.127	116.323	799.100
2475	15	44.218	128.563	927.663
2478	16	48.310	140.837	1.068.500
2481	17	51.996	152.706	1.221.206
2484	18	53.655	159.305	1.380.510
2487	19	55.314	164.292	1.544.792
2490	20	56.973	169.259	1.714.050
2493	21	59.655	176.438	1.890.488
2496	22	62.983	185.821	2.076.309
2499	23	66.110	195.203	2.271.512
2502	24	70.228	205.906	2.477.418
2505	25	75.335	220.897	2.698.315
2508	26	80.442	236.219	2.934.534
2511	27	82.780	248.771	3.183.305
2514	28	71.271	225.321	3.408.626
2517	29	59.761	190.793	3.599.419
2520	30	48.252	156.266	3.755.685

TABLA 22

CALENDARIZACION DEL RELLENO (4A. ETAPA)

AÑO	CAPA No.	CELDA DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
1997	1	2	6.372.340	2433
1997	2	2	6.372.340	2436
1997	3	3	6.372.340	2439
1997	4	4	6.372.340	2442
1997	5	5	6.372.340	2445
1997	6	6	6.372.340	2448
1997	7	8	6.372.340	2451
1997	8	9	6.372.340	2454
1997	9	10	6.372.340	2457
1997	10	11	6.372.340	2460
1997	11	12	6.372.340	2463
1997	12	14	6.372.340	2466
1997	13	16	6.372.340	2469
1997	14	18	6.372.340	2472
1997	15	2	6.372.340	2475
1998	15	17	6.595.954	2475

AÑO	CAPA No.	CELDA DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
1998	16	21	6.595.954	2478
1998	17	23	6.595.954	2481
1998	18	24	6.595.954	2484
1998	19	24	6.595.954	2487
1998	20	25	6.595.954	2490
1998	21	26	6.595.954	2493
1998	22	28	6.595.954	2496
1998	23	29	6.595.954	2499
1998	24	31	6.595.954	2502
1998	25	33	6.595.954	2505
1998	26	35	6.595.954	2508
1998	27	37	6.595.954	2511
1998	28	12	6.595.954	2514
1999	28	21	6.824.799	2514
1999	29	27	6.824.799	2517
1999	30	22	6.824.799	2520

TABLA 23

CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (5A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M3	
		PARCIAL	ACUMULADO
2461	4,391	4,391	4,391
2462	5,104	5,104	9,495
2463	5,816	5,816	15,311
2464	6,528	6,528	21,839
2465	7,241	7,241	29,080
2466	7,953	7,953	37,033
2467	8,666	8,666	45,699
2468	9,378	9,378	55,077
2469	10,090	10,090	65,167
2470	10,803	10,803	75,970
2471	11,527	11,527	87,497
2472	12,262	12,262	99,759
2473	12,998	12,998	112,757
2474	13,734	13,734	126,491
2475	14,469	14,469	140,960
2476	15,205	15,205	156,165
2477	15,940	15,940	172,105
2478	16,676	16,676	188,781
2479	17,412	17,412	206,193
2480	18,147	18,147	224,340
2481	19,068	19,068	243,408
2482	20,173	20,173	263,580
2483	21,278	21,278	284,858
2484	22,383	22,383	307,240
2485	23,488	23,488	330,728
2486	24,593	24,593	355,320
2487	25,698	25,698	381,018
2488	26,803	26,803	407,820
2489	27,908	27,908	435,728
2490	29,013	29,013	464,740
2491	29,730	29,730	494,470
2492	30,061	30,061	524,531
2493	30,391	30,391	554,922
2494	30,722	30,722	585,644
2495	31,052	31,052	616,696

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M3	
		PARCIAL	ACUMULADO
2496	31,383	31,383	648,079
2497	31,713	31,713	679,792
2498	32,044	32,044	711,836
2499	32,374	32,374	744,210
2500	32,705	32,705	776,915
2501	34,717	34,717	811,632
2502	38,410	38,410	850,042
2503	42,104	42,104	892,146
2504	45,797	45,797	937,943
2505	49,491	49,491	987,434
2506	53,184	53,184	1,040,618
2507	56,878	56,878	1,097,496
2508	60,571	60,571	1,158,067
2509	64,265	64,265	1,222,332
2510	67,958	67,958	1,290,290
2511	70,261	70,261	1,360,551
2512	71,174	71,174	1,431,726
2513	72,087	72,087	1,503,813
2514	73,000	73,000	1,576,813
2515	73,913	73,913	1,650,726
2516	74,826	74,826	1,725,552
2517	75,739	75,739	1,801,291
2518	76,652	76,652	1,877,943
2519	77,565	77,565	1,955,507
2520	78,478	78,478	2,033,985
2521	79,042	79,042	2,113,027
2522	79,257	79,257	2,192,283
2523	79,472	79,472	2,271,755
2524	79,687	79,687	2,351,443
2525	79,902	79,902	2,431,345
2526	80,118	80,118	2,511,463
2527	80,333	80,333	2,591,795
2528	80,548	80,548	2,672,343
2529	80,763	80,763	2,753,107
2530	80,978	80,978	2,834,085

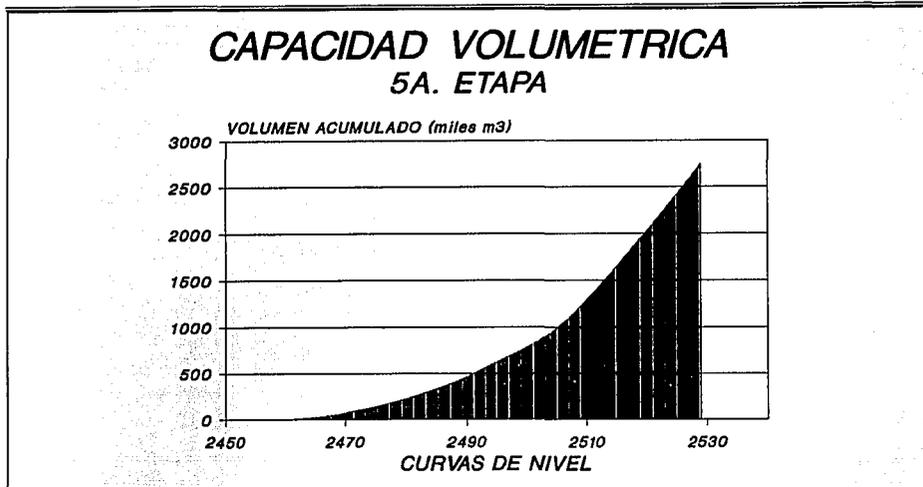


Figura 9: Capacidad volumétrica 5a. etapa.

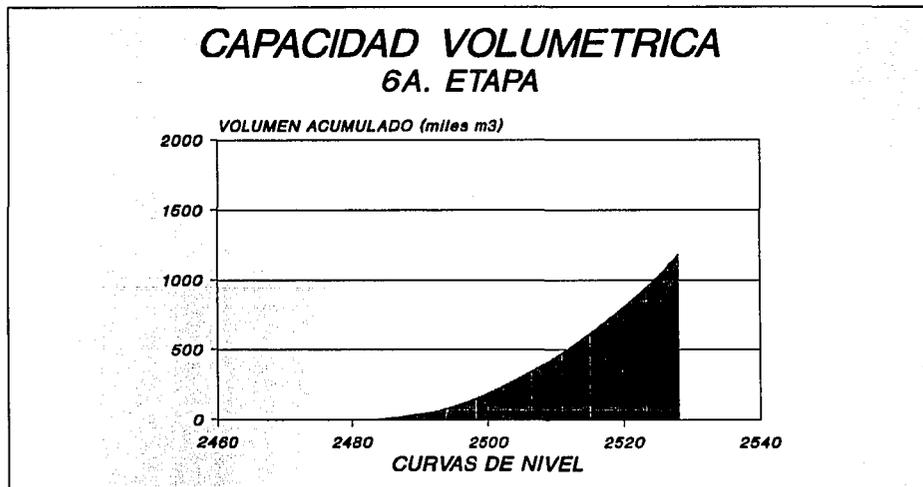


Figura 10: Capacidad volumétrica 6a. etapa.

TABLA 26

CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (6A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2481	1,218	1,218	1,218
2482	1,915	1,915	3,133
2483	2,611	2,611	5,744
2484	3,308	3,308	9,052
2485	4,004	4,004	13,056
2486	4,701	4,701	17,757
2487	5,397	5,397	23,154
2488	6,094	6,094	29,248
2489	6,790	6,790	36,038
2490	7,487	7,487	43,525
2491	8,184	8,184	52,013
2492	8,883	8,883	61,926
2493	11,249	11,249	73,175
2494	12,614	12,614	85,789
2495	13,980	13,980	99,769
2496	15,345	15,345	115,114
2497	16,711	16,711	131,825
2498	18,076	18,076	149,901
2499	19,442	19,442	169,343
2500	20,807	20,807	190,150
2501	21,965	21,965	212,115
2502	22,914	22,914	235,028
2503	23,863	23,863	258,891
2504	24,812	24,812	283,702
2505	25,761	25,761	309,463

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2506	26,710	26,710	336,172
2507	27,659	27,659	363,831
2508	28,608	28,608	392,438
2509	29,557	29,557	421,995
2510	30,506	30,506	452,500
2511	31,405	31,405	483,905
2512	32,254	32,254	516,158
2513	33,103	33,103	549,261
2514	33,952	33,952	583,214
2515	34,801	34,801	618,015
2516	35,651	35,651	653,666
2517	36,500	36,500	690,165
2518	37,349	37,349	727,514
2519	38,198	38,198	765,713
2520	39,047	39,047	804,760
2521	40,490	40,490	845,250
2522	42,527	42,527	887,778
2523	44,564	44,564	932,342
2524	46,601	46,601	978,942
2525	48,638	48,638	1,027,580
2526	50,674	50,674	1,078,254
2527	52,711	52,711	1,130,966
2528	54,748	54,748	1,185,714
2529	56,785	56,785	1,242,498
2530	58,822	58,822	1,301,320

TABLA 27

CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (6A. ETAPA)

AÑO	POBLACION (HABS)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS		
		DIARIOS	PARCIAL	ACUMULADO
		1992	4,153,113	5,326,902
1993	4,268,706	5,526,824	2,017,291	3,961,610
1994	4,385,043	5,731,188	2,091,884	6,053,494
1995	4,502,177	5,940,120	2,168,144	8,221,637
1996	4,620,156	6,153,768	2,246,133	10,467,770
1997	4,739,040	6,372,340	2,325,904	12,793,674
1998	4,858,891	6,595,954	2,407,523	15,201,197
1999	4,979,771	6,824,799	2,491,052	17,692,249
2000	5,101,752	7,059,086	2,576,566	20,268,815
2001	5,227,664	7,302,813	2,665,527	22,934,342
2002	5,354,660	7,552,224	2,756,562	25,690,904
2003	5,485,691	7,811,581	2,851,227	28,542,131
2004	5,623,992	8,085,736	2,951,294	31,493,425
2005	5,773,044	8,380,557	3,058,721	34,552,145
2006	5,936,778	8,700,775	3,175,783	37,727,928
2007	6,119,790	9,055,352	3,305,203	41,033,132

ELEV.	CAPA No.	AREA PROM. (M ²)	OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO	
			PARCIAL	ACUMULADO
			2483	1
2486	2	4,701	12,013	17,757
2489	3	6,790	18,281	36,038
2492	4	9,883	25,888	61,926
2495	5	13,980	37,843	99,769
2498	6	18,076	50,132	149,901
2501	7	21,965	62,214	212,115
2504	8	24,812	71,588	283,702
2507	9	27,659	80,129	363,831
2510	10	30,506	88,670	452,500
2513	11	33,103	96,761	549,261
2516	12	35,651	104,404	653,666
2519	13	38,198	112,017	765,713
2522	14	42,527	122,065	887,778
2525	15	48,638	139,802	1,027,580
2528	16	54,748	158,134	1,185,714

TABLA 28
CALENDARIZACION DEL RELLENO (6A. ETAPA)

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2000	1	1	7,059.086	2483
2000	2	1	7,059.086	2486
2000	3	2	7,059.086	2489
2000	4	3	7,059.086	2492
2000	5	5	7,059.086	2495
2000	6	7	7,059.086	2498
2000	7	8	7,059.086	2501
2000	8	10	7,059.086	2504

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2000	9	11	7,059.086	2507
2000	10	12	7,059.086	2510
2000	11	13	7,059.086	2513
2000	12	14	7,059.086	2516
2000	13	15	7,059.086	2519
2000	14	17	7,059.086	2522
2000	15	19	7,059.086	2525
2000	16	22	7,059.086	2528

TABLA 29
CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (7A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2481	62,698	62,698	62,698
2482	63,981	63,981	126,680
2483	65,264	65,264	191,944
2484	66,547	66,547	258,491
2485	67,830	67,830	326,321
2486	69,113	69,113	395,434
2487	70,396	70,396	465,830
2488	71,679	71,679	537,509
2489	72,962	72,962	610,470
2490	74,245	74,245	684,715
2491	74,543	74,543	759,258
2492	73,856	73,856	833,114
2493	73,170	73,170	906,284
2494	72,483	72,483	978,767
2495	71,797	71,797	1,050,564
2496	71,110	71,110	1,121,674
2497	70,424	70,424	1,192,098
2498	69,737	69,737	1,261,835
2499	69,051	69,051	1,330,886
2500	68,364	68,364	1,399,250

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2501	67,331	67,331	1,466,581
2502	66,952	66,952	1,532,533
2503	64,572	64,572	1,597,105
2504	63,193	63,193	1,660,298
2505	61,813	61,813	1,722,111
2506	60,434	60,434	1,782,545
2507	59,054	59,054	1,841,599
2508	57,675	57,675	1,899,274
2509	56,295	56,295	1,955,569
2510	54,916	54,916	2,010,485
2511	53,158	53,158	2,063,643
2512	51,022	51,022	2,114,665
2513	48,886	48,886	2,163,551
2514	46,750	46,750	2,210,300
2515	44,614	44,614	2,254,914
2516	42,477	42,477	2,297,391
2517	40,341	40,341	2,337,733
2518	38,205	38,205	2,375,938
2519	36,069	36,069	2,412,007
2520	33,933	33,933	2,445,940

TABLA 30

CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (7A. ETAPA)

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER LA BASURA				
AÑO	POBLACION (HABS)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS		
		DIARIOS	PARCIAL	ACUMULADO
1992	4,153,113	5,326,902	1,944,319	1,944,319
1993	4,268,706	5,526,824	2,017,291	3,961,610
1994	4,385,043	5,731,188	2,091,884	6,053,494
1995	4,502,177	5,940,120	2,168,144	8,221,637
1996	4,620,156	6,153,788	2,246,133	10,467,770
1997	4,739,040	6,372,340	2,325,904	12,793,674
1998	4,858,891	6,595,954	2,407,523	15,201,197
1999	4,979,771	6,824,799	2,491,052	17,692,249
2000	5,101,752	7,059,086	2,576,566	20,268,815
2001	5,227,664	7,302,813	2,665,527	22,934,342
2002	5,354,660	7,552,224	2,756,562	25,690,904
2003	5,485,691	7,811,581	2,851,227	28,542,131
2004	5,623,992	8,085,736	2,951,294	31,493,425

OFERTA VOLUMETRICA PARA LA DISPOSICION				
ELLIV.	CAPA No.	AREA PROM.	OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO	
			PARCIAL	ACUMULADO
2483	1	65,264	191,944	191,944
2486	2	69,113	203,490	395,434
2489	3	72,962	215,036	610,470
2492	4	73,856	222,644	833,114
2495	5	71,797	217,450	1,050,564
2498	6	69,737	211,271	1,261,835
2501	7	67,331	204,746	1,466,581
2504	8	63,193	193,717	1,660,298
2507	9	59,054	181,301	1,841,599
2510	10	54,916	168,886	2,010,485
2513	11	48,886	153,066	2,163,551
2516	12	42,477	133,841	2,297,391
2519	13	36,069	114,616	2,412,007

TABLA 31

CALENDARIZACION DEL RELLENO (7A. ETAPA)

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2000	1	27	7,059,086	2483
2000	2	28	7,059,086	2486
2000	3	30	7,059,086	2489
2000	4	24	7,059,086	2492
2001	4	7	7,302,813	2492
2001	5	29	7,302,813	2495
2001	6	28	7,302,813	2498

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2001	7	28	7,302,813	2501
2001	8	26	7,302,813	2504
2001	9	24	7,302,813	2507
2001	10	23	7,302,813	2510
2001	11	20	7,302,813	2513
2001	12	18	7,302,813	2516
2001	13	15	7,302,813	2519

TABLA 32

CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (8A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2481	68,989	68,989	68,989
2482	70,187	70,187	139,176
2483	71,385	71,385	210,561
2484	72,583	72,583	283,144
2485	73,781	73,781	356,925
2486	74,979	74,979	431,904
2487	76,177	76,177	508,081
2488	77,375	77,375	585,456
2489	78,573	78,573	664,029
2490	79,771	79,771	743,800
2491	80,262	80,262	824,062
2492	80,045	80,045	904,107
2493	79,829	79,829	983,936
2494	79,612	79,612	1,063,548
2495	79,396	79,396	1,142,944
2496	79,179	79,179	1,222,123
2497	78,963	78,963	1,301,086
2498	78,746	78,746	1,379,832
2499	78,530	78,530	1,458,362
2500	78,313	78,313	1,536,675

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2501	77,683	77,683	1,614,358
2502	76,638	76,638	1,690,995
2503	75,593	75,593	1,766,588
2504	74,548	74,548	1,841,135
2505	73,503	73,503	1,914,638
2506	72,458	72,458	1,987,095
2507	71,413	71,413	2,058,508
2508	70,368	70,368	2,128,875
2509	69,323	69,323	2,198,198
2510	68,278	68,278	2,266,475
2511	67,232	67,232	2,333,601
2512	66,186	66,186	2,399,471
2513	65,141	65,141	2,464,083
2514	63,355	63,355	2,527,438
2515	62,098	62,098	2,589,536
2516	60,841	60,841	2,650,377
2517	59,584	59,584	2,709,961
2518	58,327	58,327	2,768,288
2519	57,070	57,070	2,825,357
2520	55,813	55,813	2,881,170

TABLA 33

CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (8A. ETAPA)

AÑO	POBLACION (HABS)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS		
		DIARIOS	PARCIAL	ACUMULADO
		1992	4,153,113	5,326,902
1993	4,260,706	5,526,824	2,017,291	3,961,610
1994	4,385,043	5,731,188	2,091,884	6,053,494
1995	4,502,177	5,940,120	2,168,144	8,221,637
1996	4,620,156	6,153,788	2,246,133	10,467,770
1997	4,739,040	6,372,340	2,325,904	12,793,674
1998	4,858,891	6,595,954	2,407,523	15,201,197
1999	4,979,771	6,824,799	2,491,052	17,692,249
2000	5,101,752	7,059,086	2,576,566	20,268,815
2001	5,227,664	7,302,813	2,665,527	22,934,342
2002	5,354,660	7,552,224	2,756,562	25,690,904
2003	5,485,691	7,811,581	2,851,227	28,542,131
2004	5,623,992	8,085,736	2,951,294	31,493,425

ELEV.	CAPA No.	AREA PROM.	OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO	
			PARCIAL	ACUMULADO
			2483	1
2486	2	74,979	221,343	431,904
2489	3	78,573	232,125	664,029
2492	4	80,045	240,078	904,107
2495	5	79,396	238,837	1,142,944
2498	6	78,746	236,888	1,379,832
2501	7	77,683	234,526	1,614,358
2504	8	74,548	226,778	1,841,135
2507	9	71,413	217,373	2,058,508
2510	10	68,278	207,968	2,266,475
2513	11	65,141	197,608	2,464,083
2516	12	60,841	186,294	2,650,377
2519	13	57,070	174,980	2,825,357

TABLA 34

CALENDARIZACION DEL RELLENO (8A. ETAPA)

ANO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2001	1	28	7,302.813	2483
2001	2	30	7,302.813	2486
2001	3	31	7,302.813	2489
2001	4	32	7,302.813	2492
2001	5	26	7,302.813	2495
2002	5	6	7,552.224	2495
2002	6	31	7,552.224	2498

ANO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2002	7	31	7,552.224	2501
2002	8	30	7,552.224	2504
2002	9	28	7,552.224	2507
2002	10	27	7,552.224	2510
2002	11	26	7,552.224	2513
2002	12	24	7,552.224	2516
2002	13	23	7,552.224	2519

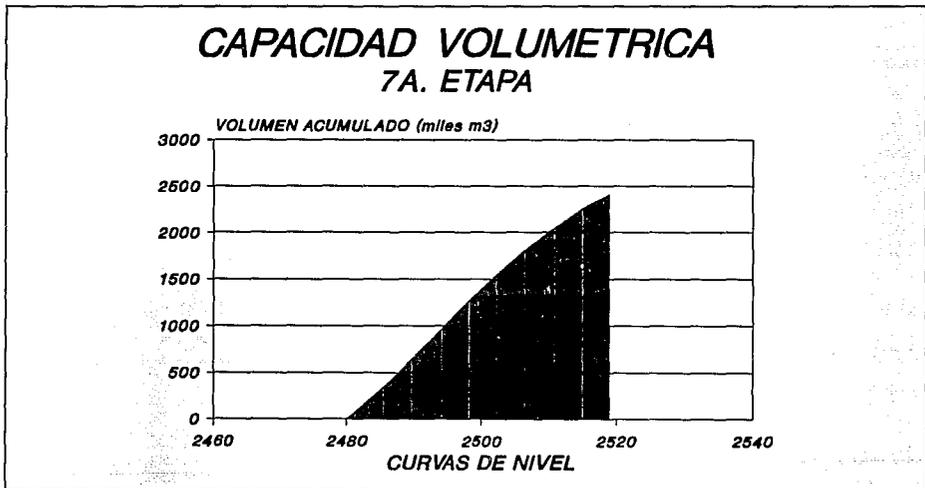


Figura 11: Capacidad volumétrica 7a. etapa.

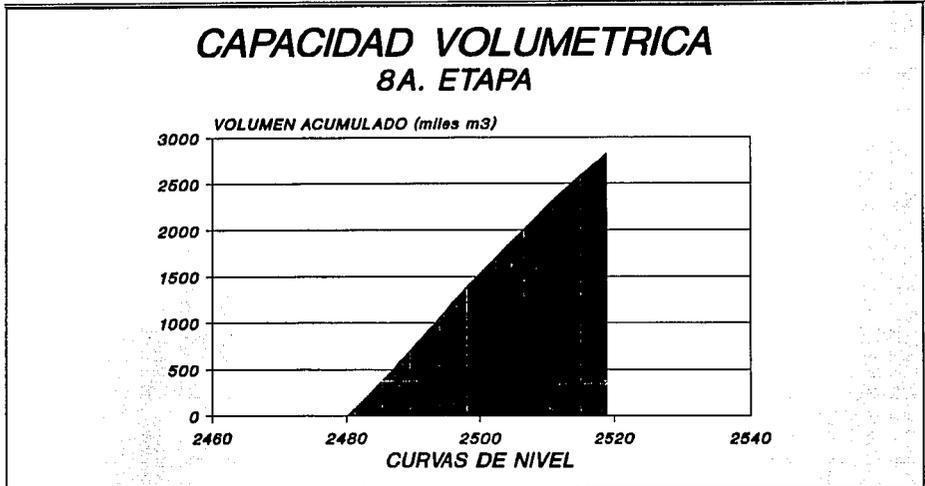


Figura 12: Capacidad volumétrica 8a. etapa.

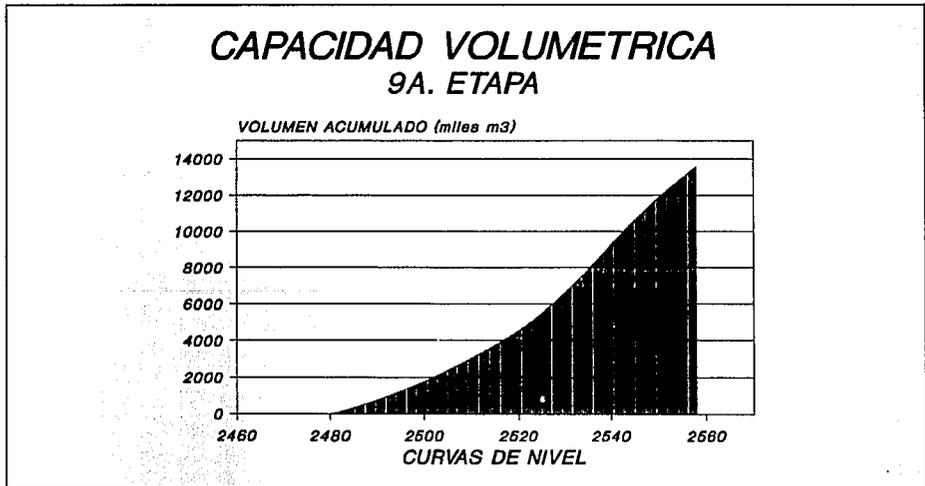


Figura 13: Capacidad volumétrica 9a. etapa.

TABLA 35

CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (9A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2481	66,138	66,138	66,138
2482	68,863	68,863	135,001
2483	71,588	71,588	206,589
2484	74,312	74,312	280,901
2485	77,037	77,037	357,938
2486	79,761	79,761	437,699
2487	82,486	82,486	520,185
2488	85,211	85,211	605,395
2489	87,935	87,935	693,330
2490	90,660	90,660	783,990
2491	92,830	92,830	876,820
2492	94,447	94,447	971,268
2493	96,064	96,064	1,067,332
2494	97,681	97,681	1,165,012
2495	99,298	99,298	1,264,310
2496	100,914	100,914	1,365,224
2497	102,531	102,531	1,467,756
2498	104,148	104,148	1,571,904
2499	105,765	105,765	1,677,668
2500	107,382	107,382	1,785,050
2501	109,696	109,696	1,894,746
2502	112,707	112,707	2,007,453
2503	115,719	115,719	2,123,172
2504	118,730	118,730	2,241,902
2505	121,742	121,742	2,363,644
2506	124,753	124,753	2,488,397
2507	127,765	127,765	2,616,162
2508	130,776	130,776	2,746,938
2509	133,788	133,788	2,880,726
2510	136,799	136,799	3,017,525
2511	139,785	139,785	3,157,310
2512	142,745	142,745	3,300,055
2513	145,705	145,705	3,445,760
2514	148,665	148,665	3,594,425
2515	151,625	151,625	3,746,050
2516	154,585	154,585	3,900,635
2517	157,545	157,545	4,058,180
2518	160,505	160,505	4,218,685
2519	163,465	163,465	4,382,150
2520	166,425	166,425	4,548,575

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2521	171,833	171,833	4,720,408
2522	179,690	179,690	4,900,098
2523	187,546	187,546	5,087,644
2524	195,403	195,403	5,283,047
2525	203,259	203,259	5,486,306
2526	211,116	211,116	5,697,422
2527	218,972	218,972	5,916,394
2528	226,829	226,829	6,143,223
2529	234,685	234,685	6,377,908
2530	242,542	242,542	6,620,450
2531	248,365	248,365	6,868,815
2532	252,156	252,156	7,120,971
2533	255,946	255,946	7,376,917
2534	259,737	259,737	7,636,654
2535	263,527	263,527	7,900,181
2536	267,318	267,318	8,167,499
2537	271,108	271,108	8,438,607
2538	274,899	274,899	8,713,506
2539	278,689	278,689	8,992,195
2540	282,480	282,480	9,274,675
2541	282,141	282,141	9,556,816
2542	277,672	277,672	9,834,488
2543	273,204	273,204	10,107,692
2544	268,735	268,735	10,376,427
2545	264,267	264,267	10,640,694
2546	259,798	259,798	10,900,492
2547	255,330	255,330	11,155,822
2548	250,861	250,861	11,406,683
2549	246,393	246,393	11,653,076
2550	241,924	241,924	11,895,000
2551	235,940	235,940	12,130,940
2552	228,439	228,439	12,359,378
2553	220,938	220,938	12,580,316
2554	213,437	213,437	12,793,752
2555	205,936	205,936	12,999,688
2556	198,435	198,435	13,198,122
2557	190,934	190,934	13,389,056
2558	183,433	183,433	13,572,488
2559	175,932	175,932	13,748,420
2560	168,431	168,431	13,916,850

TABLA 36
CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (9A. ETAPA)

AÑO	POBLACION (HABS)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS		
		DIARIOS	PARCIAL	ACUMULADO
		1992	4,153,113	5,326,902
1993	4,268,706	5,526,824	2,017,291	3,961,610
1994	4,385,043	5,731,188	2,091,884	6,053,494
1995	4,502,177	5,940,120	2,168,144	8,221,637
1996	4,620,156	6,153,788	2,246,133	10,467,770
1997	4,739,040	6,372,340	2,325,904	12,793,674
1998	4,858,891	6,595,954	2,407,523	15,201,197
1999	4,979,771	6,824,799	2,491,052	17,692,249
2000	5,101,752	7,059,086	2,576,566	20,268,815
2001	5,227,664	7,302,813	2,663,527	22,934,342
2002	5,354,660	7,552,224	2,750,562	25,689,904
2003	5,485,691	7,811,581	2,831,227	28,542,131
2004	5,623,992	8,085,736	2,911,294	31,493,425
2005	5,773,044	8,380,057	3,008,721	34,552,145
2006	5,936,778	8,700,775	3,125,783	37,677,928
2007	6,119,790	9,055,352	3,305,203	41,033,132
2008	6,327,553	9,452,818	3,450,279	44,483,410
2009	6,566,801	9,904,519	3,615,149	48,098,560
2010	6,846,022	10,424,538	3,804,956	51,903,516
2011	7,139,932	10,999,501	3,890,718	55,794,234
2012	7,444,935	11,535,513	4,217,762	60,011,996
2013	7,753,795	12,150,112	4,434,791	64,446,787
2014	8,055,960	12,746,827	4,652,592	69,099,379
2015	8,342,769	13,328,923	4,865,057	73,964,436

ELEV.	CAPA No.	AREA PROT. (M ²)	OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO	
			PARCIAL	ACUMULADO
			2483	1
2486	2	79,761	211,110	437,699
2489	3	87,935	255,632	693,330
2492	4	94,447	277,937	971,268
2495	5	99,298	293,042	1,264,310
2498	6	104,148	307,594	1,571,904
2501	7	109,696	323,842	1,894,746
2504	8	114,730	347,156	2,241,902
2507	9	122,765	374,260	2,616,162
2510	10	136,799	401,363	3,017,525
2513	11	145,705	428,235	3,445,760
2516	12	154,585	454,875	3,900,635
2519	13	163,465	481,515	4,382,150
2522	14	171,690	517,948	4,900,098
2525	15	201,259	586,208	5,486,306
2528	16	226,829	656,917	6,143,223
2531	17	248,365	725,592	6,868,815
2534	18	259,737	767,839	7,636,654
2537	19	271,168	801,953	8,438,607
2540	20	282,480	836,688	9,274,675
2543	21	273,704	833,017	10,107,692
2546	22	259,798	792,800	10,900,492
2549	23	246,393	752,584	11,653,076
2552	24	228,439	706,302	12,359,378
2555	25	205,936	640,310	12,999,688
2558	26	183,433	572,801	13,572,488

TABLA 37
CALENDARIZACION DEL RELLENO (9A. ETAPA)

AÑO	CAPA No.	CELDA DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2002	1	27	7,552,224	2183
2002	2	30	7,552,224	2486
2002	3	33	7,552,224	2489
2002	4	36	7,552,224	2492
2002	5	13	7,552,224	2495
2003	5	24	7,811,581	2495
2003	6	39	7,811,581	2498
2003	7	41	7,811,581	2501
2003	8	44	7,811,581	2504
2003	9	47	7,811,581	2507
2003	10	51	7,811,581	2510
2003	11	54	7,811,581	2513
2003	12	58	7,811,581	2516
2003	13	7	7,811,581	2519
2004	13	52	8,085,736	2519
2004	14	64	8,085,736	2522

AÑO	CAPA No.	CELDA DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2004	15	72	8,085,736	2525
2004	16	81	8,085,736	2528
2004	17	89	8,085,736	2531
2004	18	7	8,085,736	2534
2005	18	84	8,380,057	2534
2005	19	95	8,380,057	2537
2005	20	99	8,380,057	2540
2005	21	87	8,380,057	2543
2006	21	11	8,700,775	2543
2006	22	91	8,700,775	2546
2006	23	86	8,700,775	2549
2006	24	81	8,700,775	2552
2006	25	73	8,700,775	2555
2006	26	23	8,700,775	2558
2007	26	41	9,055,352	2558

TABLA 38

CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (10A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2491	9.987	9.987	9.987
2492	11.473	11.473	21.455
2493	13.065	12.065	34.430
2494	14.457	14.457	48.827
2495	15.948	15.948	64.825
2496	17.440	17.440	82.265
2497	18.931	18.931	101.196
2498	20.423	20.423	121.619
2499	21.915	21.915	143.534
2500	23.406	23.406	166.940
2501	24.335	24.335	191.275
2502	24.700	24.700	215.975
2503	25.066	25.066	241.040
2504	25.431	25.431	266.471
2505	25.796	25.796	292.268
2506	26.162	26.162	318.429
2507	26.527	26.527	344.956
2508	26.893	26.893	371.849
2509	27.258	27.258	399.107
2510	27.623	27.623	426.730
2511	28.444	28.444	455.174
2512	29.219	29.219	484.893
2513	30.994	30.994	515.887
2514	32.270	32.270	548.150
2515	33.545	33.545	581.701
2516	34.820	34.820	616.521
2517	36.095	36.095	652.617
2518	37.371	37.371	689.988
2519	38.646	38.646	728.631
2520	39.921	39.921	768.555
2521	41.251	41.251	809.806
2522	42.636	42.636	852.442
2523	44.021	44.021	896.463
2524	45.405	45.405	941.868
2525	46.790	46.790	988.658
2526	48.174	48.174	1.036.832
2527	49.559	49.559	1.086.391
2528	50.944	50.944	1.137.334
2529	52.328	52.328	1.189.662
2530	53.713	53.713	1.243.375
2531	57.272	57.272	1.300.647
2532	63.005	63.005	1.363.652
2533	68.738	68.738	1.432.390
2534	74.472	74.472	1.506.861
2535	80.205	80.205	1.587.066
2536	85.938	85.938	1.673.004
2537	91.671	91.671	1.764.676
2538	97.405	97.405	1.862.081
2539	103.138	103.138	1.965.219
2540	108.871	108.871	2.074.090
2541	112.411	112.411	2.186.501
2542	115.756	115.756	2.300.257
2543	115.102	115.102	2.415.358
2544	116.447	116.447	2.531.805
2545	117.792	117.792	2.649.598
2546	119.138	119.138	2.768.735
2547	120.483	120.483	2.889.218
2548	121.829	121.829	3.011.047
2549	123.174	123.174	3.134.221
2550	124.519	124.519	3.258.740
2551	125.792	125.792	3.384.532
2552	126.991	126.991	3.511.522
2553	128.190	128.190	3.639.712
2554	129.389	129.389	3.769.101
2555	130.588	130.588	3.899.689

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2556	131.787	131.787	4.031.476
2557	132.986	132.986	4.164.462
2558	134.185	134.185	4.298.647
2559	135.384	135.384	4.434.032
2560	136.583	136.583	4.570.615
2561	143.085	143.085	4.713.700
2562	154.888	154.888	4.868.587
2563	166.691	166.691	5.035.278
2564	178.494	178.494	5.213.772
2565	190.297	190.297	5.404.069
2566	202.100	202.100	5.606.169
2567	213.903	213.903	5.830.072
2568	225.706	225.706	6.065.778
2569	237.509	237.509	6.283.288
2570	249.312	249.312	6.532.600
2571	253.986	253.986	6.786.586
2572	251.529	251.529	7.038.115
2573	249.072	249.072	7.287.187
2574	246.616	246.616	7.533.802
2575	244.159	244.159	7.777.961
2576	241.702	241.702	8.019.663
2577	239.245	239.245	8.258.909
2578	236.789	236.789	8.495.698
2579	234.332	234.332	8.730.030
2580	231.875	231.875	8.961.905
2581	228.569	228.569	9.190.474
2582	224.413	224.413	9.414.888
2583	220.258	220.258	9.635.145
2584	216.102	216.102	9.851.247
2585	211.946	211.946	10.063.194
2586	207.791	207.791	10.270.984
2587	203.635	203.635	10.474.619
2588	199.479	199.479	10.674.099
2589	195.324	195.324	10.869.422
2590	191.168	191.168	11.060.590
2591	186.646	186.646	11.247.236
2592	181.758	181.758	11.428.994
2593	176.870	176.870	11.605.864
2594	171.982	171.982	11.777.846
2595	167.094	167.094	11.944.940
2596	162.206	162.206	12.107.146
2597	157.318	157.318	12.264.464
2598	152.430	152.430	12.416.894
2599	147.542	147.542	12.564.436
2600	142.654	142.654	12.707.090
2601	137.440	137.440	12.844.530
2602	131.899	131.899	12.976.429
2603	126.359	126.359	13.102.787
2604	120.818	120.818	13.223.605
2605	115.277	115.277	13.338.883
2606	109.737	109.737	13.448.619
2607	104.196	104.196	13.552.815
2608	98.656	98.656	13.651.471
2609	93.115	93.115	13.744.586
2610	87.574	87.574	13.832.160
2611	82.504	82.504	13.914.664
2612	77.003	77.003	13.992.566
2613	73.302	73.302	14.065.868
2614	68.201	68.201	14.134.568
2615	64.100	64.100	14.198.668
2616	59.499	59.499	14.258.166
2617	54.898	54.898	14.313.064
2618	50.297	50.297	14.363.360
2619	45.696	45.696	14.409.056
2620	41.095	41.095	14.450.150

TABLA 39

CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (10A. ETAPA)

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER LA BASURA				
AÑO	POBLACION (HABS)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS		
		DIARIOS	PARCIAL	ACUMULADO
1992	4,153,113	5,326,902	1,944,319	1,944,319
1993	4,268,706	5,526,824	2,017,291	3,961,610
1994	4,385,043	5,731,188	2,091,884	6,053,494
1995	4,502,177	5,940,120	2,168,144	8,221,637
1996	4,620,156	6,153,788	2,246,133	10,467,770
1997	4,739,040	6,372,340	2,325,904	12,793,674
1998	4,858,891	6,595,954	2,407,523	15,201,197
1999	4,979,771	6,824,799	2,491,052	17,692,249
2000	5,101,752	7,059,086	2,576,566	20,268,815
2001	5,227,664	7,302,813	2,665,527	22,934,342
2002	5,354,660	7,552,224	2,756,562	25,690,904
2003	5,485,691	7,811,581	2,851,227	28,542,131
2004	5,623,992	8,085,736	2,951,294	31,493,425
2005	5,773,044	8,380,057	3,058,721	34,552,145
2006	5,936,778	8,700,775	3,175,783	37,727,928
2007	6,119,790	9,055,352	3,305,203	41,033,132
2008	6,327,553	9,452,818	3,450,279	44,483,410
2009	6,566,861	9,904,519	3,615,149	48,098,560
2010	6,846,022	10,424,538	3,804,956	51,903,516
2011	7,139,952	10,659,501	3,890,718	55,794,234
2012	7,444,935	11,555,513	4,217,762	60,011,996
2013	7,753,195	12,150,112	4,434,791	64,446,787
2014	8,055,960	12,746,827	4,662,592	69,099,379
2015	8,342,769	13,328,923	4,865,057	73,964,436

OFERTA VOLUMETRICA PARA LA DISPOSICION				
ELEV.	CAPA No.	AREA PROM. (M ²)	OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO	
			PARCIAL	ACUMULADO
2493	1	12,965	34,420	34,420
2496	2	17,440	47,845	82,265
2499	3	21,915	61,269	143,534
2502	4	24,700	72,441	215,975
2505	5	25,796	76,293	292,268
2508	6	26,893	79,581	371,849
2511	7	28,444	83,325	455,174
2514	8	32,270	92,983	548,156
2517	9	36,095	104,460	652,617
2520	10	39,921	115,938	768,555
2523	11	44,021	127,908	896,463
2526	12	48,174	140,369	1,036,832
2529	13	52,328	152,831	1,189,662
2532	14	63,005	173,989	1,363,652
2535	15	80,205	223,415	1,587,066
2538	16	97,405	275,014	1,862,081
2541	17	112,411	324,420	2,186,501
2544	18	116,447	345,305	2,531,805
2547	19	120,483	357,413	2,889,218
2550	20	124,519	369,522	3,258,740
2553	21	128,190	380,972	3,639,712
2556	22	131,787	391,764	4,031,476
2559	23	135,384	402,556	4,434,032
2562	24	154,888	434,556	4,868,587
2565	25	190,297	535,482	5,404,069
2568	26	225,706	641,709	6,045,778
2571	27	253,986	740,807	6,786,586
2574	28	246,616	747,217	7,533,802
2577	29	239,245	725,106	8,258,909
2580	30	231,875	702,996	8,961,905
2583	31	220,258	673,240	9,635,145
2586	32	207,791	635,839	10,270,984
2589	33	195,324	598,438	10,869,422
2592	34	181,758	559,572	11,428,994
2595	35	167,094	515,946	11,944,940
2598	36	152,430	471,954	12,416,894
2601	37	137,440	427,636	12,844,530
2604	38	120,818	379,076	13,223,605
2607	39	104,196	329,210	13,552,815
2610	40	87,574	279,345	13,832,160
2613	41	73,302	233,708	14,065,868
2616	42	59,499	192,299	14,258,166
2619	43	45,696	150,890	14,409,056

TABLA 40
CALENDARIZACION DEL RELLENO (10A. ETAPA)

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2007	1	3	9,055,352	2493
2007	2	5	9,055,352	2496
2007	3	6	9,055,352	2499
2007	4	8	9,055,352	2502
2007	5	8	9,055,352	2505
2007	6	8	9,055,352	2508
2007	7	9	9,055,352	2511
2007	8	10	9,055,352	2514
2007	9	11	9,055,352	2517
2007	10	12	9,055,352	2520
2007	11	14	9,055,352	2523
2007	12	15	9,055,352	2526
2007	13	16	9,055,352	2529
2007	14	19	9,055,352	2532
2007	15	24	9,055,352	2535
2007	16	30	9,055,352	2538
2007	17	35	9,055,352	2541
2007	18	38	9,055,352	2544
2007	19	39	9,055,352	2547
2007	20	14	9,055,352	2550
2008	20	25	9,452,818	2550
2008	21	40	9,452,818	2553
2008	22	41	9,452,818	2556
2008	23	42	9,452,818	2559

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2008	24	45	9,452,818	2562
2008	25	50	9,452,818	2565
2008	26	67	9,452,818	2568
2008	27	49	9,452,818	2571
2009	27	28	9,904,519	2571
2009	28	75	9,904,519	2574
2009	29	73	9,904,519	2577
2009	30	70	9,904,519	2580
2009	31	67	9,904,519	2583
2009	32	52	9,904,519	2586
2010	32	11	10,424,538	2586
2010	33	57	10,424,538	2589
2010	34	53	10,424,538	2592
2010	35	49	10,424,538	2595
2010	36	45	10,424,538	2598
2010	37	41	10,424,538	2601
2010	38	36	10,424,538	2604
2010	39	31	10,424,538	2607
2010	40	26	10,424,538	2610
2010	41	16	10,424,538	2613
2011	41	6	10,659,501	2613
2011	42	18	10,659,501	2616
2011	43	14	10,659,501	2619

CAPACIDAD VOLUMETRICA 10A. ETAPA

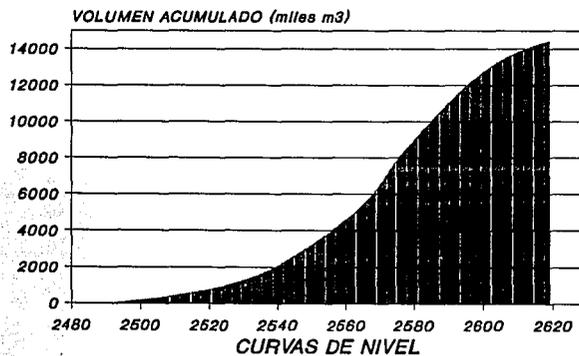


Figura 14: Capacidad volumétrica 10a. etapa.

TABLA 41

CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (11A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	ÁREA SUPERFICIAL	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2501	1.495	1.505	1.505
2502	4.915	4.915	8.430
2503	6.325	6.325	14.745
2504	7.235	7.235	22.480
2505	9.145	9.145	31.625
2506	10.555	10.555	42.180
2507	11.965	11.965	54.145
2508	13.375	13.375	67.520
2509	14.785	14.785	82.305
2510	16.195	16.195	98.500
2511	17.624	17.624	116.124
2512	19.072	19.072	135.196
2513	20.520	20.520	155.716
2514	21.968	21.968	177.684
2515	23.416	23.416	201.100
2516	24.864	24.864	225.964
2517	26.312	26.312	252.276
2518	27.760	27.760	280.036
2519	29.208	29.208	309.244
2520	30.656	30.656	339.900
2521	31.634	31.634	371.534
2522	32.142	32.142	403.676
2523	32.650	32.650	436.326
2524	33.158	33.158	469.484
2525	33.666	33.666	503.150
2526	34.174	34.174	537.324
2527	34.682	34.682	572.006
2528	35.190	35.190	607.196
2529	35.698	35.698	642.894
2530	36.206	36.206	679.100
2531	36.316	36.316	717.416
2532	42.028	42.028	759.444
2533	45.740	45.740	805.184
2534	49.452	49.452	854.636
2535	53.164	53.164	907.800
2536	56.876	56.876	964.676
2537	60.588	60.588	1.025.264
2538	64.300	64.300	1.089.564
2539	68.012	68.012	1.157.576
2540	71.724	71.724	1.229.300
2541	73.808	73.808	1.303.108
2542	74.265	74.265	1.377.373
2543	74.721	74.721	1.452.094
2544	75.178	75.178	1.527.272
2545	75.634	75.634	1.602.906
2546	76.091	76.091	1.678.997
2547	76.547	76.547	1.755.544
2548	77.004	77.004	1.832.548
2549	77.460	77.460	1.910.008
2550	77.917	77.917	1.987.925
2551	78.525	78.525	2.066.450
2552	79.284	79.284	2.145.733
2553	80.043	80.043	2.225.776
2554	80.802	80.802	2.306.577
2555	81.561	81.561	2.388.138
2556	82.320	82.320	2.470.457
2557	83.079	83.079	2.553.536
2558	83.838	83.838	2.637.373
2559	84.597	84.597	2.721.970
2560	85.356	85.356	2.807.325
2561	86.098	86.098	2.893.423
2562	86.824	86.824	2.980.247
2563	87.550	87.550	3.067.797
2564	88.276	88.276	3.156.073
2565	89.002	89.002	3.245.075

CURVA DE NIVEL	ÁREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMULADO
2566	89.728	89.728	3.334.803
2567	90.454	90.454	3.425.257
2568	91.180	91.180	3.516.437
2569	91.906	91.906	3.608.343
2570	92.632	92.632	3.700.975
2571	93.358	93.358	3.794.327
2572	89.243	89.243	3.881.962
2573	86.741	86.741	3.968.203
2574	84.240	84.240	4.052.943
2575	81.738	81.738	4.134.681
2576	79.237	79.237	4.213.918
2577	76.735	76.735	4.290.653
2578	74.234	74.234	4.364.887
2579	71.732	71.732	4.436.619
2580	69.231	69.231	4.505.850
2581	66.731	66.731	4.573.084
2582	64.230	64.230	4.637.724
2583	61.728	61.728	4.711.892
2584	59.227	59.227	4.781.506
2585	56.726	56.726	4.851.588
2586	54.224	54.224	4.922.136
2587	51.722	51.722	4.993.152
2588	49.221	49.221	5.064.634
2589	46.719	46.719	5.136.584
2590	44.218	44.218	5.209.000
2591	41.716	41.716	5.281.981
2592	39.215	39.215	5.355.825
2593	36.713	36.713	5.430.531
2594	34.212	34.212	5.505.700
2595	31.710	31.710	5.581.781
2596	29.208	29.208	5.658.625
2597	26.706	26.706	5.736.231
2598	24.204	24.204	5.814.600
2599	21.702	21.702	5.893.731
2600	19.200	19.200	5.973.625
2601	16.698	16.698	6.054.290
2602	14.196	14.196	6.135.725
2603	11.694	11.694	6.217.959
2604	9.192	9.192	6.300.963
2605	6.690	6.690	6.384.748
2606	4.188	4.188	6.469.311
2607	1.686	1.686	6.554.655
2608	0.184	0.184	6.640.779
2609	0.000	0.000	6.727.682
2610	0.000	0.000	6.815.365
2611	0.000	0.000	6.903.818
2612	0.000	0.000	6.993.031
2613	0.000	0.000	7.076.703
2614	0.000	0.000	7.162.535
2615	0.000	0.000	7.247.738
2616	0.000	0.000	7.332.279
2617	0.000	0.000	7.416.191
2618	0.000	0.000	7.499.663
2619	0.000	0.000	7.582.094
2620	0.000	0.000	7.664.085
2621	0.000	0.000	7.744.544
2622	0.000	0.000	7.822.581
2623	0.000	0.000	7.898.194
2624	0.000	0.000	7.971.384
2625	0.000	0.000	8.042.151
2626	0.000	0.000	8.110.495
2627	0.000	0.000	8.176.416
2628	0.000	0.000	8.239.914
2629	0.000	0.000	8.300.888
2630	0.000	0.000	8.359.440

TABLA 42
CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (11A. ETAPA)

DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER LA BASURA				
AÑO	POBLACION (HABS)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS		
		DIARIOS	PARCIAL	ACUMULADO
1992	4.153.113	5.336.902	1.944.319	1.944.319
1993	4.268.706	5.526.824	2.017.291	3.961.610
1994	4.385.043	5.731.188	2.091.884	6.053.494
1995	4.502.177	5.940.120	2.168.144	8.221.637
1996	4.620.156	6.153.788	2.246.133	10.467.770
1997	4.739.040	6.372.340	2.325.904	12.793.674
1998	4.858.891	6.595.954	2.407.523	15.201.197
1999	4.979.771	6.824.799	2.491.052	17.692.249
2000	5.101.752	7.059.086	2.576.566	20.268.815
2001	5.227.664	7.302.813	2.665.527	22.934.342
2002	5.354.660	7.552.224	2.756.562	25.690.904
2003	5.485.691	7.811.581	2.851.227	28.542.131
2004	5.623.992	8.085.736	2.951.294	31.493.425
2005	5.773.044	8.380.057	3.058.721	34.552.145
2006	5.936.778	8.700.775	3.175.783	37.727.928
2007	6.119.790	9.055.352	3.305.203	41.033.132
2008	6.327.553	9.452.818	3.450.279	44.483.410
2009	6.566.861	9.904.519	3.615.149	48.098.560
2010	6.846.022	10.424.538	3.804.956	51.903.516
2011	7.139.952	10.699.501	3.890.718	55.794.234
2012	7.444.935	11.585.513	4.217.762	60.011.996
2013	7.763.195	12.150.112	4.434.791	64.446.787
2014	8.055.960	12.746.827	4.652.592	69.099.379
2015	8.342.769	13.328.923	4.865.057	73.964.436

OFERTA VOLUMETRICA PARA LA DISPOSICION				
ELEV.	CAPA No.	AREA PROX. (A/P)	OFERTA VOLUMETRICA DEL SITIO	
			PARCIAL	ACUMULADO
2903	1	6.325	14.745	14.745
2906	2	10.555	27.435	42.180
2909	3	14.785	40.125	82.305
2912	4	19.072	52.891	135.196
2915	5	23.416	65.904	201.100
2918	6	27.760	78.936	280.036
2921	7	31.634	91.498	371.534
2924	8	33.158	97.950	469.484
2927	9	34.682	102.522	572.006
2930	10	36.206	107.094	679.100
2933	11	45.740	126.084	805.184
2936	12	56.876	159.492	964.676
2939	13	68.012	192.900	1.157.576
2942	14	74.265	219.797	1.377.373
2945	15	75.634	225.533	1.602.906
2948	16	77.004	229.642	1.832.548
2951	17	78.525	233.902	2.066.450
2954	18	80.802	240.128	2.306.577
2957	19	83.079	246.959	2.553.536
2960	20	85.356	253.790	2.807.325
2963	21	87.550	260.472	3.067.797
2966	22	89.728	267.006	3.334.803
2969	23	91.906	273.540	3.608.343
2972	24	89.243	273.619	3.881.962
2975	25	81.738	252.719	4.134.681
2978	26	74.234	230.206	4.364.887
2981	27	68.214	209.177	4.574.064
2984	28	69.615	207.443	4.781.506
2987	29	71.016	211.646	4.993.152
2990	30	72.417	215.849	5.209.000
2993	31	74.556	221.381	5.430.381
2996	32	76.844	228.244	5.658.625
2999	33	79.131	235.106	5.893.731
2602	34	81.445	242.003	6.135.735
2605	35	83.784	249.013	6.384.748
2608	36	86.124	256.031	6.640.779
2611	37	87.753	262.339	6.903.118
2614	38	85.832	259.418	7.162.535
2617	39	83.912	253.656	7.416.191
2620	40	81.991	247.894	7.664.085
2623	41	75.613	234.109	7.898.194
2626	42	68.344	212.301	8.110.495
2629	43	61.075	190.493	8.300.988

TABLA 43
CALENDARIZACION DEL RELLENO (11A. ETAPA)

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2011	1	7	10,659.501	2503
2011	2	2	10,659.501	2506
2011	3	3	10,659.501	2509
2011	4	4	10,659.501	2512
2011	5	8	10,659.501	2515
2011	6	7	10,659.501	2518
2011	7	8	10,659.501	2521
2011	8	9	10,659.501	2524
2011	9	9	10,659.501	2527
2011	10	10	10,659.501	2530
2011	11	11	10,659.501	2533
2011	12	14	10,659.501	2536
2011	13	18	10,659.501	2539
2011	14	20	10,659.501	2542
2011	15	21	10,659.501	2545
2011	16	21	10,659.501	2548
2011	17	21	10,659.501	2551
2011	18	22	10,659.501	2554
2011	19	23	10,659.501	2557
2011	20	23	10,659.501	2560
2011	21	24	10,659.501	2563
2011	22	25	10,659.501	2566
2011	23	23	10,659.501	2569

AÑO	CAPA No.	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELEVACION
2012	23	2	11,555.513	2569
2012	24	23	11,555.513	2572
2012	25	21	11,555.513	2575
2012	26	19	11,555.513	2578
2012	27	18	11,555.513	2581
2012	28	17	11,555.513	2584
2012	29	18	11,555.513	2587
2012	30	18	11,555.513	2590
2012	31	19	11,555.513	2593
2012	32	19	11,555.513	2596
2012	33	20	11,555.513	2599
2012	34	20	11,555.513	2602
2012	35	21	11,555.513	2605
2012	36	22	11,555.513	2608
2012	37	22	11,555.513	2611
2012	38	22	11,555.513	2614
2012	39	21	11,555.513	2617
2012	40	21	11,555.513	2620
2012	41	20	11,555.513	2623
2012	42	2	11,555.513	2626
2013	42	15	12,150.112	2626
2013	43	15	12,150.112	2629

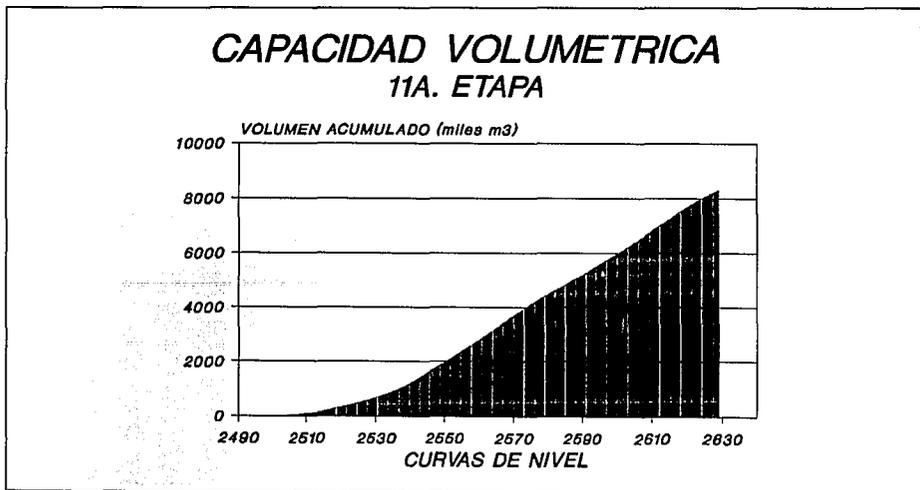


Figura 15: Capacidad volumétrica 11a. etapa.

TABLA 44

CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA DEL SITIO (12A. ETAPA)

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL PROMEDIO	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMLADO
2511	8.585	8.585	8.585
2532	9.955	9.955	18.540
2533	11.325	11.325	29.865
2534	12.695	12.695	42.560
2535	14.065	14.065	56.625
2536	15.435	15.435	72.060
2537	16.805	16.805	88.865
2538	18.175	18.175	107.040
2539	19.545	19.545	126.585
2540	20.915	20.915	147.500
2541	22.285	22.285	169.885
2542	23.655	23.655	193.740
2543	24.425	24.425	217.385
2544	25.555	25.555	242.940
2545	26.685	26.685	269.625
2546	27.815	27.815	297.440
2547	28.945	28.945	326.385
2548	30.075	30.075	356.460
2549	31.205	31.205	387.665
2550	32.335	32.335	420.000
2551	33.465	33.465	453.460
2552	34.400	34.400	487.800
2553	35.400	35.400	523.200
2554	36.400	36.400	559.600
2555	37.400	37.400	597.000
2556	38.400	38.400	635.400
2557	39.400	39.400	674.800
2558	40.400	40.400	715.200
2559	41.400	41.400	756.600
2560	42.400	42.400	799.000
2561	43.400	43.400	842.400
2562	44.670	44.670	893.110
2563	45.850	45.850	933.010
2564	47.030	47.030	980.040
2565	48.210	48.210	1.028.250
2566	49.390	49.390	1.077.640
2567	50.570	50.570	1.128.210
2568	51.750	51.750	1.179.960
2569	52.930	52.930	1.232.890
2570	54.110	54.110	1.287.000
2571	55.533	55.533	1.342.533
2572	57.198	57.198	1.399.730
2573	58.863	58.863	1.458.593
2574	60.528	60.528	1.519.120
2575	62.193	62.193	1.581.313
2576	63.858	63.858	1.645.170
2577	65.523	65.523	1.710.693
2578	67.188	67.188	1.777.880
2579	68.853	68.853	1.846.733
2580	70.518	70.518	1.917.250
2581	71.418	71.418	1.988.668
2582	71.553	71.553	2.060.220
2583	71.688	71.688	2.131.908
2584	71.823	71.823	2.203.730
2585	71.958	71.958	2.275.688
2586	72.093	72.093	2.347.780
2587	72.228	72.228	2.420.008
2588	72.363	72.363	2.492.370
2589	72.498	72.498	2.564.868
2590	72.633	72.633	2.637.500
2591	72.810	72.810	2.709.270
2592	71.230	71.230	2.780.040
2593	70.250	70.250	2.851.190
2594	69.270	69.270	2.922.460
2595	68.290	68.290	2.988.250

CURVA DE NIVEL	AREA SUPERFICIAL	VOLUMEN EN M ³	
		PARCIAL	ACUMLADO
2596	67.310	67.310	3.056.060
2597	66.330	66.330	3.122.390
2598	65.350	65.350	3.187.740
2599	64.370	64.370	3.252.110
2600	63.390	63.390	3.315.500
2601	63.345	63.345	3.378.845
2602	62.235	62.235	3.441.080
2603	65.125	65.125	3.506.205
2604	66.015	66.015	3.574.220
2605	66.905	66.905	3.641.125
2606	67.795	67.795	3.708.920
2607	68.685	68.685	3.777.605
2608	69.575	69.575	3.847.180
2609	70.465	70.465	3.917.645
2610	71.355	71.355	3.989.000
2611	72.245	72.245	4.061.415
2612	73.135	73.135	4.135.060
2613	74.025	74.025	4.209.935
2614	74.915	74.915	4.286.040
2615	75.805	75.805	4.363.375
2616	76.695	76.695	4.441.940
2617	77.585	77.585	4.521.735
2618	81.025	81.025	4.602.760
2619	82.755	82.755	4.685.015
2620	83.485	83.485	4.768.500
2621	84.500	84.500	4.853.000
2622	85.300	85.300	4.938.300
2623	86.100	86.100	5.024.400
2624	86.900	86.900	5.111.300
2625	87.700	87.700	5.199.000
2626	88.500	88.500	5.287.500
2627	89.300	89.300	5.376.800
2628	90.100	90.100	5.466.900
2629	90.900	90.900	5.557.800
2630	91.700	91.700	5.649.500
2631	92.200	92.200	5.740.720
2632	89.610	89.610	5.830.380
2633	87.950	87.950	5.918.330
2634	86.290	86.290	6.004.620
2635	84.630	84.630	6.089.250
2636	82.970	82.970	6.172.220
2637	81.310	81.310	6.253.530
2638	79.650	79.650	6.333.180
2639	77.990	77.990	6.411.170
2640	76.330	76.330	6.487.500
2641	73.350	73.350	6.560.850
2642	69.050	69.050	6.629.900
2643	64.750	64.750	6.694.650
2644	60.450	60.450	6.755.100
2645	56.150	56.150	6.811.250
2646	51.850	51.850	6.863.100
2647	47.550	47.550	6.910.650
2648	43.250	43.250	6.953.900
2649	38.950	38.950	6.992.850
2650	34.650	34.650	7.027.500
2651	31.200	31.200	7.058.700
2652	28.870	28.870	7.087.660
2653	26.450	26.450	7.114.110
2654	24.030	24.030	7.138.140
2655	21.610	21.610	7.159.750
2656	19.190	19.190	7.178.940
2657	16.770	16.770	7.195.710
2658	14.350	14.350	7.210.060
2659	11.930	11.930	7.223.990
2660	9.510	9.510	7.231.500

TABLA 45
CALCULO DE LA VIDA UTIL DEL SITIO (12A. ETAPA)

AÑO	DEMANDA VOLUMETRICA PARA DISPONER LA BASURA			
	POBLACION (HABS)	REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS		
		DIARIOS	PARCIAL	ACUMULADO
1992	4,153,113	5,326,902	1,944,319	1,944,319
1993	4,268,706	5,526,824	2,017,291	3,961,610
1994	4,385,043	5,731,188	2,091,884	6,053,494
1995	4,502,177	5,940,120	2,168,144	8,221,637
1996	4,620,156	6,153,788	2,246,133	10,467,770
1997	4,739,040	6,372,340	2,325,904	12,793,674
1998	4,858,891	6,595,954	2,407,523	15,201,197
1999	4,979,771	6,824,799	2,491,052	17,692,249
2000	5,101,752	7,059,086	2,576,566	20,268,815
2001	5,227,664	7,302,813	2,665,527	22,934,342
2002	5,354,660	7,552,224	2,756,562	25,690,904
2003	5,485,691	7,811,581	2,851,227	28,542,131
2004	5,623,992	8,085,736	2,951,294	31,493,425
2005	5,773,044	8,380,057	3,058,721	34,552,145
2006	5,936,778	8,700,775	3,175,783	37,727,928
2007	6,119,790	9,055,352	3,305,203	41,033,132
2008	6,327,553	9,452,818	3,450,279	44,483,410
2009	6,566,601	9,904,519	3,615,149	48,098,560
2010	6,846,022	10,424,538	3,804,956	51,903,516
2011	7,139,952	10,659,501	3,890,718	55,794,234
2012	7,444,935	11,555,513	4,217,762	60,011,996
2013	7,753,195	12,150,112	4,434,791	64,446,787
2014	8,055,960	12,746,827	4,652,592	69,099,379
2015	8,342,769	13,328,923	4,865,057	73,964,436

ELEV.	CAPA No.	AREA PROM. (M ²)	OFERTA VOLUMETRICA	
			PARCIAL	ACUMULADO
			2533	1
2536	2	15,435	42,195	72,060
2539	3	19,545	54,525	126,585
2542	4	23,295	66,375	192,960
2545	5	26,685	76,665	269,625
2548	6	30,075	86,835	356,460
2551	7	33,400	96,940	453,400
2554	8	36,400	106,200	559,600
2557	9	39,400	115,200	674,800
2560	10	42,400	124,200	799,000
2563	11	45,850	134,010	933,010
2566	12	49,390	144,630	1,077,640
2569	13	52,930	155,250	1,232,890
2572	14	57,198	166,840	1,399,730
2575	15	62,193	181,583	1,581,313
2578	16	67,188	196,568	1,777,880
2581	17	71,418	210,786	1,988,666
2584	18	71,823	215,063	2,203,730
2587	19	72,228	216,278	2,420,008
2590	20	72,633	217,493	2,637,500
2593	21	70,250	213,690	2,851,190
2596	22	67,310	204,870	3,056,060
2599	23	64,370	196,050	3,252,110
2602	24	64,235	190,970	3,443,080
2605	25	66,905	198,045	3,641,125
2608	26	69,575	206,055	3,847,180
2611	27	72,415	214,235	4,061,415
2614	28	76,105	224,625	4,286,040
2617	29	79,795	235,695	4,521,735
2620	30	83,485	246,765	4,768,500
2623	31	86,100	255,900	5,024,400
2626	32	88,500	263,100	5,287,500
2629	33	90,900	270,300	5,557,800
2632	34	89,610	272,580	5,830,380
2635	35	84,630	258,870	6,089,250
2638	36	79,650	243,930	6,333,180
2641	37	73,350	227,670	6,560,850
2644	38	66,450	194,250	6,755,100
2647	39	47,550	155,550	6,910,650
2650	40	34,650	116,850	7,027,500
2653	41	26,450	86,610	7,114,110
2656	42	19,190	64,830	7,178,940
2659	43	11,930	43,050	7,221,990

TABLA 46
CALENDARIZACION DEL RELLENO (12A. ETAPA)

ANO	CAPA N ^o .	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELLEVACION
2013	1	2	12,150.112	2533
2013	2	3	12,150.112	2536
2013	3	4	12,150.112	2539
2013	4	5	12,150.112	2542
2013	5	6	12,150.112	2545
2013	6	7	12,150.112	2548
2013	7	7	12,150.112	2551
2013	8	8	12,150.112	2554
2013	9	9	12,150.112	2557
2013	10	10	12,150.112	2560
2013	11	11	12,150.112	2563
2013	12	11	12,150.112	2566
2013	13	12	12,150.112	2569
2013	14	13	12,150.112	2572
2013	15	14	12,150.112	2575
2013	16	16	12,150.112	2578
2013	17	17	12,150.112	2581
2013	18	17	12,150.112	2584
2013	19	17	12,150.112	2587
2013	20	17	12,150.112	2590
2013	21	17	12,150.112	2593
2013	22	16	12,150.112	2596

ANO	CAPA N ^o .	CELDAS DIARIAS	VOL. DE CELDA DIARIA	ELLEVACION
2013	23	16	12,150.112	2599
2013	24	15	12,150.112	2602
2013	25	16	12,150.112	2605
2013	26	16	12,150.112	2608
2013	27	17	12,150.112	2611
2013	28	16	12,150.112	2614
2014	28	2	12,746.827	2614
2014	29	18	12,746.827	2617
2014	30	19	12,746.827	2620
2014	31	20	12,746.827	2623
2014	32	20	12,746.827	2626
2014	33	21	12,746.827	2629
2014	34	21	12,746.827	2632
2014	35	20	12,746.827	2635
2014	36	19	12,746.827	2638
2014	37	17	12,746.827	2641
2014	38	15	12,746.827	2644
2014	39	12	12,746.827	2647
2014	40	9	12,746.827	2650
2014	41	6	12,746.827	2653
2014	42	5	12,746.827	2656
2014	43	3	12,746.827	2659

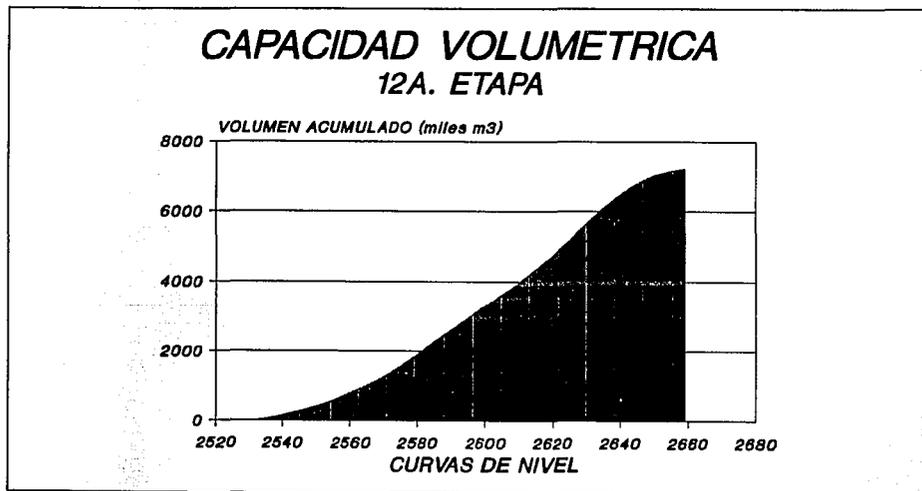


Figura 16: Capacidad volumétrica 12a. etapa.

5.3.2 Etapas del Relleno.

El proceso para la disposición final de los desechos, se llevará a cabo en tres fases, la definición de las fases se realizó a partir de la situación que guarda la topografía en los predios donde se ubicará el relleno.

Se diseñó el plan de excavación en base a obtener la mayor capacidad posible para el sitio y se darán las pendientes para asegurar la conducción del lixiviado hacia las fosas de captación mediante la capa de arena que servirá como protección para la interfase. Se realizó un balance entre el material de excavación y las necesidades de material para interfase y cubiertas diaria y final obteniéndose también un excedente para la fabricación de caminos, bernias y presas. Debido a que en la parte de la loma se retirará toda la toba existente, se tendrá un excedente en estos materiales.

El relleno se iniciará en la parte noreste en dirección suroeste (macrocela 1), hasta completar la Etapa 1 correspondiente al socavón de la mina. Para la construcción de esta etapa, será necesario la construcción de los caminos de acceso a la zona de ataque, como se indica en el Plano 5. Siguiendo el mismo criterio que para la macrocela 1 se realizará la operación en las siguientes etapas en la secuencia numerada en este proyecto como se indica en el Plano 4. Cualquier necesidad de variación en esta secuencia deberá decidirse durante la operación basándose en las condiciones específicas encontradas. En el capítulo 6 correspondiente a la operación se da una descripción más detallada del proceso.

Sobre la interfase impermeable se depositarán los desechos en capas promedio de 0.60 m. de espesor compactadas al 95 % de la PVS.M y hasta alcanzar la altura de la celda diaria (3 m.). Al término de cada jornada de trabajo se cubrirán los desechos con una capa de material arcilloso producto de la excavación con un espesor promedio de 0.15 m. y compactado también según lo especificado.

5.3.3 Estudios de Balance de Agua

Uno de los principales puntos que fue considerado para el correcto diseño del relleno sanitario en el centro de aprovechamiento y disposición final de Ixtapaluca fué la generación de lixiviado. Esta generación fue estimada usando dos modelos: El método de balance de agua de EPA (Environmental Protection Agency) y el programa HELP MODEL (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance, Versión 2), Los procedimientos y resultados de cada modelo se resumen como sigue.

La primera simulación se realizó con un método de balance de agua adaptado para un análisis en computadora personal de un reporte titulado "Use of the water balance method for predicting leachate generation from waste disposal sites". (Uso del método de balance de agua para predecir la generación de lixiviado de los sitios de disposición final). El modelo es un simple sistema de balance de masas que evalúa el efecto de infiltración en los suelos en condiciones de humedad usando un método creado por C. Thornthwaite y J. Mather en 1957. La infiltración se calcula a partir de la resta de los valores de escurrimiento y evaporotranspiración de la precipitación en una base de análisis de mes con mes.

Los resultados de esta simulación, indican que la generación de lixiviado en el relleno sanitario será prácticamente nula, esto debido a que los valores de evaporación en el sitio igualan o exceden los valores de la precipitación, no se puede tomar este resultado como típico para un relleno sanitario ya que no refleja las condiciones reales durante la operación del sitio, por esta razón se realizó otro modelo como a continuación se describe.

El modelo Help fué también usado para preveer una potencial generación de lixiviado. Este modelo fué escrito por la EPA para simular infiltración, generación de lixiviado, desarrollo del sistema de colección de lixiviado y diseño de la capa impermeable a través de diversos materiales en un relleno sanitario. El modelo del marco de saturación depende de teorías muy complejas y difíciles de manejar así que los resultados deben ser interpretados de manera relativa más que con una perspectiva absoluta.

El modelo Help posee una base de datos para las principales ciudades de Estados Unidos de Norteamérica, esta base de datos puede ser modificada con datos de precipitación y temperatura del sitio en estudio para lograr un mejor resultado de la simulación.

Después de consultar a un climatólogo sobre lugares en los Estados Unidos de Norteamérica con condiciones de clima similar a las del sitio Ixtapaluca, la base de datos fué modificada usando información del sitio y los valores de precipitación y evapotranspiración resultantes se compararon con valores reales para determinar si alguna ciudad de los Estados Unidos de Norteamérica podía asemejarse. Basándose en esta evaluación la base de datos fué modificada con la información del sitio pudiendo obtenerse resultados que pueden reflejar la posible generación de lixiviado para el presente proyecto.

El sistema modelado representa las condiciones extremas para la generación de lixiviado. Este sistema incluye (de arriba hacia abajo):

- a.- Una capa de 0.15 m. de espesor de material de cubierta diaria.
- b.- Una capa de 3.00 m. de espesor de desechos sólidos compactada.
- c.- Una capa de 1.00 m. de espesor de arcilla para proteger el sistema de colección de lixiviado.
- d.- Un dren lateral con una alta permeabilidad.
- e.- Una capa de 0.50 m. de espesor con una baja permeabilidad (1×10^{-6}) de material de interfase.

El sistema se modeló para dos situaciones posibles en el sitio, la primera considerando un material de interfase a base de arcilla compactada y la segunda a base de arcilla compactada y una membrana sintética para determinar los beneficios del uso de la membrana.

Se corrió el programa para diferentes casos hasta determinar el modelo apropiado de climatología y posteriormente los parámetros adecuados para los materiales. Los parámetros se muestran en la Tabla 47.

TABLA 47
PARAMETROS USADOS EN EL MODELO HELP

CAPA	CAPACIDAD DE CAMPO	PUNTO DE MARCHITACION	CONTENIDO DE HUMEDAD	PERMEABILIDAD (CM/SEG)
CUBIERTA DIARIA	0.342	0.21	0.22	4.2×10^{-5}
DESECHOS	0.294	0.14	0.38	2.0×10^{-4}
CAPA DE PROTECCION	0.342	0.21	0.22	4.2×10^{-5}
CAPA DE DRENAJE	0.045	0.02	0.02	1.0×10^{-2}
ARCILLA COMPACTA	0.366	0.28	0.28	1.0×10^{-6}

En un relleno sanitario tipo 2 Ha se construyen, 2 Ha se operan y 2 Ha están en proceso de clausura. Todos los casos fueron modelados como si las 6 ha se encontraran abiertas y tuviera una capa de desechos sólidos cubierta con el material del día, una situación conservadora para un relleno sanitario que opere correctamente y que representa la condición más desfavorable en la generación de lixiviado.

Después de obtener los parámetros de los materiales se modelaron dos casos como se mencionó anteriormente, siendo la diferencia entre estos el uso de la membrana sintética. Los resultados de estos modelos se anexan al reporte (Anexo II). De todo este análisis se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- a.- El modelo predice que un máximo de aproximadamente 24,000 m³ de lixiviado serán generados anualmente en el relleno para la condición más desfavorable. En la realidad el volumen de lixiviado producido será sustancialmente menor y tenderá al mínimo si el relleno sanitario es operado correctamente.
- b.- Los resultados muestran que el volumen que escurre hacia el suelo es insignificante (20 m³ por año) para ambos casos modelados, es decir la percolación hacia el acuífero es mínima.

5.3.4 Diseño del frente de trabajo.

Para el diseño del frente de trabajo se tomaron los datos de ingreso de vehículos mostrados en la Tabla 8, lo cual representa la hora pico que tendrá el sitio de Ixtapaluca.

Considerando un tiempo de descarga promedio de 30 minutos para los vehículos tipo redilas, de 14 minutos para los vehículos de transferencia (se estima que el 50 % de estos vehículos tendrán el método de descarga por cadena con un promedio de descarga de 8 minutos y el otro 50 % de los vehículos tendrán el método de descarga denominado cama viva, con un tiempo promedio de descarga de 20 minutos), y un promedio de descarga de seis minutos para los restantes tipos de vehículos.

El frente de trabajo se diseñó considerando un ancho de vehículo de 2.40 metros (máximo ancho establecido por la S.C.T.), y una distancia entre vehículo y vehículo de 1.50 metros para efectuar la descarga sin sufrir molestias de desparrame de residuos.

Con todos los criterios anteriormente descritos, se desarrolló el histograma de llegadas (figura 3), en donde se observa que descargarán un máximo de 15 vehículos al mismo tiempo, por lo que el frente de trabajo se calculó de la siguiente forma:

$$15 \text{ vehículos} \times 2.40 \text{ metros} = 36 \text{ metros.}$$

$$1.5 \text{ metros} \times 16 \text{ espacios} = 24 \text{ metros.}$$

$$\text{Longitud total del frente de trabajo} = 60 \text{ metros.}$$

Este frente de trabajo tendrá la longitud necesaria para que durante la hora pico, los vehículos de recolección y transferencia que lleguen a este sitio tengan espacio suficiente para efectuar la descarga.

5.3.4.1 Diseño de la celda diaria.

La celda diaria consta de tres dimensiones que son la altura, largo o avance diario y ancho o frente de trabajo. Estas dimensiones dependen directamente de la cantidad diaria de residuos sólidos a disponer, del método de operación a emplear, de la superficie con que cuente el relleno sanitario, la maquinaria a emplear en la operación y el número total de vehículos que lleguen a descargar en la hora pico.

El diseño del frente de trabajo ya se llevo a cabo anteriormente (60 metros), para diseño se consideró una altura para la celda de tres metros que es la más recomendable y utilizada a nivel nacional, por lo que en este inciso se calculará únicamente la longitud de la celda.

5.3.4.1.1 Cálculo de la primera celda.

Esta celda se puede dividir en tres cuerpos geométricos, por lo que el volumen total será igual a la suma de los tres cuerpos que forman la celda diaria ($V_t = V_1 + 2V_2 + V_3$, figura 17).

De la fórmula $V = P/P_v$, donde:

V = Volumen en m^3 .

P = Peso total en toneladas. (4236 tons/día)

P_v = Peso volumétrico en tons/ m^3 . (0.850)

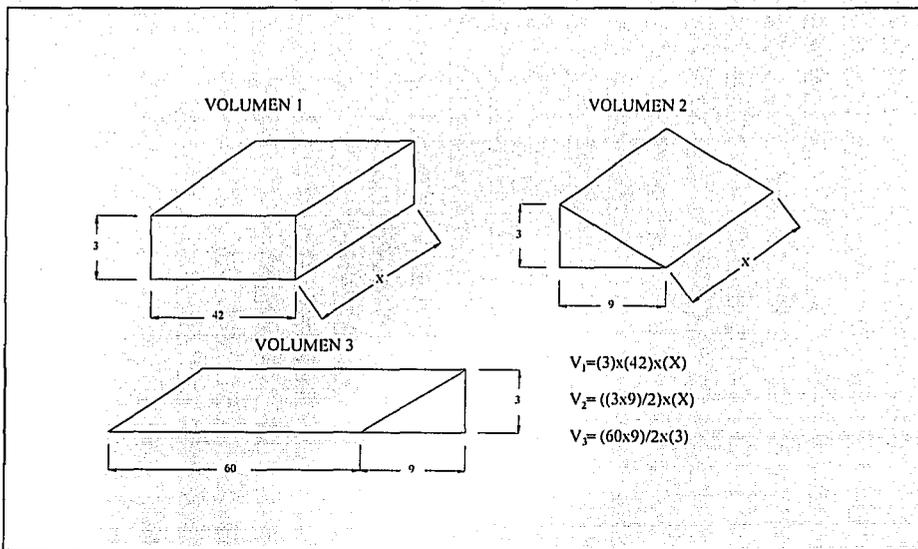


Figura 17: Volúmenes que conforman la celda diaria.

y sustituyendo valores :

$$V = 4236 \text{ tons} / 0.850 \text{ tons/m}^3 = 4984 \text{ m}^3/\text{día.}$$

Determinando el V_3 , tenemos que:

$V_3 = 810 \text{ m}^3$, y si $V_t = V_1 + 2V_2 + V_3$ sustituimos y encontramos que:

$$4984 \text{ m}^3 = 126X + 27X + 810 \text{ m}^3$$

$$4174 \text{ m}^3 = 153X, \text{ por lo que:}$$

$$X = 27.28 \text{ metros.}$$

De lo anterior se determina que la primera celda tendrá las siguientes dimensiones:

Ancho o frente de trabajo = 60 metros.

Altura = 3 metros.

Largo o avance diario = 27.28 metros.

Esta primera celda será diferente a las celdas subsecuentes, las cuales tendrán las mismas dimensiones. A continuación se presenta el cálculo del largo de estas celdas:

$Vt = \text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Altura}$. Sustituyendo valores:

4984 = largo (60)(3) donde:

Largo = 27.69 metros.

Por lo tanto las celdas subsecuentes tendrán las dimensiones siguientes:

Ancho o frente de trabajo = 60 metros.

Altura = 3 metros.

Largo o avance diario = 27.69 metros.

En la Tabla 48 se presenta el dimensionamiento de las celdas en el tiempo.

TABLA 48

DIMENSIONAMIENTO DE LA CELDA DIARIA

AÑO	GENERACION DIARIA DE BASURA		PROYECCION DE LA GENERACION				No. CELDAS POR HECTAREA
	EN TONS.	EN M ³	ALTURA	FRENTE	FONDO	ALT.TOTAL	
1992	4,236.591	4,984.225	3.00	60.00	27.69014	3.15	6.01899
1993	4,398.052	5,174.179	3.00	60.00	28.74544	3.15	5.79802
1994	4,563.093	5,368.345	3.00	60.00	29.82414	3.15	5.58831
1995	4,731.833	5,566.862	3.00	60.00	30.92701	3.15	5.38903
1996	4,904.389	5,769.869	3.00	60.00	32.05483	3.15	5.19942
1997	5,080.892	5,977.520	3.00	60.00	33.20845	3.15	5.01880
1998	5,261.483	6,189.980	3.00	60.00	34.38878	3.15	4.84654
1999	5,446.302	6,407.414	3.00	60.00	35.59675	3.15	4.68208
2000	5,635.508	6,630.010	3.00	60.00	36.83339	3.15	4.52488
2001	5,832.339	6,861.576	3.00	60.00	38.11986	3.15	4.37217
2002	6,033.765	7,098.547	3.00	60.00	39.43637	3.15	4.22622
2003	6,243.228	7,344.974	3.00	60.00	40.80541	3.15	4.08443
2004	6,464.634	7,605.452	3.00	60.00	42.25251	3.15	3.94454
2005	6,702.325	7,885.088	3.00	60.00	43.80604	3.15	3.80465
2006	6,961.339	8,189.811	3.00	60.00	45.49895	3.15	3.66309
2007	7,247.694	8,526.699	3.00	60.00	47.37055	3.15	3.51836
2008	7,568.687	8,904.337	3.00	60.00	49.46854	3.15	3.36914
2009	7,933.484	9,333.510	3.00	60.00	51.85283	3.15	3.21422
2010	8,353.448	9,827.586	3.00	60.00	54.59770	3.15	3.05263
2011	8,799.219	10,352.022	3.00	60.00	57.51124	3.15	2.89798
2012	9,266.829	10,902.152	3.00	60.00	60.56751	3.15	2.75175
2013	9,747.030	11,467.094	3.00	60.00	63.70608	3.15	2.61618
2014	10,228.932	12,034.038	3.00	60.00	66.85576	3.15	2.49293
2015	10,699.034	12,587.099	3.00	60.00	69.92833	3.15	2.38339

5.3.5 Construcción de la Capa Impermeable.

En este inciso se analiza la problemática que significa la interacción de residuos sólidos con el medio, en particular con el suelo, por la posible infiltración de líquidos y gases generados por el efecto de la disposición de desechos sólidos mediante la técnica de relleno sanitario en el sitio denominado "IXTAPALUCA".

5.3.5.1 Análisis tendiente a la preservación del equilibrio ecológico y la no afectación al suelo y cuerpos de agua.

Un aspecto importante es el hecho de la presencia de fallas geológicas en las proximidades del sitio, las cuales, se ubican en los encauzamientos pluviales naturales que se han formado; fallas que no se han reportado como activas, pero que se ha considerado su relación con el sitio de disposición final y sus posibles efectos en el aspecto de impermeabilización del sitio por asentamientos o deslizamientos del terreno, razón por la cual, se ha considerado un área de restricción con un radio de 60 metros a cada lado de la trayectoria de las fallas.

En el área estudiada, se realizó una exploración geotécnica mediante sondeos a profundidades del orden de 50 a 60 metros, estudio realizado por la Empresa TGC Geotecnia S.A.; analizando la sección A-A, que corresponde a los sondeos LA-1, LA-2 y LA-4, que son los más representativos del área donde se ubicará el sitio, encontramos que existe un estrato superior constituido por una toba, formada por una arcilla limosa y limo arenosa con poca arena fina color café, este estrato tiene un espesor promedio de 40 metros. Subyaciendo esta formación, se detectó una brecha, formada por arena con gravas y boleas color gris, material que encontraremos al nivel del desplante propuesto (nivel 2430 msnm en el área inferior y 2480 msnm en el área superior).

Producto de pruebas de permeabilidad tipo Nasberg, se determinó el coeficiente de permeabilidad, el cual, para el estrato superior formado por las tobas, es bajo, reportando valor promedio 1.2×10^{-6} cm/seg., en tanto, en los estratos inferiores, este coeficiente se incrementa teniendo valor promedio de 1.2×10^{-3} a 4.3×10^{-4} cm/seg, en esta evaluación, excluimos las pruebas realizadas en los basaltos fracturados, que reporta valores mayores, por no tener presencia de ellos en la zona propuesta.

En virtud de que las características del suelo presentes en el sitio, favorecen la infiltración de líquidos y gases a nivel de los desplantes propuestos, así como en taludes verticales generados en la etapa de excavación y preparación del sitio, se hace necesario el diseñar un sistema de impermeabilización que prevenga, controle y permita, un tratamiento adecuado de los agentes contaminantes, ya que en forma natural, los materiales constituyentes del suelo no generan una interfase adecuada para la protección del medio, en particular, de los cuerpos de agua que pudiesen ser contaminados por líquidos percolados y con ello poner en riesgo a la población, al alterar sus características físicas químicas y biológicas, por ser el agua subterránea una fuente muy importante de abastecimiento.

5.3.5.2 Diseño del sistema de impermeabilización.

Debido a que los niveles de desplantes proyectados en cada una de las dos zonas a depositar residuos, requiere de un proceso de excavación para lograr esas cotas, se puede iniciar el procedimiento de conformación en esa etapa e ir generando la superficie deseada que será el material de sustento del relleno, el cual, al efectuar la excavación se deberá de

tratar mecánicamente con el equipo de excavación, a fin de lograr una superficie compacta libre de cualquier vegetación, tierra vegetal, suelos orgánicos o material de acarreo.

Se buscará que su acabado superficial tenga una acomodo lo más homogéneo posible, retirando los fragmentos grandes y boleos que pudieran crear dificultades constructivas y que causan repercusiones graves en cuanto a la deformabilidad del terraplen, ya que los espesores de las capas superiores no serán uniformes, mermando la capacidad soportante de la base al no compactarse correctamente.

Posterior a esta preparación del nivel de desplante, se colocará una base que servirá de transición entre el material que constituye el desplante y el sistema de impermeabilización. Se propone emplear para este caso la toba que existe en la parte superficial del sitio, la cual deberá estar libre de toda materia orgánica en partes o cantidades visibles, no contendrá cascajo, fragmentos de materiales extraños ni piedras mayores de 2 1/2" de tamaño medio.

El espesor de la base será de 60 cm. constituida por capas de 20 cm., el tendido del material se realizará con el equipo necesario, que permita garantizar una eficiente incorporación al material terreo, del agua requerida para alcanzar la humedad óptima.

La capa que se forme directamente sobre el nivel de desplante tendrá un espesor compacto de 20 cm., la compactación deberá alcanzar un 90% de su peso volumétrico seco máximo, prueba proctor modificada, logrando con ello un coeficiente de permeabilidad del orden de 1.3×10^{-7} cm/seg.

Sobre esta capa seca y libre de polvos, se aplicará un riego de impregnación usando producto asfáltico rebajado del tipo FM-1, a razón de 1.5 lts/m², debiéndose ejecutar en las horas más calurosas del día, esperándose la absorción total en no más de 24 horas. La capa impregnada deberá ser cerrada al tránsito por un lapso mínimo de 48 horas.

El procedimiento se repite para la colocación de la segunda capa, la tercera y última capa se realizará de igual forma a excepción del riego de impregnación, el cual se omitirá. Se deberá de llevar un control de calidad de los materiales a usar, así como ejecución de determinaciones del grado de compactación por parte de la supervisión, que verificará que los procedimientos constructivos se ejecuten de acuerdo a lo especificado.

Una vez terminada la tercera capa, se colocará la geomembrana, desarrollándola en forma manual o mecánica previniendo los traslapes, que como mínimo serán de 10 cm. para la unión. Esta unión entre membranas se realizará mediante el proceso de termofusión controlada.

Se realizará un control de calidad a fin de verificar las propiedades mecánicas en las uniones, esto se hará mediante un muestreo y prueba con dinamómetro.

Esta inspección se complementará con ensayos no destructivos, en uniones longitudinales, verificando condiciones de sellado en la geomembrana.

Posterior a la colocación de la geomembrana, se tenderá una capa de arena limpia de 30 cm. de espesor, la cual se conformará mediante empleo de equipo ligero sobre neumáticos a fin de no dañar la geomembrana.

Este procedimiento es aplicable en el fondo del relleno, en condiciones de superficies horizontales, su ejecución será en forma programada, tratando exclusivamente las macroceldas, en la secuencia establecida, evitando con ello el daño al sistema de impermeabilización y generar un amplio frente de trabajo que limitaría las posibilidades de circulación y entorpecería la operación.

Para el caso del traslape en puntos de intersección con taludes de caminos en el perímetro del relleno, se tenderá la geomembrana después de realizar el procedimiento descrito de formación de la base dejando un traslape de 40 cm., el cual se unirá por termofusión con el lienzo de geomembrana anclado en los hombros de talud y que cubrirá dicha área inclinada.

Se recomienda en tanto se realiza la unión, el proteger la zona de traslape mediante la colocación de toba a volteo en esa zona.

Posterior a la conexión de la membrana, se formará un chafalán con el mismo material, compactándolo con equipo manual que permita un acomodo adecuado del material, previa incorporación del agua requerida para alcanzar la humedad óptima y teniendo cuidado de no dañar la membrana.

El tratamiento que se realizará para la impermeabilización de taludes se basa en el concepto de formación de caminos perimetrales con desarrollo concéntrico.

Se plantea la construcción de caminos bajo el procedimiento descrito en el inciso de diseño de caminos internos con el doble propósito de comunicar, mediante un circuito de caminos perimetrales, las áreas de disposición de desechos y por otra parte, contribuir a mejorar las condiciones de permeabilidad del talud, mediante la formación de un núcleo impermeable con la propia estructura del camino.

Los caminos se sobre-elevarán 3.00 metros del nivel de depósito de basura, lo cual permite el colocar la geomembrana y su anclaje mediante la construcción de una zanja longitudinal al camino, que a la vez servirá de dren pluvial. De esta forma tenemos un doble sistema de impermeabilización, ya que la formación de caminos bajo el procedimiento descrito, nos proveerá de un núcleo con un coeficiente de permeabilidad de 2.0×10^{-6} cm/seg como mínimo, el cual es aumentado por la acción de compactación adicional por efecto del tránsito de vehículos recolectores.

5.3.5.3 Sistema reforzado por la colocación de una geomembrana que protegerá al talud y se trasladará con el sistema de protección del fondo del relleno o del talud de la etapa anterior.

Este sistema nos permite ir progresando con los caminos, de acuerdo a la programación de llenado del sitio y simultáneamente con el procedimiento de impermeabilización, lo cual al realizarse en progresiones ascendentes, se traduce en costos menores, al aumentar los rendimientos de colocación al ser un método convencional que no implica sujeciones sofisticadas o empleo de equipo especializado; asimismo, se traduce en economía de suministro de la membrana, ya que los esfuerzos y fuerzas generadas son de un orden menor, al manejar un talud de 3.00 metros de altura.

El empleo de geomembranas conjuntamente con suelos tratados y compactados, es uno de los sistemas más confiables y adecuados al problema de impermeabilización en rellenos sanitarios, por sus procedimientos, materiales y costos.

Todas las membranas sintéticas de revestimiento, se fabrican a partir de resinas obtenidas como producto de una reacción química llamada polimerización, en la cual, moléculas de un monómero se enlazan con otras moléculas y generan polímeros de cadenas largas.

Los principales tipos de membranas son:

- a.- **Termoplásticos:** Cloruro de polivinilo (PVC), cloruro de polivinilo resistente al petróleo (PVC-OR), cloruro de polivinilo nitrilo termoplástico (TN-PVC), etc.
- b.- **Termoplásticos Cristalinos:** Polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), aleación de polietileno de alta densidad (HDPA-A), polipropileno (Pp), etc.
- c.- **Elastómeros termoplásticos.**
- d.- **Elastómero.**

Una característica de las geomembranas, es su baja conductibilidad hidráulica asociada a una permeabilidad muy baja, además de resistir en forma extrema el ataque de los fluidos, en la Tabla 49, se muestran parámetros de permeabilidad y conductibilidad hidráulica de las geomembranas.

TABLA 49

PERMEABILIDAD Y CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA DE GEOMEMBRANAS

MATERIAL	k (10-15 m/seg)	kg (10-15 m/seg)	Tg (mm)
CPE		18 a 90	0.53 a 0.97
CSPE	54 a 370	20 a 55	0.74 a 1.07
POLIOFELINA ELASTIZADA		8.3	0.72
CO		1900	1.16 a 1.65
EPDM	22 a 110	11 a 24	0.51 a 1.70
CR (NEOPRENO)		13 a 44	0.51 a 1.59
HULE NITRILO		340	0.76
POLIBUTILENO		4.7	0.69
ELASTOMERO DE POLIESTER		170	0.20
LDPE		3.5	0.76
HDPE		1.1 a 1.2	0.80 a 2.44
HDPE-A		3.3	0.86
PVC	4.3 a 170	100 a 120	0.28 a 2.79
PVC-E		210	0.91
PVC-OR		280	0.83
PELICULA DE SARAN		0.6	0.013
ASFALTO	5.9 a 82		

k=Permeabilidad de permeámetro; kg=Conductividad hidráulica equivalente, en prueba de transmisión de vapor de agua; Tg=espesores ensayados para kg.

Los aspectos más importantes a considerar para la selección de la geomembrana son; su resistencia a la tensión, flexibilidad, elongación sin falla, resistencia a solventes alifáticos, resistencia a solventes aromáticos halogenados, resistencia a ácidos y solventes oxigenados, resistencia al intemperismo, resistencia a la abrasión y al punzonamiento, inmunidad al ataque de bacterias y hongos, fácil reparación, disponibilidad de suministro, métodos de unión de campo y economía.

Dos aspectos importantes para la selección de tipo de material fueron, para nuestro caso, las propiedades de elongación del producto, su resistencia a pruebas de envejecimiento acelerado, considerando la existencia de fallas que pudieran causar esfuerzos adicionales a la membrana por efecto de asentamientos o desplazamientos diferenciales. Se presenta la Tabla 50 con las propiedades de estos materiales.

TABLA 50

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN GEOMEMBRANAS

PROPIEDAD	LDPE	HDPE	PVC	CPE	PP	IRR	CSPE	EDPM
DENSIDAD	0.92-0.94	0.94-0.96	1.24-1.30	1.35-1.39	0.90-0.91	0.92-1.25	1.4-1.5	1.15-1.21
RESISTENCIA A TENSION(KG/CM ²)	91-176	169-337	176-246	127 MINIMIO	281-2250	70-281	70-141	91-105
DEFORMACION A LA FALLA (%)	200-800	10-650	250-350	375-575	40-400	300 MINIMIO	300-500	300 MINIMIO
DUREZA SHORE A	n.d.	n.d.	65-75	65-75		45-80	55-95	50-70
TEMPERATURA DE OPERACION (°C)	-57-82	-57-116	-51-93	-40-93	-51-104	-46-163	-43-93	-59-149
RESISTENCIA A ACIDOS	P a B	B	B A E	B a E	B a E	B	B	B a E
RESISTENCIA A BASES	B a E	B a E	B a E	B a E	B a E	B	B a E	B a E
RESISTENCIA A SOLVENTES OXIGENADOS	P a B	P a B	B	P	P	B a E	B	B a E
RESISTENCIA A SOLVENTES AROMATICOS Y HALOGENADOS	R a B	R a B	B	P	B	P	R	P
RESISTENCIA A SOLVENTES ALIFATICOS(PETROLEO)	R a B	R a B	B	B	B	P	B	P
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA(E ⁻¹⁴ A/SEG)	4.3-19.9	2.6-3.1	4.3-25.6	0.06-0.07	0.36-1.42	0.21	2.8	2.8
RESISTENCIA AL INTEMPERISMO	P (s/p)	P (s/p)	P a R	E	P (s/p)	B	E	E
TIEMPO DE AGRIETAMIENTO(HR)	900	300	NO OCURRE A 2500	SIN EFECTO A 4000	100	SIN EFECTO MAS DE 2500	SIN EFECTO MAS DE 1000	SIN EFECTO MAS DE 1000
TIEMPO DE DESINTEGRACION(HR)	SIN EFECTO	600	300	SIN EFECTO A 4000	600	SIN EFECTO MAS DE 2500	SIN EFECTO MAS DE 1000	SIN EFECTO MAS DE 1000
TIEMPO DE DECOLORACION(HR)	300	300	100	SIN EFECTO A 4000	900	SIN EFECTO MAS DE 2500	SIN EFECTO MAS DE 1000	SIN EFECTO MAS DE 1000
ESPERANZA DE VIDA(AÑOS)						> 20	> 20	15-20
INSTALACION A LA INTEMPERIE	NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI

P=POBRE, R=REGULAR, B=BUENA, E=EXCELENTE, s/p=SIN PROTECCION CONTRA INTEMPERISMO, n.d.=NO DISPONIBLE (PRUEBAS ASTA1)

La geomembrana seleccionada será de polietileno de alta densidad (HDPE) de 80 mils y deberá cumplir con las especificaciones que se detallan.

Su elección considera las condiciones propias del sitio, tipo de desechos a confinar, técnica a desarrollar, capacidad de mercado y diseño del sistema, el procedimiento de preparación y aceptación, estriba en una verificación previa al suministro, apoyada en un muestreo de que las condiciones y características del material sean acordes a las especificadas.

En campo deberá de llevar un control en que se identifique cada rollo por procedencia, fabricante, parámetros y sitio de colocación.

La geomembrana en una inspección visual al momento de colocación deberá estar exenta de perforaciones, roturas, foliaciones, burbujas, estrías o laminación que pudieran modificar sus propiedades.

Su suministro deberá realizarse en rollos debidamente empacados y su almacenamiento será tal, que no sea dañado por roturas, sobrecargas, agentes químicos, polvo o temperaturas extremas; debiendo estar en un sitio fresco y entongado de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Su colocación se iniciará una vez que la superficie de contacto se encuentre en las condiciones especificadas, debiendo contar con el equipo de instalación, personal capacitado, materiales, preparaciones y herramienta necesaria para impermeabilizar las áreas y taludes de acuerdo al programa establecido.

Un punto muy importante de este sistema se centra en las uniones entre lienzos, debiéndose cumplir con las condiciones de impermeabilidad requerida. Dentro de este tipo de juntas, existen diversas alternativas de unión, entre las cuales se distinguen los métodos de unión por extrusión, termofusión, aire caliente, unión química y adhesión química, debiendo el proceso elegido, estar acorde con las características y propiedades de la membrana.

Para nuestro caso se opta por el método de soldadura por termofusión con técnica de doble fusión, en la cual ambas superficies se soldarán por el contacto con una zapata caliente. Es aplicable este sistema a la unión de membranas a base de polietileno de alta densidad y ambas superficies se fusionan por compresión.

Se comenta que este sistema requiere de un control riguroso de calor, presión y del tiempo de aplicación de ambos, debido a lo estrecho del punto de fusión del polietileno. El control de calidad de estas uniones es muy importante, por lo cual se realizarán pruebas de inspección diaria al equipo con una periodicidad de 4 horas.

Los ensayos destructivos se realizarán mediante el corte de 30 cm. de largo de una junta de donde se extraerán probetas de 1" de ancho, las que se ensayarán verificando la resistencia de la unión soldada de acuerdo a la prueba ASTM D 3083 así como resistencia a la separación (ASTM D 413) empleando un tensómetro; se obtendrán 10 muestras, ensayando 5 a resistencia de la unión y 5 a resistencia de separación.

Las pruebas no destructivas se enfocan a la ejecución de una prueba de presión la cual se realiza empleando un equipo de bombeo de aire provisto con un manómetro, capaz de producir una presión de 20 a 25 psi, se realiza sellando ambos extremos de la unión soldada en la zona de prueba e insertando un pivote tipo jeringa a presión y se inyecta aire, en caso de una pérdida de presión mayor a 4 psi, se localiza la falla y se procede a su reparación.

En caso de que los ensayos revelen deficiencias en la unión, se definirá la zona con problemas y se deberá cortar la unión y reparar completo el tramo procediéndose al muestreo y ensaye adicional en el área reparada.

5.3.6 Diseño de interfase, análisis de contaminación del suelo y acuíferos.

La contaminación de las aguas subterráneas, se caracteriza por la diversidad de sus formas y de sus orígenes abarcando un panorama que va, desde las fuentes superficiales naturales o creadas por el hombre, hasta aquellas causas situadas en los propios sedimentos profundos.

La contaminación resultante en dichas fuentes, se relaciona con el uso que se hace del suelo y por el alcance geográfico del sitio, lo que da lugar a problemas locales o regionales.

La contaminación de las aguas subterráneas por los residuos sólidos, se caracteriza por la gran variedad de sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas que son arrojadas en los sitios de disposición final (tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios); lo cual, da estos sitios, la particularidad de poder ser considerados como una fuente de contaminación local o puntual.

El problema de contaminación en los sitios de disposición final ocurre principalmente cuando los residuos sólidos están expuestos a la precipitación pluvial, lo cual provoca un aumento importante en la cantidad de compuestos lixiviados.

Debido a las altas concentraciones de contaminantes en las aguas de lixiviación y a que el suelo frecuentemente no posee la suficiente capacidad de retención, las aguas subterráneas pueden verse contaminadas. Los contaminantes que son introducidos en el terreno en forma de residuos líquidos, se desplazan por sí mismos, pero las materias sólidas, han de ser previamente disueltas. Una vez en forma diluida, el soluto sufre a lo largo de su camino, los efectos de un conjunto de factores físicos y químicos que influyen en su movimiento y distribución.

5.3.6.1 Zona no saturada

Considerando en primer lugar el desplazamiento del agua y sales disueltas a través de la zona no saturada (o zona de aireación) hacia el manto acuífero, la componente vertical de este movimiento, es más importante que la pequeña dispersión horizontal. Puesto que el movimiento del soluto, depende en gran medida del movimiento del agua, debe también depender de los mismos factores físicos.

En lo que respecta al medio no saturado, existen propiedades o características hidráulicas del transporte de masa, que influye en el grado de desplazamiento de los contaminantes, a continuación se presentan las más importantes:

- a.- Conductividad hidráulica (Ley de Darcy) del suelo. La conductividad hidráulica, junto con el gradiente hidráulico entre la superficie del terreno y la superficie piezométrica, determinan el movimiento del agua. Si la conductividad hidráulica del suelo es bastante alta, puede producirse una fuerte evaporación y el movimiento ascendente de las sales debido a este fenómeno, es probable que también sea importante, teniendo lugar la acumulación de sales en la superficie. La existencia de un foco de humedad, como la lluvia, puede hacer penetrar las sales profundamente en la zona no saturada, dependiendo del grado de humedad.
- b.- El contenido en humedad (agua) de un suelo representa el volumen relativo del mismo ocupado por el agua. Cuando el suelo está saturado, todos los huecos están rellenos de agua y el contenido de humedad es igual a la porosidad. El movimiento descendente de los solutos, está particularmente influido por este contenido en

humedad. Generalmente, los contenidos bajos en humedad, como ocurre en los suelos arenosos, favorecen una mayor velocidad descendente del soluto.

- c.- El volumen poroso activo en relación con el inactivo (o en "callejón sin salida"), influye también en el movimiento, constituyendo un problema particular en terrenos no saturados o consolidados, donde, junto a grandes poros que dejan pasar el agua con facilidad, existen otros mucho más pequeños y aislados que admiten el soluto fundamentalmente por difusión molecular. En consecuencia, el soluto se desplaza a través del terreno más rápidamente, debido a la disminuida actividad del contenido en humedad; sin embargo y al mismo tiempo, parte del soluto se queda atrapado en los mencionados poros inactivos.
- d.- El grado de heterogeneidad del suelo tiene una influencia doble, por un lado, la distribución del tamaño de los pozos, produce o puede producir el efecto de "callejón sin salida" y por otro, una estratificación sedimentaria, ocasiona una variación especial de la humedad y de la conductividad hidráulica, que a su vez, influye en la velocidad de desplazamiento del soluto.
- e.- Las condiciones en los límites de la zona no saturada, influyen en la cantidad de humedad disponible para percolación y/o evapotranspiración. En consecuencia, son las condiciones en los límites las que determinan el movimiento ascendente o descendente del agua y el soluto en un suelo determinado y en un momento dado. En áreas húmedas, por debajo de los primeros centímetros a partir de la superficie, el sentido del flujo es fundamentalmente descendente. En regiones áridas, será ascendente durante períodos de fuerte evapotranspiración y descendente cuando haya aporte de agua (riegos, por ejemplo).
- f.- Según va atravesando la zona no saturada, el soluto se va extendiendo. Este hecho puede ser debido en parte, al efecto de "callejón sin salida"; pero también lo es debido a la dispersión.

En zonas no saturadas, la dispersión suele ser más importante que en las zonas saturadas, aunque generalmente es de importancia secundaria frente al proceso de convección. En otras palabras el movimiento del soluto debido a la dispersión es normalmente poco importante, frente al transporte del mismo en el seno del agua que se infiltra.

El clima de una región también ejerce su influencia sobre estas características y propiedades físicas. El recorrido de los elementos en solución depende de la cantidad de agua que penetra en el suelo; cuanto mayor sea la precipitación pluvial, mayor será probablemente la profundidad a que se encontrará el soluto en un determinado terreno. En el caso de encontrarse en los 30 cm. superiores del terreno, un soluto puede desplazarse hacia la superficie, debido a evaporación, pero si la precipitación es suficiente para arrastrar al soluto por debajo de esta zona, probablemente alcanzará el acuífero subterráneo.

El paso de un soluto a través de la zona de aireación, aún en el caso de no existir fenómenos químicos puede durar años, debido a la baja velocidad del agua en su movimiento de percolación. Existen, sin embargo, fenómenos de tipo pulsatorio, donde se produce una especie de onda de presión, gracias a la cual, el grado de saturación del terreno (no las partículas de agua por sí mismas) se trasmite, por así decirlo, en forma ondulatoria en semanas o meses. De todas formas y en circunstancias favorables, el soluto puede alcanzar la superficie piezométrica en cuestión de horas, aunque un orden de magnitud más realista sea el de días o semanas. Una vez que la contaminación alcanza la zona saturada, suele extenderse lateralmente y moverse en la dirección general del flujo subterráneo.

5.3.6.2 Zona saturada

Una vez alcanzada la superficie piezométrica, el contaminante puede penetrar en el acuífero o flotar sobre él. Este último caso puede ser debido, por ejemplo, a la elevada temperatura de un contaminante, a pesar de ser este miscible o bien a la inmiscibilidad de ciertos fluidos de baja densidad, tales como los hidrocarburos (petróleo, gasolina, etc.). En cualquier caso, una vez introducido en el sistema, el contaminante sigue el flujo hacia la zona de descarga natural del acuífero, que puede ser el mar, un río, lago, manantial, zona pantanosa o bien un pozo de bombeo.

El movimiento del agua contaminada se ve sujeto a unos factores físicos idénticos o parecidos a los que enumerados para la zona de aireación. Es decir, el movimiento conectivo del agente contaminante depende del campo de flujo del agua subterránea, el cual a su vez, es función de la distribución de las alturas piezométricas, de la distribución de la conductividad hidráulica y de las condiciones en los límites (o condiciones de borde), tales como fuentes, extracciones, bordes impermeables, etc.

En los acuíferos confinados el flujo es predominantemente horizontal, debido a la presencia de estratos combinados, a menos que exista una importante pendiente en la formación. En los acuíferos libres, el flujo es también fundamentalmente horizontal, aunque existe una cierta componente vertical en el movimiento. El soluto o agente contaminante puede desplazarse además, en forma limitada, debido a fenómenos de recarga, diferencia de densidades y dispersión.

Al realizar un análisis cuantitativo de los acuíferos, a menudo se considera el promedio de sus características en un sentido vertical. De esta manera, la conductividad hidráulica (K), por ejemplo, es sustituida por un factor llamado transmisibilidad ($T=Kh$, siendo h el espesor del acuífero y K su conductividad media). Un campo de flujo calculado sobre estas bases, supone circulación horizontal, hipótesis que por verificarse a menudo en la práctica proporciona una adecuada representación de la realidad.

De acuerdo a las condiciones físicas del terreno en donde se va a ubicar el sitio Ixtapaluca, se presenta el siguiente análisis de contaminación. Es importante mencionar que este análisis se llevará a cabo considerando únicamente la zona no saturada y de acuerdo a los resultados encontrados se efectuará el análisis para la zona saturada.

5.3.6.3 Análisis de la contaminación del suelo por carga catiónica.

Algunos materiales como la arcilla y la materia orgánica, están cargados negativamente y son capaces de absorber cationes. Los cationes que son absorbidos se denominan cationes de cambio, ya que pueden ser cuantitativamente reemplazados por otros sin destruir los coloides del suelo. La cantidad de cationes cambiables que un suelo es capaz de absorber, recibe el nombre de capacidad de intercambio catiónico y se mide en términos de meq/100 gr. de suelo.

El análisis de contaminación por carga catiónica, nos sirve para determinar la interfase del suelo necesaria para remover la cantidad total de lixiviado que se genere en la disposición final bajo el tratamiento de relleno sanitario.

$$Si \quad I = 400 \frac{C \cdot i}{CIC (Pv)}$$

donde:

- I = Interfase en metros
- C = Concentración catiónica del lixiviado = 411 meq/l.
- CIC = Capacidad de intercambio catiónico del suelo en meq/100 = 70 meq/l.
- Pv = Peso volumétrico del suelo = 1,180 kgs/m³.
- i = Humedad lixiviable de los residuos solidos en m/m²-año = 0.7665

sustituyendo valores:

$$I = 400 \frac{411 \text{ meq/lt} \times 0.7665}{70 \text{ meq/lt} \times 1,180 \text{ kg/m}^3}$$

$$I = 1.525 \text{ metros para un año.}$$

De acuerdo con lo anterior, tenemos que se necesitaran 1.525 metros de espesor de suelo, para retener la contaminación por carga catiónica, que puede producirse en el sitio.

5.3.6.4 Análisis de contaminación del suelo por carga orgánica.

Este análisis se utiliza para determinar la interfase de suelo necesaria para proteger a las aguas freáticas de la contaminación por DBO. Se lleva a cabo estableciendo una columna de celdillas de mezclado de dimensiones constantes y se aplica a cualquier celdilla localizada en la dirección del flujo.

La ecuación que determina la concentración del contaminante es la siguiente:

$$C_j = \frac{1}{1 + \frac{B A n C_j K}{Q}} C_{j-1}$$

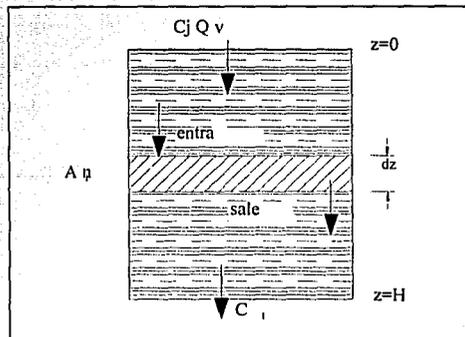


Figura 18: Celdilla de mezclado.

donde:

- j = Celdilla de mezclado que se analiza.
- C_j = Concentración del contaminante en la celdilla que se analiza en mg/l de DBO.
- B = Sección transversal de las celdillas en metros.
- n = Porosidad del suelo. Adimensional.
- K = Coeficiente de decaimiento de la contaminación. Día⁻¹.
- Q = Gasto que se filtra a través del suelo por la sección transversal "A", en m³/día.
- C_{j-1} = Concentración del contaminante en la celdilla anterior a la que se analiza en el sentido del flujo en mg/l.
- G_j = Coeficiente de retardo en la celdilla que se analiza.

este último coeficiente se obtiene de la ecuación siguiente:

$$G_j = 1 + \frac{1-n}{n} K_1$$

donde:

- K_1 = Coeficiente de transferencia de masa de la fase líquida a la fase sólida.

sustituyendo valores y considerando utilizar para el análisis, celdillas de 0.25 mts. de ancho, tenemos que:

- Q = 0.7665 m³/m²-año = 0.00219 m³/m²-día.
- n = 0.35.
- A = 1 m².
- C_j = 52,000 mg/l.
- K_1 = 0.05.
- K = 0.15 día⁻¹.
- B = 0.25 m.

calculando el coeficiente de retardo.

$$G_j = 1 + \frac{1 - 0.35}{0.35} 0.05$$

$$G_j = 1.09$$

siendo constantes B,A,N,G,K y Q tenemos que:

$$\frac{B A n G K}{Q} = \frac{0.25 (1)(0.35)(1.09)(0.15)}{0.00219}$$

$$\frac{B A n G K}{Q} = 6.532$$

sustituyendo este valor en la primera celdilla tenemos:

$$C1 = \frac{1}{1 + 6.532} 52,000 \text{ mg/l} = 6,903.9 \text{ mg/l}.$$

efectuando este análisis para las celdas subsecuentes se obtienen los siguientes resultados:

PROFUNDIDAD (CM)	CELDA	CONCENTRACION DBO EN MG/LT
0	C1	52,000.0
25	C2	6,903.9
50	C3	916.6
75	C4	121.7
100	C5	16.1
125	C6	2.1
150	C7	0.3

De los resultados anteriores se concluye que a una profundidad de 1.25 metros, la concentración de DBO es menor de 10 mg/lit, valor máximo permisible en las Normas Técnicas para el abastecimiento de agua potable, por lo que no se prevén riesgos de contaminación por DBO en los acuíferos subyacentes a este relleno sanitario.

5.3.7 Control del agua superficial.

Un aspecto muy importante a considerar dentro del proyecto de un relleno sanitario, es el efecto de los escurrimientos de agua por precipitación pluvial, con el objeto de evitar inundaciones que nos compliquen la operación de disposición de residuos y el contacto de esta agua con los desechos, por sus efectos en la generación de lixiviados, por lo cual, se deberá de proyectar un eficiente sistema de drenaje en el interior del sitio.

Analizando las fuentes de ingreso de fluidos en el sitio, podemos considerar la precipitación directa sobre el sitio y el escurrimiento del agua derivada de los cortes en taludes que se propician por la excavación. La participación por crecienta de ríos o arroyos, así como, filtraciones a través del subsuelo u otras fuentes, no se consideran, ya que estamos exentos o protegidos de ellas.

El sistema de captación pluvial, tiene el objetivo de reducir al mínimo, la presencia de agua en zonas de operación y en segundo lugar, dar salida inmediata al agua cuyo ingreso sea inevitable, evitando con ello, la circulación excesiva de agua que afecte la operación, inunde celdas o destruya el material de cubierta. Otro aspecto muy importante es la saturación de cortes con peligro de derrumbes o deslizamientos, así como, encauzamientos que alteren las propiedades de los terraplenes con peligro de destruirlos o socavarlos.

El estudio geohidrológico determina que, en los primeros 60 m. el flujo del agua se debe dar en forma vertical y de manera desordenada, la permeabilidad que se obtuvo en el suelo superficial, formado por tobas, es baja, arrojando valores promedio de 1.2×10^{-6} cm/seg; en tanto el coeficiente de permeabilidad de estratos subyacentes es variable, siendo de 1.2×10^{-3} en arenas con gravas, de 1.4×10^{-4} a 4.3×10^{-4} en gravas empacadas en arena y de 1×10^{-1} cm/seg en basaltos. Por lo cual, es de esperarse en el fondo de la excavación, una infiltración mayor, en tanto en la capa superficial, tendremos escurrimientos superficiales.

Ante esta situación la formación de los caminos superiores, se sobre elevarán a una altura de 1.50 m. con respecto al nivel del terreno natural, a fin de actuar como barreras y desviar con ello los escurrimientos procedentes de las partes altas, drenándolos en forma lateral, hacia los encauzamientos naturales que se han formado. En las áreas de operación de disposición, se ha propuesto a nivel de desplante, configurar encauzamientos con pendientes del 2 %, que canalizen los escurrimientos a las zonas de desfogue.

En la zona inferior del relleno, se drenará la precipitación hacia el encauzamiento natural que se ubica en los niveles menores de la cuenca, en tanto en la zona superior, se abrirá en forma artificial un tajo que conduzca el flujo creado hacia aguas abajo del sitio.

En todas estas áreas, se complementarán las obras con drenes, cunetas, contracunetas, alcantarillas y configuración de celdas según programación, a fin de desviar los escurrimientos, evitando al máximo el contacto del agua con los desechos.

En el interior del relleno, se pretende construir, drenes laterales a los caminos para proteger las áreas de disposición, ya sean áreas cubiertas, que contendrán cunetas que drenarán a las áreas de desfogue, así como canales que evitarán el vertido hacia áreas descubiertas en operación y zonas de preparación.

Se construirán cunetas que son canales que se adosan a los lados de la superficie de rodamiento del camino, en el lado del corte; su sección será constante, con algunos pozos de caída que romperán la velocidad del flujo. Su sección será triangular por la facilidad de construcción y estabilidad; el talud hacia la vía será de 3:1 y del lado del corte seguirá la inclinación del talud. Se realizarán con la motoconformadora.

También se considera la formación de contracunetas, en las zonas de balcón en las bermas creadas en la etapa de excavación y su finalidad será recoger y encauzar el agua proveniente del escurrimiento de los taludes de los cortes, rompiendo su velocidad y efecto erosivo. Se construirán zanjas llamadas contracunetas colocadas transversalmente a la pendiente del terreno, interceptando el paso del agua.

Existe también el caso de obras de cruce de drenaje transversal para el desfogue acelerado del agua, que al no poderse desviar, tendrán que cruzar de lado a lado los caminos. Estas obras, denominadas también alcantarillas, están formadas por el cañon y los muros de cabeza, siendo el cañon, el canal de la alcantarilla y la parte más importante de la estructura, en tanto, los muros de cabeza se colocan a fin de impedir la erosión alrededor del cañon, evitando que el terraplen invada el canal.

5.3.7.1 Diseño de cunetas.

De acuerdo con la climatología del sitio, la precipitación media anual es de 1,070 mm, la mayor incidencia de lluvias es en el mes de julio con un rango entre 200 y 210 mm/mes. Se calcula el escurrimiento por el método de Burkle-Ziegler, que es aplicable para el cálculo de gasto máximo, producido debido a un aguacero intenso en un área tributaria pequeña menor a 250 Ha. Proyectando para el máximo aguacero de 10 a 20 minutos de duración, tenemos:

$$Q_t = 0.022 C i (ST/NT)^{1/4}$$

donde:

- Q_t = Gasto aportado por cada ha. tributaria en m^3/seg
- i = Precipitación correspondiente al aguacero más intenso de 10 minutos de duración total en mm/hr
- ST = Pendiente del terreno en m/km
- NT = Número de ha. tributarias.
- C = Coeficiente dependiente de la clase de terreno.

sustituyendo:

$$Q_t = 0.022 \times 0.025 \times 80 \text{ mm/hr} \times (0.02/40)^{1/4}$$

$$Q_t = 6.579 \times 10^{-3} \text{ m}^3/seg \times \text{ha.}$$

si el área tributaria es igual a 40 ha.

$$Q_t = 0.263 \text{ m}^3/seg = 263 \text{ l/seg}$$

El diseño de la cuneta se muestra en los planos. Teniendo un área hidráulica de 0.36 m^2 y un perímetro mojado de 2.60 m.

Aplicando la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

donde:

- V = Velocidad en m/seg .
- n = Coeficiente de Manning para tierra común nivelada igual a 0.025
- R = Radio hidráulico.
- S = Pendiente del canal en metros por metro.

sustituyendo valores,

$$V = \frac{1}{0.025} \times (0.1384)^{2/3} \times (0.05)^{1/2}$$

$$V = 2.393 \text{ m/seg}$$

si tenemos que:

$$Q = VA = 2.393 \text{ m/seg} \times 0.36 \text{ m}^2 = 0.861 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El canal tiene una capacidad de drenar 861 l/seg y encauzando un gasto de 300 l/seg, la velocidad que se producirá será de 0.833 m/seg.

El valor máximo de la velocidad no erosiva en una cumeta para una grava limosa como la que tendremos, es de 1.0 a 1.5 m/seg., por lo cual, existe un factor de seguridad muy escaso, por lo que se recomienda el empleo de una geomembrana para evitar esos daños y a la vez proteger a la terracería del cambio de humedad que le restaría capacidad soportante.

5.3.7.2 Control de la erosión.

El control de la erosión es importante desde dos puntos de vista, el ambiental y la protección del relleno sanitario. La erosión será controlada en este sitio en los puntos donde las estructuras de desvío descarguen al terreno natural.

El método principal para el control de la erosión, será el de la revegetación de todas las áreas afectadas incluyendo las estructuras de drenaje. Todas las áreas afectadas serán sembradas con semillas de pasto de acuerdo a las recomendaciones señaladas por el estudio de impacto ambiental. Se utilizarán fertilizantes o suelos para mejorar en caso de ser necesario. La necesidad de otros métodos de control de erosión serán evaluados posteriormente a partir de los resultados de la revegetación.

Será necesario el seguimiento de eventos de precipitación de más de 30 mm. y por lo menos trimestralmente, las áreas afectadas serán inspeccionadas para tratar de encontrar cualquier signo de erosión excesiva o de concentración de flujo. Todas las áreas que presenten esta condición serán rellenadas con suelo en buenas condiciones y se revegetará.

Una de las principales razones para controlar la erosión es asegurar que la capa final del relleno mantendrá su integridad y minimiza el potencial para exponer al relleno a la infiltración. Para asegurar la conservación de la capa de cubierta se colocará una capa de 0.30 m. de suelo y 0.15 m. de tierra lama para revegetación.

5.3.7.3 Control de sedimentos.

La transportación de los sedimentos fuera del sitio, se controlará en los canales de desvío para cada una de las zonas afectadas. Las estructuras de control de sedimentos como diques y trampas de sedimentos son muy efectivos para controlar la descarga de sedimentos en áreas pequeñas. Estas estructuras se localizarán en la descarga de los canales de desvío principalmente.

5.3.8 Topografía final.

Para el diseño de la topografía final del sitio se tomó la necesidad de cumplir con pendientes promedio de 3:1 en todas las direcciones (relación horizontal a vertical), la topografía final se muestra en el Plano 11, dejando algunas terrazas donde se alojarán canales de desvío para romper la velocidad de los escurrimientos en los taludes terminados.

La elevación máxima que se alcanza al final de la vida útil del relleno será de 2,660 msnm y la mínima dentro del área del relleno será de 2,440 msnm.

5.4 Obras de apoyo.

5.4.1 Caminos de acceso.

Los caminos interiores del sitio, fueron planteados a fin de lograr el acceso a los diversos puntos de disposición en las diversas etapas que se han programado.

En la zona inferior, que será la primera en depositar residuos, se conformó el arreglo de los caminos como se muestra en los planos respectivos, con un desarrollo perimetral del sitio formando un circuito y complementado con tres caminos secundarios de penetración a las macroceldas. El trazo de estos caminos, maneja el concepto de tener acceso a la zona de tiro, definir las macroceldas planteadas, participar en el proceso de impermeabilización y encauzar en ciertas etapas los escurrimientos pluviales, aislando las áreas de trabajo y también, el concentrar y contener los lixiviados que se generen en la macrocelda.

En la zona superior, en virtud que se genera un desnivel máximo del orden de 180 metros y el desarrollo longitudinal de los caminos no es suficiente para salvar esa diferencia de nivel, aun manejando las pendientes máximas, se solucionó el problema manejando el concepto de caminos en dos fases, ya que, el resolverlo con un camino desde las cotas superiores, significaba un trazo muy largo, sinuoso y con gran pendiente que limita el espacio para la disposición de los desechos y reduce fuertemente los rendimientos de los vehículos recolectores, generando problemas operacionales.

Por tal motivo, se optó por crear un camino desde la carretera federal, que con una pendiente reducida nos diera acceso al fondo del sitio y con ello, plantear un camino perimetral, que definiera las macroceldas y permitiera sobreelevarse a las cotas máximas en función de su pendiente.

En estos caminos perimetrales se maneja el concepto de sobreelevación programada, a fin de que la deposición de desechos sea progresiva en forma ascendente y además, nos permite esta secuencia, manejar el sistema de impermeabilización de taludes en la forma considerada.

En la zona superior, durante la etapa de excavación, se ha programado la formación del camino central, el cual tiene como acceso, un entronque propuesto sobre la misma carretera federal pero a un nivel mayor.

Con esto, logramos que por el acceso inferior, ingresen los recolectores al fondo del sitio y una vez, que el desarrollo de la pendiente nos limite a las cotas máximas del camino, se producirá la conexión con el camino central, el cual, al verse disminuida la profundidad, tendrá un desarrollo adecuado en cuanto a pendientes se refiere y nos será posible ingresar al equipo recolector por el camino superior.

En términos generales, este es el plantamiento de las fases de llenado, por caminos a diversos niveles. El desarrollo del trazo y sus características geométricas y de pendiente, se muestran en los planos respectivos.

El diseño del camino, considera en forma importante, el número de vehículos que ingresarán, las cargas que se transmiten y los materiales que se encuentran en el sitio, ya que por razones económicas, se considera el empleo de ellos.

Debido al número de vehículos que circularán, considerando como máximo 500 por día, tenemos que un ancho de carril óptimo de 3.66 m., nos da una capacidad de tránsito de 900 vehículos por hora, con lo cual, el porcentaje de capacidad con respecto a la óptima es mucho mayor al 100%. En cuanto al efecto de vehículos pesados, con relación al tránsito total, nuestro porcentaje de capacidad se mantiene mayor al 100%.

En cuanto al grado de curvatura del camino, se definió considerando un criterio extremo de un camino tipo C con topografía montañosa y muy escarpada y teniendo un radio de curva de 35 m., nos da por resultado una curvatura de 32 grados que es menor a la máxima recomendada.

La pendiente máxima admisible está en función de la potencia de los vehículos que circularán por la vía, se tomó una pendiente máxima para un camino tipo "C" con topografía montañosa y muy escarpada igual al 8%.

En el aspecto de cargas, se consideró la carga máxima de un camión tipo T3-S2 con caja de 36 ft. y distancia entre ejes frontales de 4.00 m. y 8.50 m. a ejes posteriores, de donde se genera una descarga de 3.9 ton. en el eje frontal o No. 1, 13.0 ton. en el segundo eje y 13.0 ton en el tercero, en condiciones de camión cargado. Siendo importante el arreglo considerado de las llantas, ya que influyen en la superposición de los esfuerzos inducidos; el área de contacto de las llantas depende de la presión de inflado y la intensidad de las cargas.

Considerando las condiciones planteadas y la progresión de caminos que se estructuran en forma ascendente y en algunos casos, estos caminos se pierden al cubrirlos con desechos, se considera el uso de superficies de rodamiento de bajos requerimientos, formadas por mezclas de los suelos de cortes, bien seleccionados y compactados, para con ello lograr, las condiciones apropiadas de transitabilidad, sobre todo en el aspecto del efecto de la acción del agua, por lo cual se consideran debidamente, las pendientes longitudinales y transversales, curvaturas, drenaje superficial, bombeo, etc., ya que se deberá de cumplir con los requisitos de estabilidad ante efecto del intemperismo, resistencia a la acción de las cargas, textura adecuada al rodamiento y condición suficiente a permeabilidad, además de ser funcional y económica.

De tal manera, el nivel en que se manejarán los caminos, será de terracerías ya que el suelo natural cohesivo que integra la toba, no es capaz de soportar la acción directa y prolongada de las cargas impuestas, en tanto que los materiales granulares, ofrecen superficies inestables por falta de cohesión a pesar de su resistencia. Los caminos se estructurarán, mediante la construcción de terracerías a nivel de subrasante, esto es, considerando una capa base granular sobre la terracería, ya que, una subrasante del suficiente espesor y calidad controlados, será capaz de absorber niveles de esfuerzos relativamente altos, provenientes de la superficie y transmitirlos en forma por demás adecuada a la

terracería, con la estabilidad que limite las deformaciones causadas por el tránsito o asociado a los cambios de humedad que podrían reflejarse en la superficie del pavimento.

Para asegurar la calidad del material, será necesario muestrearlo y analizarlo, a fin de poder generar la especificación y constituyentes de la subrasante, definiendo sus parámetros de calidad en forma particular.

Tomando características generales de los materiales que constituyen la estratigrafía del sitio y considerando que de la excavación se obtendrá toba y brecha volcánica, se pretende emplear este material en la construcción de la terracería y pavimentos, de donde es conveniente separar los materiales para su mejor aprovechamiento.

La construcción de los caminos, requiere que la formación de ellos se maneje en etapas de sobreelevación de 3.00 m de alto, ya que la disposición de desechos se hará en celdas de ese espesor.

En los casos que se requiera efectuar cortes para dar el nivel de subrasante, se recomienda verificar el grado de compactación del piso descubierto, el cual deberá de tener por lo menos el 90% de su PVSM, de lo contrario se le deberá escarificar y compactar en 20 cm de espesor hasta obtener el 90 % de grado de compactación.

En el caso de los rellenos para dar el nivel de subrasante y cuerpo del pavimento, se recomienda que este se efectúe en capas de 30 cm y con un grado de compactación de $90\% \pm 2\%$, los rellenos podrán efectuarse con los materiales que se obtengan de las excavaciones del sitio en forma controlada.

La capa subrasante se colocará sobre la terracería debidamente compactada y perfilada, se construirá una capa base granular de 30 cms de espesor (compacto), esta capa base, deberá estar construida por la mezcla de brecha volcánica (grava arenosa) y con tamaño máximo de 3" y toba (tepetate) en proporción en volumen próximo al 65% - 35% respectivamente; esta capa deberá tener un grado de compactación mínimo del 95% respecto a su PVSM Porter. El porcentaje de material que pase la malla 200, no deberá ser mayor de 25%; la relación entre el porcentaje que pase la malla 200 y el porcentaje de material que pase la malla 40, no deberá ser mayor de sesenta y cinco centésimas (0.65)

El diseño requiere de ensayos bien definidos y de un muestreo representativo del material a emplear para poder definir la mezcla óptima, pero en términos generales, estos materiales son idóneos para la construcción de pavimentos.

Una vez que se tenga debidamente compactada y perfilada la base, se le aplicará un riego de cemento asfáltico tipo FM-1 a razón de 2 lts/m² y una semana después, aplicar un poreo de arena media.

En el aspecto de mantenimiento, los factores climatológicos influyen determinadamente en la vida del pavimento, así como la intensidad de tránsito, por lo cual, las condiciones de drenaje y subdrenaje, son los puntos más importantes para su preservación, así como el mantenimiento, razón por la cual se considera conveniente la presencia permanente de una motoconformadora para el arreglo y cuidado de los caminos.

Será necesario llevar un riguroso control de calidad de los materiales y procedimientos especificados, ya que de ello depende el adecuado desarrollo de los trabajos planteados, de lo contrario, esto puede causar serios problemas en el proceso de disposición de los desechos y alterar la programación.

5.4.2 Señalamientos

Las actividades operativas que se desarrollan dentro y en las proximidades del sitio, requieren de un sistema de señalamiento que regule, controle e informe de ellas, a fin de tener un buen funcionamiento e impartiendo seguridad al prevenir accidentes.

El señalamiento se colocará en aquellos lugares donde sea visible a distancias adecuadas, cumpliendo con la tónica de informar de alguna situación y poder efectuar con el tiempo suficiente, las acciones respectivas.

Se ha adoptado el señalamiento empleado en forma convencional, de acuerdo a las normas nacionales establecidas para cada caso, tanto en dimensiones, materiales, tipografía, colores y ubicación. Estas señales se han clasificado en tres grupos, siendo estos, preventivos, restrictivos e informativos.

Las señales preventivas tienen como objeto, advertir la existencia de un peligro potencial y su naturaleza, su forma es cuadrada, con dimensiones de 60 cm. por lado, su posición es diagonal, el fondo es de color anaranjado con letras y ribete de color negro; su ubicación será determinada de manera que asegure la mayor eficiencia, se recomienda un rango de 90 a 225 metros, se colocarán en el lado derecho a la dirección de la circulación.

El señalamiento restrictivo es aquel que tiene como objeto indicar alguna norma, teniendo como base un reglamento que puede ser de tránsito o el interno del sitio, tendiente a restringir algún movimiento de vehículos o señalando alguna prohibición o limitación reglamentada.

En este caso se emplea la forma rectangular, colocada con la dimensión mayor en posición vertical. Estas señales están formadas por un símbolo negro inscrito en un círculo rojo sobre fondo blanco con un letrero negro debajo del círculo; sus dimensiones serán de 70 cm. de alto por 42.5 cm. de ancho y su ubicación corresponderá a la dirección de la circulación y frente a ella, se colocarán en el punto donde inicie la reglamentación y aquellas que prohiban giros o indiquen dirección obligatoria, deberán colocarse a suficiente distancia antes del punto considerado.

Las señales informativas tienen como propósito, proporcionar alguna información que le brinde ayuda al público, indicándole las zonas de tiro, distancias, accesos y servicios.

Las señales de este tipo son rectangulares y deben colocarse en posición horizontal, sus colores serán fondo blanco con letras y ribete en color negro, sus dimensiones no son fijas, ya que su tamaño se ajusta a las necesidades, sin embargo es recomendable que no tengan más de tres renglones de leyenda.

Un punto importante y que puede llegar a ser conflictivo es la intersección del camino de acceso con la carretera federal México-Puebla, por lo cual se ha pensado en, independientemente del señalamiento que se coloque, el construir un tercer carril doscientos metros antes del acceso con el propósito de que los vehículos de recolección tengan espacio para desacelerar e ingresar al sitio sin afectar la circulación de esa vía.

Se complementará el señalamiento con marcas en el piso que sean indicativos del cruce y tránsito continuo de camiones.

Se considera la colocación de un semáforo preventivo de luz ámbar que prevenga al usuario de la carretera de las salidas continuas de vehículos recolectores.

**ESTA TESIS NO DEBE
JALIR DE LA BIBLIOTECA**

Los señalamientos se ajustarán a las siguientes especificaciones en cuanto a materiales y condiciones de ubicación: sus dimensiones serán de acuerdo al tipo de señal de que se trate, el material con que se fabricarán será lámina negra ó galvanizada calibre 18, la tipografía será la especificada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y será del tipo reflejante.

Es adecuado ubicar un contracarril fabricado en acero galvanizado de alta calidad en calibre número 12 (2.73 mm) , en los lados de la carretera en las proximidades del acceso en zona de curva como protección en áreas de peligro.

En cuanto a la ubicación de las señales se presentan alturas y distancias laterales de ellas, debiendo quedar embebidas en una base de concreto $f_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ y dimensión de $30 \times 30 \times 30 \text{ cms.}$ en soportes fijos.

5.4.3 Cerca perimetral.

El relleno sanitario es una obra de ingeniería que requiere de un adecuado manejo, por lo cual, este deberá contar con una puerta de acceso y una cerca perimetral, las cuales permitirán el control tanto de las personas como de los vehículos que acuden a el.

La puerta de acceso estará anclada en columnas de concreto armado de $2.80 \times 0.20 \times 0.20 \text{ m.}$; tendrá una longitud de 8.0 m. y estará compuesta de dos hojas construidas con malla ciclónica de $2" \times 2" (51\text{mm})$ sobre marcos fabricados con tubos galvanizados de 42 mm , 48 mm y 60 mm de diámetro exterior.

También se requiere cercar el perímetro del predio para evitar la entrada de personas o animales que pudieran en un momento dado, entorpecer las actividades que se desarrollarán en el sitio. Por tal motivo, se instalará una cerca de alambre de puas de calibre 12.5, con 4 puas a cada 76 mm , colocando hilos espaciados a cada 0.20 m. , soportados en postes de concreto armado de $2.10 \times 0.20 \times 0.10 \text{ m.}$, los cuales serán colocados a cada 5.0 m. de distancia entre sí, cubriendo el perímetro del predio con excepción de la puerta de acceso.

5.4.4 Tratamiento de lixiviado.

Lixiviado es el nombre dado al agua que ha pasado a través de un desecho sólido en un relleno sanitario. El lixiviado generalmente presenta un alto contenido de materia orgánica e iones inorgánicos, incluyendo metales pesados.

Los factores que determinan la naturaleza, volúmen y concentración de los lixiviados están ligados a factores climáticos (precipitación pluvial, temperatura) y a las condiciones geohidrológicas del terreno (existencia y nivel de acuífero, permeabilidad del suelo, pendiente del terreno). Por otro lado el modo de operación del relleno y el tipo de desecho utilizado influirá también en las características del lixiviado.

Por estas razones, el desecho líquido puede presentar grandes variaciones en las diferentes épocas del año, en los diferentes años de su operación y de un sitio a otro.

Debido a las grandes fluctuaciones en la cantidad de lixiviado generado, se plantean las siguientes soluciones para su tratamiento:

- a.- Transportar temporalmente el lixiviado generado hacia las plantas de tratamiento de agua municipal.
- b.- Recircular el lixiviado en el relleno sanitario.
- c.- Dar un tratamiento combinado físico-químico y biológico.

El transporte de lixiviado hacia la planta de tratamiento de agua residual doméstica, constituye una opción atractiva si la cantidad de lixiviado generado en el relleno no es suficiente para alimentar un sistema biológico.

El lixiviado podría dosificarse en el influente de la planta, con el fin de evitar choques de carga y reducciones en la eficiencia de remoción de la planta de tratamiento de aguas.

El efecto de dilución que se provocaría al mezclar el lixiviado con el agua residual doméstica permitiría tratar el lixiviado con sistemas biológicos.

En el reactor anaerobio de lecho de lodos, que por su capacidad de soportar altas cargas orgánicas, así como largos períodos sin alimentación, se llegó a la conclusión de que el tratamiento del lixiviado es factible, si el lixiviado se diluye, (la DQO del lixiviado tratado fué de 130 000 mg/l) o si la concentración de contaminantes orgánicos es menor que la concentración de iones metálicos, el tratamiento biológico anaerobio, se vería favorecido por pretratamiento físico-químico, adición de algún agente precipitante, esto con el fin de retirar cierto contenido de metales y sales que inhibirían el proceso de degradación anaerobio.

Una manera efectiva de tratar el lixiviado por vía anaerobia sería, realizando una dilución, así como agregando agentes precipitantes para después pasar al reactor anaerobio.

La dilución favorecería que la concentración de nitrógeno amoniacal, sulfuros, DQO y DBO disminuyeran y no causarían inhibición y la precipitación química lograría remover calcio, zinc, fierro, magnesio y algunos otros metales que se encuentran en concentraciones elevadas en el lixiviado.

Como muchas veces el lixiviado requiere grandes volúmenes de agua para efectuar la dilución, se propone se transporte hacia la planta de tratamiento de aguas residuales más cercana.

Si el transporte no es posible y el volumen de lixiviado generado no justifica la construcción de una planta de tratamiento, el lixiviado podría tratarse en un tanque de contacto químico a través de una precipitación química.

Para el caso de nuestro proyecto, se ha calculado una generación posible de lixiviado de 24,000 m³/año, lo que es poco probable que suceda en realidad si se opera correctamente, sin embargo para este volumen se podría tener una laguna de evaporación o transportar el lixiviado a la planta de tratamiento más cercana.

6. OPERACION.

6.1. Preparación del sitio.

Para la obra correspondiente a la disposición final, mediante el proceso conocido como relleno sanitario, no existe una delimitación precisa entre las etapas de construcción y operación, básicamente por las características particulares de la obra en cuestión, por lo que ciertas obras correspondientes a preparación del sitio y construcción, se llevarán a cabo prácticamente durante casi la totalidad de la vida útil del sitio. En relación con las obras necesarias para la instalación de las plantas de recuperación de subproductos, estas actividades son relativamente sencillas y están enfocadas a destinar un lugar a la ubicación de las plantas y al suministro de energía para su correcto funcionamiento, cuidando de manera especial que el tránsito de los vehículos recolectores hacia estas áreas sea adecuado.

De una manera general, se puede decir que las actividades correspondientes a la etapa de construcción del relleno sanitario, se pueden resumir en: construcción de celdas, de caminos de penetración, de sistemas para captación de lixiviados, obras de monitoreo y obras complementarias.

Sin embargo, la porción de las obras correspondientes a la preparación del sitio, que serán efectuadas con anterioridad a la etapa de construcción y operación, se describen a continuación.

6.1.1 Acondicionamiento del terreno.

Para esta actividad se sugiere el uso del equipo mecánico con hoja topadora o Bulldozer, en el capítulo de selección de maquinaria, se hace una relación del equipo a utilizar. Las actividades principales serán:

- a.- Quitar maleza, hierba, zacate o residuos de las siembras.
- b.- Retirar y estibar el producto del desmonte al lugar que se indique dentro del propio sitio, evitando la quema de lo no utilizable.

El trabajo de desmonte se efectuará con tractor, debido a que se trata de monte de tipo medio y en algunos casos se efectuará a mano, con la ventaja de trasplantar algunos especímenes a otro sitio adecuado.

Para poder dar inicio a la construcción y operación se debe contar con las básculas y preparar el camino de acceso hasta el primer frente de trabajo. Antes de iniciar la operación en este sitio, deben efectuarse obras de despalme con la finalidad de quitar todo el suelo de tipo vegetal además de efectuar la excavación correspondiente.

Los trabajos correspondientes a la construcción del sitio como son: las excavaciones y en general los movimientos de tierra necesarios para la operación, la construcción de la interfase impermeable, la construcción de los sistemas de colección de lixiviados y la construcción de los sistemas de control de gas, se especifican en el capítulo correspondiente al manual de operación, en donde se hace una descripción más detallada de estas actividades.

6.2 Administración.

6.2.1 Horario de operación.

El centro de aprovechamiento y disposición final de Ixtapaluca, será operado por la entidad o empresa que designe el Departamento del Distrito Federal, deberá existir un supervisor general del sitio, que será quien tendrá la responsabilidad de la operación correcta, será llamada la persona contacto en el sitio y deberá atender en cualquier momento a todo evento que pueda presentarse dentro de la operación.

Con la finalidad de optimizar la maquinaria empleada en la operación y no tener maquinaria en operación cuando el ingreso de residuos sea escaso, se recomienda contar con un horario restringido para la entrada de vehículos de recolección de las 7:00 a las 20:00 horas.

6.2.2 Selección de maquinaria y equipo.

En un relleno sanitario se efectuarán diversas actividades, encaminadas a lograr una eficiente operación, por lo que es necesario contar con maquinaria y equipo especializado para lograr estas tareas.

Este equipo debe ser el suficiente para llevar la operación sin contratiempos, por una parte y por otra, no debe existir exceso de maquinaria, ya que esto trae como consecuencia una gran derrama económica.

Para el empuje, acomodo y compactación de los residuos sólidos, se pueden utilizar tanto equipos diseñados expresamente para estas actividades o equipos adaptados para estas tareas. En los rellenos sanitarios del Distrito Federal, se están empleando con mucho éxito estos últimos.

Para otras actividades, tales como mantenimiento de caminos, drenajes, compactación de material de cobertura y riego, se emplean otro tipo de maquinaria y equipo. A continuación se describen la maquinaria y equipo requerido para la operación de un relleno sanitario.

- a.- Tractores de carriles.
- b.- Cargadores
- c.- Motoconformadoras.
- d.- Compactadores.
- e.- Pipas.

6.2.2.1 Tractores de carriles.

El tractor es un vehículo con motor de gran tamaño y potencia; son máquinas que transforman la energía del motor a energía de tracción y están diseñadas principalmente para empujar o jalar. El motor es operado por medio de diesel y en ocasiones consume gasolina, como en el caso de modelos más pequeños cuyo motor es más ligero. Los tractores se encuentran montados para su desplazamiento sobre orugas o sobre llantas de hule o neumáticos.

Debido a las múltiples adaptaciones que se pueden hacer con sus herramientas de ataque, los tractores reciben diferentes nombres, por lo que se clasifican en: bulldozer, angledozer, empujadores, compactador de residuos sólidos, desgarradores y pinzones pluma lateral. Los utilizados en la operación de un sitio de disposición final bajo la técnica de relleno sanitario son el bulldozer, el angledozer los empujadores y los compactadores de residuos sólidos.

- a.- **Bulldozer.** Comprende esencialmente de una hoja empujadora recta o ligeramente curva, colocada en la parte delantera del tractor. La hoja es una estructura maciza de acero, que lleva en el filo delantero de su base, una cuchilla que también es de acero y con piezas intercambiables. En algunas ocasiones se provee a la hoja de una placa tope, permitiendo al bulldozer trabajar como si fuera un empujador. El funcionamiento de la hoja para levantarla y bajarla, se hace mediante un control hidráulico o de cable, cuya potencia es proporcionada por el tractor. Los bulldozer se encuentran montados sobre orugas. Son usados generalmente en desmontes, despalmes, en movimiento de tierras para distancias de acarrees no mayores de 100 m., es excelente para construir caminos de acceso y repararlos, además extiende la tierra, la compacta y efectúa nivelaciones. En la operación del relleno sanitario, estos se utilizan para efectuar el empuje y compactación de los desechos sólidos al ser depositados en el frente de trabajo; así como, para la conformación del piso y talud, dando el nivel topográfico de acuerdo a cotas ya establecidas y preparar los desechos sólidos para su cobertura. Actividad que consiste en esparcir y compactar uniformemente el material de cobertura sobre los desechos sólidos, de modo que estos queden completamente cubiertos. El espesor del material de cubierta que se utiliza en las capa intermedias varía de 0.15 m. a 0.30 m. y la capa final generalmente es de 0.60 m. Las herramientas y accesorios mínimos requeridos en la operación del relleno sanitario son: desgarrador, cinturón de seguridad, asiento con suspensión, ventilador reversible, juego de herramientas, cilindro de inclinación de la hoja y protector en caso de vuelco. Los accesorios complementarios con que debe contar esta maquinaria para la operación de un relleno sanitario son: sistema de luces, gancho delantero para remolque, guarda del carter, guarda guía de carriles y protector del núcleo del radiador.
- b.- **Angledozer.** Este equipo al igual que en el bulldozer, consiste en una hoja de acero, montada al frente del tractor y susceptible de colocarse a diferentes alturas, por medio de un dispositivo hidráulico, así como de fijarse en distintos ángulos, quedando más o menos inclinada con respecto al eje longitudinal del tractor. Es por esto que para el angledozer, es posible empujar la tierra lateralmente, sin que sea necesario cambiar el sentido de la marcha, la hoja del angledozer es más larga que la del bulldozer, por lo que tiene ciertas ventajas sobre este. Es en general, una máquina de excavación preliminar y utilizada en el desplazamiento de tierras, para rellenos laterales en zanjas, caminos, canales etc.
- c.- **Empujadores.** Es un bulldozer o angledozer, cuya hoja a sido sustituida por una plancha o placa topadora redondeada, la plancha es de acero y va colocada al frente del tractor, al igual que la hoja de las máquinas antes mencionadas. Pueden ir montadas sobre orugas o sobre neumáticos, aunque para los segundos, los tractores tienen que ser más robustos. Estas máquinas están destinadas a aumentar la potencia en las motoescrepas y en cualquier otro equipo, mediante el empuje que se ejerce a través de la placa topadora.
- d.- **Compactador de residuos sólidos.** Este equipo está diseñado expresamente para operar en rellenos sanitarios. Esta formado por una hoja topadora, cabina de control de mandos y remolque con rodillo dentado. El tractor se desplaza sobre dos tambores cilíndricos dentados, resistentes a la abrasión, los cuales tienen la particularidad de desmenuzar el residuo, así como compactarlo. La hoja topadora permite extender el residuo en capas uniformes.

6.2.2.2 Cargadores.

Son máquinas exclusivas para la excavación, carga y descarga del material. Básicamente consiste de un cucharón adaptado en la parte delantera de cualquier tractor, ya sea de orugas o de llantas. El cucharón es una caja de construcción simple con una cuchilla de acero templado y con una hilera de dientes que sirven para la excavación en roca.

Su control y movimiento es a base de un sistema hidráulico. Entre los cucharones o herramientas que se tienen actualmente existen:

- a.- **Cucharón de empleo general.** Constan de planchas y refuerzos de acero tratados térmicamente para una mejor resistencia a la abrasión. Son de cuchillas reemplazables y adaptables a tractores tanto de orugas como de llantas.
- b.- **Cucharón para roca.** Cuentan con barras y zapatas reemplazables por el desgaste, la cuchilla en "V" truncada y los dientes del cucharón facilitan la penetración y la carga.
- c.- **Cucharón de descarga lateral.** Descarga hacia el frente o hacia los lados, se utiliza para la carga en poco espacio, en posición paralela con el vehículo del acarreo o para el relleno de zanjas.
- d.- **Cucharón de uso múltiple.** Para cargar, extraer la sobrecapa y despejar los escombros. Se utiliza también como hoja topadora, la fuerza de cierre de las mandíbulas es muy útil para mover tubos y troncos; los dientes opiativos ayudan en la excavación.
- e.- **Cucharón para demolición.** De acero de gran resistencia, carga desechos y escombros de forma irregular; cuando está cerrado, constituye una hoja para trabajos generales.
- f.- **Cucharón retroexcavadora.** También llamadas zanjadoras, es un equipo con bastidor, el cual soporta un motor diesel, que a la vez acciona el sistema hidráulico que mueve el brazo. Tiene 173 grados de rotación para retener la carga y excavar; se clasifican en tres clases:
 - Descarga Frontal:** Es el más usual, su acción es a base de desplazamientos cortos y rápidos, consiste de un cucharón y un tractor, el cual lleva al primero en su parte frontal.
 - Descarga Lateral.** Usuales en los lugares donde el espacio para la maniobra de descarga es muy reducido, evitando así la necesidad de girar o voltear el tractor.
 - Descarga Trasera.** El cucharón una vez lleno, se levanta completamente por encima del tractor y se descarga atrás de este. Después de descargar el cucharón, regresa a la posición inicial de excavación. Su uso principal en el relleno sanitario es para la carga, tanto del material de cobertura, como del material utilizado en el mantenimiento de caminos y en ocasiones, también se le emplea para la carga de residuos sólidos.

6.2.2.3 Motoconformadoras.

Sirven para el extendido, conformación y acabado de materiales, de gran diversidad en tipos y tamaños, y con un espacio que varía desde treinta hasta doscientos caballos de fuerza.

Consta de un bastidor compuesto por dos travesaños contraventeados, que en su parte trasera soportan al motor y a la cabina del motor y en su parte delantera, convergen hasta formar una viga sencilla y curva, para teminar sobre el eje frontal de las llantas; la cuchilla va provista en sus bordos laterales, de placas intercambiables y

soportada al bastidor mediante un anillo, que permite movimientos de rotación con giros horizontales y verticales, así como desplazamientos en forma lateral. La principal actividad dentro del relleno sanitario de esta máquina es para el mantenimiento de las vías de acceso y caminos interiores.

6.2.2.4 Compactadores.

Diseñado para la compactación y confinamiento de materiales sueltos, mediante el repetido tránsito de los rodillos sobre la misma franja y al confinamiento por golpeo, que se logra por medio del efecto vibratorio de las ruedas o rodillos de la máquina. Se utiliza principalmente para la compactación del material de cobertura, así como para el mantenimiento de las vías de acceso. Dependiendo de las características propias de cada suelo se dividen en :

- a.- Aplanadora de tres rodillos lisos.
- b.- Compactadora Tandem.
- c.- Compactadora portátil.
- d.- Aplanadora para zanjas.
- e.- Rodillo vibrador liso.
- f.- Rodillo de zapata y reja.
- g.- Rodillo Pata de Cabra.
- h.- Compactadora de llantas neumáticas.
- i.- Compactador Duo-Pactor.

De los anteriormente citados, los más utilizados en el relleno sanitario son los vibrocompactadores, el compactador pata de cabra y el compactador de neumáticos.

El compactador pata de cabra tiene una serie de patas de acero, que trabajan apisonando el material de fondo, logrando así, una confinación profunda. Básicamente son iguales a las del tipo vibratorio de rodillo liso, pero con la diferencia de que su tambor o rodillo va equipado con patas salientes, repartidas en toda su superficie. La longitud y la forma de los salientes apisonadores, varía con el tipo de rodillo. La longitud fluctúa entre 18 y 23 cm. y su forma puede ser de tronco, cono o piramidal.

Los compactadores de neumáticos, están integrados por trenes de dos o más neumáticos, montados en un chasis, cuya forma de artesa, permite cargarse para aumentar su peso. También los hay de cuatro neumáticos gigantes.

6.2.2.5 Pipas.

Es un equipo requerido para el transporte de agua a través de grandes distancias, consiste de un camión, en cuyo bastidor o parte trasera del chasis, va provisto de un tanque cilíndrico de almacenamiento, que normalmente, lleva acoplada una bomba de succión para efectuar la carga y descarga del agua.

Se utilizan para regar los caminos interiores y el frente de trabajo, para disminuir el polvo provocado por el paso continuo de los vehículos, así como para el suministro de agua en oficinas y para la maquinaria.

6.2.3 Requerimiento de maquinaria

En nuestro país no se cuenta con datos referentes al rendimiento de maquinaria utilizada en la operación de rellenos sanitarios, a excepción de la información proporcionada por el Ing. Zepeda Porras, por lo que para determinar el número de maquinaria y equipo a utilizar en este relleno sanitario, se tomó en cuenta el rendimiento propuesto por el Ing. Zepeda de 75 tons/hora para un tractor D8 Caterpillar o similar (D155 Komatsu o TD25 International).

Por lo tanto, si un tractor puede disponer 600 toneladas en una jornada de 8 horas, para 4000 toneladas/día se requieren 7 tractores D8 o similares. Se recomienda contar con un tractor de repuesto para emergencias y para el desbaste de material de cobertura. Por lo anterior la maquinaria a utilizar en el relleno sanitario será la siguiente:

CANTIDAD	EQUIPO	TIPO	FUNCION
8	TRACTOR SOBRE ORUGAS	D8 O SIMILAR	TARDEJE, COMPACTACION Y COBERTURA
1	ROTORCONFORMADORA	G1 600R-1 O SIMILAR	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS
1	VIBROCOMPACTADOR	VAP-70 O SIMILAR	COMPACTACION DE MATERIAL
1	CARGADOR FRONTAL	WT20-2 O SIMILAR	CARGA DEL MATERIAL DE COBERTURA
1	RETROEXCAVADORA	W104-2 O SIMILAR	CONSTRUCCION Y LIMPIEZA DE DRENAJE
4	CAMIONES DE VOLTEO	7-8 AD	ACARRIO DEL MATERIAL DE COBERTURA
1	PIPA	20 AB	ABASTECIMIENTO Y RIEGO

A continuación se presenta una tabla comparativa en donde se presenta la maquinaria propuesta en las marcas KOMATSU, Caterpillar e International.

Bulldozer.

MODELO	D8 A-21	TD-40B	TD-200LT
POTENCIA (HP/700mm)	225/2000	520/2100	225/2100
PESO EN OPERACION (KQ)	22 630.0	53730.0	24600
ROTOR-MODELO	KOMATSU S6D 125	CUMMINS KTA-19C	CUMMINS LTA-10C
NO. DE CILINDROS	6.0	6.0	6.0
CILINDRADA DEL PISTON (LTS)	11.04	18.85	10.0
SISTEMA ELECTRICO (VOLTS)	24.0	24.0	24.0
TANQUE DE COMBUSTIBLE (LTS)	450.0	1135.0	420
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO (LTS)	79.0	102.0	59.6
LUBRICACION (LTS)		57.0	34.1
CUCHARON	SEMI U ELEV. HIDRAULICA	SEMI U ELEV. HIDRAULICA	SEMI U ELEV. HIDRAULICA
CAPACIDAD DEL CUCHARON (M ³)	6.65	9.4	6.19
ALTURA MAXIMA (M)	1.43	1.79	1.49
INCLINACION MAXIMA (M)	7.55	1.00	0.67
LONGITUD MAXIMA (M)	3.86	4.30	4.58

ARDELO	PAYLOADER 570	HULLCOOPER TD-2561	PAYLOADER 580
POTENCIA (HP/RP/A)	590	320/700	1100
PESO EN OPERACION (KG)	63048.00	33300	
MOTOR/ARDELO	CUMMINS 17-17-19-C	CUMMINS KTA-19-C	CUMMINS KTA-38-C
NO. DE CILINDROS	12.0	6.0	12.0
CILINDRAJE DEL PISTON (LTS)	28.0	18.8	37.8
SISTEMA ELECTRICO (VOLTS)	24.0	24.0	24.0
TANQUE DE COMBUSTIBLE (LTS)	450.0	643.5	1997.0
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	79.0	102.2	355.8
LUBRICACION (LTS)		52.0	
CUCHARON TIPO	SEMI U ELEV. HIDRAULICA	SEMI U ELEV. HIDRAULICA	
CAPACIDAD DEL CUCHARON (M ³)	9.18	15.7	
ALTURA MAXIMA (M)		1.65	
INCLINACION MAXIMA (M)		1.12	

Retroexcavadoras.

ARDELO	PC-1000-1	PC-100-5
POTENCIA (HP/RP/A)	808.0	276.0
PESO EN OPERACION (KG)	162.0	4230
MOTOR/ARDELO	KOMATSU SA6D140	KOMATSU SD125
ANCHO TOTAL (M)	6.02	3.43
ALTURA TOTAL (M)	6.75	4.40
LONGITUD DE OREGIA (M)	7.44	5.03
CALIBRE DE OREGIA (M)	4.33	2.74
CAPACIDAD DE CUCHARON (M ³)	8.0	2.6
FUERZA DE EMPUJE DE BRAZO (KG)	73000	29100

Motoconformadoras.

MODELO	DRESSER 850	DRESSER 830
POTENCIA (HP/RP/A)	166/2500	144/2500
PESO EN OPERACION (KG)	3682	12600
MOTOR/ARDELO	DRESSER D 505 T	DRESSER D 359 T
NO. DE CILINDROS	6.0	6.0
CILINDRAJE DEL PISTON (LTS)	8.27	5.88
SISTEMA ELECTRICO (VOLTS)	12.0	12.0
ELEVACION MAXIMA DE LA HOJA SOBRE EL SUELO (M)	0.52	-0.93
ANGULO DE CORTE (GRADOS)	90.0	39.0
ALCANCE MAXIMO FUERA DE LAS LLANTAS TRASERAS DERECHA	1.93	1.96
ALCANCE MAXIMO FUERA DE LAS LLANTAS TRASERAS IZQUIERDA	2.00	2.04
VELOCIDAD MAXIMA DE AVANCE (KM/HR)	42.2	40.6
VELOCIDAD MAXIMA EN REVERSA (KM/HR)	24.0	23.0

6.2.4 Control.

El encargado de la caseta llevará un control de los vehículos que accesen al sitio y será el responsable de verificar el tipo de desecho sólido que ingrese al sitio. Estos encargados deberán ser entrenados para familiarizarlos con los tipos de desechos permitidos y tendrán la autoridad para rechazar el acceso de cualquier vehículo que transporte desechos inaceptables o cualquier otro que pueda considerarse como tóxico (desechos industriales y biomédicos).

Se llevará un control del volumen que pase a través de la caseta. Además, los resultados del monitoreo y de actividades de inspección, serán conservados en el sitio para la posterior revisión por parte de todo el personal autorizado para hacerlo. Como mínimo, el responsable de la operación del sitio, deberá tener la siguiente información verificable en cualquier momento para la inspección cuatrimestral por parte de un ingeniero independiente, es decir, no relacionado de ninguna forma con la operación:

- a.- Reportes de la limpieza en la periferia del sitio y zona de amortiguamiento.
- b.- Volúmenes y tipo de desechos aceptados.
- c.- Resultados de monitoreo de gas y calidad de agua.
- d.- Desechos especiales aceptados.
- e.- Documentación sobre el control de calidad.
- f.- Documentación de colección de lixiviado y disposición del mismo.
- g.- Copia de todos los reportes anuales.
- h.- Registro de todos los números de placas de los vehículos descargando.

En cualquier momento toda la información anteriormente mencionada, quedará a disposición de cualquier persona responsable o involucrada en la operación del centro de aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos de Ixtapaluca.

6.2.5 Seguridad.

La seguridad en el sitio será responsabilidad del residente. Las medidas normales de seguridad, serán observadas mientras haya gente cerca o se esté operando el equipo. Cuando menos dos empleados en el sitio, serán entrenados en técnicas de primeros auxilios. Se deberá tener en todo momento en la oficina, un botiquín de primeros auxilios bien equipado. Se deberá contar con todos los teléfonos de emergencia, incluyendo la policía local, bomberos, el hospital más cercano y las oficinas municipales.

El acceso no autorizado al área, se preveerá mediante la colocación de una cerca en todo el perímetro del área como se señaló en el punto 5.4.3.

Todos los vehículos que lleguen serán detenidos, revisados y pesados en el área de caseta y báscula. El acomodador deberá checar las operaciones de descarga en el frente de trabajo activo.

El responsable de la operación, no permitirá el acceso de ninguna cantidad de desecho que este considerada como tóxica.

6.2.6 Servicios.

Agua potable y no potable es requerida en el sitio y deberá ser suministrada para la correcta operación del mismo. Se requiere agua para servicios y dentro de la operación y construcción, para la compactación de la interfase impermeable, del material de cubierta y para control de polvos. La cantidad de agua podrá variar, dependiendo de la actividad que se esté realizando en el sitio y en función de la humedad contenida en los materiales de cubierta e interfase. Si es posible el almacenaje del agua procedente del escurrimiento superficial, esta deberá ser utilizada en el sitio.

Las necesidades sanitarias de los empleados, deberán satisfacerse mediante las instalaciones adecuadas en el área de mantenimiento. Es conveniente en algunos casos, la colocación de servicios portátiles cerca de la oficina administrativa o cerca de los frentes de trabajo.

Se deberá proveer el servicio de energía eléctrica, para todas las instalaciones administrativas y para la planta de recuperación de subproductos, se contemplará también la instalación de luminarias que permitan la operación durante la noche, para este fin, se recomienda el tener un generador que pueda ser montado sobre un vehículo para proporcionar iluminación en caso de operaciones nocturnas.

6.2.7 Báscula.

Como actividad importante para llevar a cabo un adecuado control sobre la cantidad de residuos sólidos que ingresarán al sitio, es necesario efectuar un registro del peso de los vehículos de recolección que arriban y salen, para ello se colocarán dos básculas de piso, una para la entrada y otra para la salida.

La instalación de estas básculas deberá efectuarse con base en las especificaciones que recomiendan los fabricantes. Las básculas deben poseer las siguientes características:

- a.- Deben tener capacidad para pesar hasta 70 toneladas, previendo que en un momento dado ingresen vehículos de transferencia.
- b.- La longitud mínima debe ser de 15.0 metros.
- c.- Se recomienda que sean del tipo mecánico por la factibilidad y economía de su mantenimiento.

Se instalará en el área de instalaciones y después de la caseta de control, una báscula con capacidad para 70 tons. que permita el pesaje de todos los vehículos recolectores que ingresen y otra báscula de características iguales, será colocada en la salida con el fin de pesar los camiones vacíos.

Para el presente proyecto se especifican dos básculas con los siguientes datos:

Báscula para camiones normal.	
Serie	RCC-VR.
Marca	Revuelta.
Modelo	RCC-1875-VR.
Capacidad	75995 x 5 kg.

Plataforma	18.00 x 3.00 m. Dispuesta para cubierta de concreto de 152 mm. (6").
Diseño	Vincent.

6.2.8 Metodología para efectuar la operación.

La operación en el relleno sanitario se debe efectuar con base en el método elegido y en la etapa en donde se esté llevando dicha operación. A continuación se describe la metodología a emplear en cada método de operación.

6.2.8.1 Método de zanja o trinchera.

El desarrollo de las operaciones de empuje, acomodo y compactación de residuos sólidos, mediante el método de zanja debe efectuarse de la manera siguiente:

- a.- Los tractores deben de empujar los desechos en capas de 0.60 a 0.80 m. de arriba hacia abajo hasta alcanzar el nivel deseado.
- b.- Posteriormente los residuos deben ser bandeados como mínimo tres veces, para lograr una mayor compactación y prepararlos para su cobertura.
- c.- Ya compactados los residuos sólidos, estos deben ser cubiertos con el material extraído del mismo sitio, en capas de 0.15 m.
- d.- El material de cobertura puede ser acomodado por los mismos tractores empleados en el empuje y compactación de residuos sólidos. La compactación final la debe efectuar un vibrocompactador.
- e.- Se recomienda utilizar una pipa de agua para humedecer el material de cubierta y lograr una mayor compactación.
- f.- Las operaciones de compactación y cobertura de residuos sólidos, son recomendables para llevarse a cabo, al iniciar y finalizar operaciones.

6.2.8.2 Método de área.

En este método, los bulldozer acomodan los residuos sólidos de abajo hacia arriba, al mismo tiempo que los va compactando sobre el talud formando capas de 0.60 a 0.80 m, hasta alcanzar la altura de la celda. La compactación y cobertura de los residuos sólidos, se lleva a cabo de igual forma que en el método de zanja.

6.3 Control de Afectaciones.

6.3.1 Control de Desechos.

La zona de amortiguamiento deberá ser regularmente limpiada de los desechos que incidentalmente se encuentren en ella. Dentro de la operación del sitio se presentarán días de viento, por lo que se implementarán las siguientes medidas de control, ya sea en forma individual o conjunta:

- a.- *Aplicación y mantenimiento de una capa de 0.15 m. de cubierta diaria sobre la capa de desechos, al final de la operación del día. De igual manera, esta cubierta se tenderá sobre los desechos, tan pronto como sea posible, en aquellos días en que el viento sea un problema de primera instancia.*
- b.- *Se limitarán las dimensiones del frente de trabajo durante los períodos de viento.*
- c.- *Se utilizará una cerca móvil para contener los desechos durante los días de viento.*
- d.- *La operación se detendrá cuando se presenten altas velocidades de viento.*

La aplicación del suelo de cubierta y el control de las dimensiones del frente de trabajo, son los dos aspectos más importantes a minimizar para evitar el esparcimiento de los desechos.

En el caso de que haya escape de desechos del frente de trabajo por cualquier razón, estos deberán ser recolectados y regresados al frente de trabajo por el acomodador o algún empleado temporal en caso de ser necesario.

6.3.2 Olor.

Los olores generados en los sitios de disposición final, son producto de la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos en gran porcentaje. Se pueden presentar por el grado de descomposición que los residuos sólidos traen consigo al momento de ser dispuestos o por la biodegradación que sufren en el sitio de disposición final. El biogas que se genera al presentarse la descomposición contiene sustancias que provocan los olores, como los mercaptanos y el ácido sulfhídrico.

En el caso del sitio de disposición final, se reducirá la presencia de olores, debido a que se tendrá la capa de cubierta al término de las operaciones diarias, reduciéndose el área de influencia a menos de 30.0 m. alrededor del área de trabajo, aunque se presentarán variaciones con las distintas épocas del año.

6.3.3 Polvos.

El polvo y las partículas originadas por viento, tránsito vehicular y operación del equipo, serán controlados por el jefe de operación y construcción. Los caminos de acceso serán regados según las necesidades de minimizar la generación de polvos. Durante los períodos de sequías, el operador tendrá la opción de usar agua o cloruro de calcio, para reducir la generación de polvo en los caminos temporales y capas de cubierta. El tránsito de vehículos en todos los caminos interiores y áreas afectadas no excederán en 30 km/hr como máximo. Esto deberá señalizarse.

Las áreas que sean abandonadas temporalmente o clausuradas, deberán ser revegetadas lo más pronto posible, desde el punto de vista de generación de polvos, este período de revegetación no excederá de 6 meses.

6.3.4 Fuego y explosiones.

No se permitirá la quema de desechos dentro del sitio. Los trabajadores serán entrenados específicamente para detectar problemas potenciales de fuego, asegurándose de que ningún material combustible sea depositado en el sitio. Además todos los operadores de maquinaria, poseerán extinguidores en sus equipos para controlar pequeños fuegos que no requieran excavación y cubierta.

En el caso de presentarse algún fuego, este se extinguirá cubriéndolo con material arcilloso. El operador no usará agua como medida de control de un fuego, a menos que los desechos puedan ser retirados del área del relleno y el agua pueda ser drenada fuera de este.

6.3.5 Control de Biogas.

El relleno sanitario ha sido diseñado para que la disposición de los desechos, se haga sobre una capa de arcilla compactada que se encuentra sobre el nivel piezométrico. Este método de relleno ayuda a minimizar la generación de gas metano. La migración del gas debajo de la superficie del terreno natural será mínima, por el sistema de impermeabilización utilizado. Se instalará un sistema de extracción de gas según sea el avance de la construcción de la cubierta final.

El monitoreo del gas en el relleno se hará con el monitoreo del lixiviado. Se instalarán 28 pozos de monitoreo de gas en la periferia del sitio.

6.3.6 Ruido.

Para desarrollar la evaluación de los niveles de ruido, se llevan a cabo una serie de mediciones en distintos puntos del sitio de disposición final y sus áreas aledañas, utilizando un sonómetro y en cada punto se toman por lo menos, tres lecturas a fin de establecer una media que sea un valor confiable de la intensidad del ruido en cada punto.

De la serie de evaluaciones realizadas, se pudo observar que los valores obtenidos exceden en promedio el valor establecido por las normas de emisión de ruido (65 dB), lo que es debido, al intenso flujo vehicular sobre la carretera Federal a Puebla, por lo que se puede decir que los vehículos recolectores rebasan la norma en una mínima parte. En el punto de acceso al sitio, se puede esperar un valor de 70 dB debido al tránsito de los vehículos recolectores.

6.3.7 Operación en época de lluvia.

Durante la época de lluvias, el operador seleccionará de acuerdo a su criterio, un área dentro del sitio, en la cual los caminos de acceso sean mínimamente afectados por la lluvia y el escurrimiento superficial. Deberá reducirse durante este período, la dimensión del frente de trabajo a la menor área posible, se cubrirán y compactarán los desechos con la mayor rapidez posible.

Las constantes lluvias provocan que el terreno se vuelva fangoso, provocando problemas en el tránsito de los vehículos, que en ocasiones, no pueden llegar hasta el frente de trabajo. Lo anterior provoca que los residuos sólidos no puedan ser cubiertos. Para disminuir estas situaciones se proponen las siguientes recomendaciones:

- a.- Para la desviación de las aguas pluviales, deben de construirse los drenajes propuestos en este estudio, los cuales deben de tener un mantenimiento periódico.*
- b.- En caso de que se presente una precipitación extraordinaria, la cual imposibilite el acceso de los vehículos de recolección hasta el frente de trabajo, debe prepararse durante la época de estiaje, una zona para recibir los residuos, en situaciones como esta.*

- c.- *Es recomendable que la superficie de esta celda de emergencia, sea construida con material de demolición (cascajo) o bien con tezontle tipo greña.*

6.3.8 Interrupción de la Operación Normal.

La operación normal puede ser interrumpida por diferentes situaciones; causas naturales como viento o inclemencias del tiempo, fallas mecánicas en la maquinaria y situaciones de emergencia. Para el caso de interrupciones por causas naturales, se esperará a que estas mejoren, en el caso de la maquinaria, tratará de suplirse esta, con alguna que esté en buenas condiciones, mientras se repara la falla, en el caso de situaciones de emergencia, se esperará hasta que la autoridad apropiada determine o no la reapertura del sitio.

6.3.9 Bardeado, limpieza y vigilancia.

El centro de aprovechamiento y disposición final debe estar bardeado a su alrededor con una alambrada como se señala anteriormente, esto sirve para restringir la entrada de animales, personas y vehículos a este sitio. Esta cerca debe ser constantemente vigilada para evitar posibles daños. Asimismo, también se le debe dar una constante limpieza.

Se debe contar con personal que se dedique a la limpieza tanto en caminos de acceso, caminos interiores, área perimetral y dentro del sitio. La vigilancia exterior debe corresponder a policías auxiliares que se encarguen de cuidar y vigilar la obra durante el día y la noche con la finalidad de que se respeten las normas de seguridad establecidas. En el interior será responsabilidad del residente general.

6.4 Manual de operación.

Todas las actividades vinculadas al sistema operacional de un relleno sanitario, deben guardar una programación y control para que su desarrollo sea el óptimo y que ello se traduzca, en un manejo adecuado exento de complicaciones y retrasos en la disposición final de residuos sólidos municipales; considerando las medidas preventivas en caso de algún incidente fuera de la operación normal, aplicando de inmediato las acciones implementadas para su control.

Por lo anterior expuesto, se hace necesario el establecer los procedimientos y directrices que regirán las actividades para lograr los objetivos planteados, de ahí que se haga necesario plasmar en un manual, los criterios, planteamientos, consideraciones y acciones a desarrollar.

En el manual de operaciones se consideran las actividades que intervienen en su manejo, tales como preparación de sitio, sistemas de protección y control, preliminares, disposición de desechos, coberturas, inspecciones, etc. Enfatizando operaciones básicas como son la depositación, acomodo, compactación y cobertura.

6.4.1 Preliminares

Dentro de los aspectos de preparación del sitio, este se sectoriza en dos zonas, la inferior que será la primera que se opere y la superior que se trabajará con la participación de empresas concesionadas para la explotación de agregados pétreos y en la cual, la operación se realizará en una segunda etapa.

La preparación del sitio se iniciará, adecuando las condiciones actuales de la zona inferior, en la cual será necesario proseguir con los trabajos de excavación, a fin de obtener los niveles de desplante proyectados, estos trabajos se enfocarán a conformar el sitio de acuerdo al proyecto de excavación para lograr la topografía inicial, previendo la preparación de caminos, desvío de agua pluvial, así como canalización de escurrimientos de acuerdo a lo especificado, que considera un desfogue hacia los encauzamientos naturales.

Se dará inicio al mejoramiento del camino de acceso, para comenzar con los trabajos de drenaje del sitio, construcción de base de desplante del relleno, de acuerdo a lo especificado en el inciso de impermeabilización. Se darán las pendientes requeridas y simultáneamente se estructurarán los caminos principales.

Una vez formados los caminos, se iniciará la colocación de la geomembrana y su protección la cual se realizará por etapas, el propósito de ello es preparar una macrocelda exclusivamente, para evitar el daño del material (geomembrana) por efecto de tránsito de maquinaria en el resto de las celdas.

Se dará inicio a estos trabajos en la macrocelda número 1 (etapa 1) y se continuará en orden progresivo a medida que se desarrolla la disposición en esa celda, con lo cual, iniciaremos la impermeabilización de la macrocelda 2, una vez que se esté concluyendo con la depositación de la primer capa en la celda 1, siguiendo esta secuencia para el resto de los frentes.

Para el caso de la zona superior, los trabajos de excavaciones para lograr la configuración topográfica especificada, en los aspectos de desmonte, extracción de tacones, movimiento de tierras, excavación y cargas, transporte, descarga y esparcimiento, formación de cortes y taludes y construcción de drenes en bermas, serán ejecutados por las empresas canteras de acuerdo a sus procedimientos, equipos y programas de ataque, requiriéndose sea entregado el sitio, con la topografía planteada y obras de desvío especificadas, por lo cual se recomienda ejecutar una supervisión durante el desarrollo de estas actividades a fin de que las adecuaciones sean las menores.

Para lograr la impermeabilización de la zona superior, se sectorizará esta actividad al trabajo individual por macrocelda, en secuencia numérica ascendente, la formación del desfogue se hará lateral al camino de ingreso inferior, a fin de que por el encauzamiento de la macrocelda 3 superior se drene el agua pluvial fuera del relleno.

Simultáneamente con la preparación del nivel de desplante del sitio, se dará inicio a los trabajos de obras hidráulicas de protección para la zona superior, las cuales consisten en la construcción de cuerpos de caminos principales superiores en zona II, que actuarán como barreras para contener los escurrimientos, drenándolos en forma lateral hacia los encauzamientos naturales.

6.4.2 Operación.

6.4.2.1 Zona inferior (Zona I).

Una vez realizados los trabajos de preparación de sitio, formación de caminos, señalización, drenajes e impermeabilización, estamos en condiciones de iniciar con las actividades referentes a la disposición de desechos, considerando la construcción y establecimiento de las áreas administrativas, de control, mantenimiento y vigilancia para proveer de la infraestructura que requiere el sitio, en su organización para la disposición de residuos sólidos municipales.

Se inicia el procedimiento, con el control de ingreso de recolectores al sitio de disposición, debiendo llevar un registro detallado de los vehículos y personas que entran al sitio, debiéndose registrar la hora de entrada y salida, tipo de vehículo, procedencia y placas, debiendo pasar al área de básculas a registrar el peso del vehículo tanto a la entrada como a la salida y posteriormente dirigirse al área de tiro.

La información recabada, se procesará estadísticamente, así se tendrá, conocimiento real de las condiciones de operación que permitan retroalimentar y ajustar la programación y calendarización, así como afinar los requerimientos de materiales, personal y maquinaria.

El horario de operación del sitio se definirá en función del sistema de recolección que se tenga, indicándolo en forma visible a la entrada del relleno. Se propone de 7:00 a 20:00 horas.

Se prohibirá el acceso a personas ajenas o a vehículos no autorizados, aceptando únicamente desechos sólidos municipales. Una vez registrado y autorizado el acceso a los vehículos y después de haber sido pesado, se le asignará el área de tiro donde descargará.

La depositación de desechos se iniciará en la macrocelda número 1, donde los vehículos de recolección tendrán el área preparada para su descarga, en ese sitio se asignará personal que indicará lugares convenientes para su acomodo en el frente de trabajo, donde se iniciará la descarga que puede ser ejecutada en forma manual o mecanizada.

Los tiempos de descarga fueron analizados según el tipo de vehículos e histogramas de llegadas, dentro del inciso de diseño de frente de trabajo, por lo cual su dimensionamiento garantiza el trabajo, sin problemas de espacio para la descarga y maniobras, sobre todo en las horas pico, evitando con ello encolamientos.

Las celdas se conformarán mediante el vertido de los desechos desde los caminos de acceso hacia el fondo de las macroceldas preparadas, empleando el método de trinchera. La descarga de desechos se logrará al entrar los camiones en reversa al frente de trabajo y descargar, no debiendo permanecer en la zona de maniobra más tiempo del necesario, los tractores situados en la parte inferior empujarán los desechos a fin de esparcirlos y conformar la celda, tomando como respaldo el talud del camino previamente impermeabilizado y creando capas de 0.60 a 0.80 m., se bandeará el material y la compactación se realizará en forma ordenada, mediante el paso de equipo mecanizado de tres a cuatro veces sobre los desechos. Esta operación se repite hasta alcanzar la altura de celda proyectada que es de 3.00 metros.

Ya en estado compacto, se deberá cubrir con el material que conforma la toba superficial, en capas de 15 cm. y ser esparcido en el área expuesta de trabajo, tratando de lograr una buena uniformidad en su tendido y generando una pendiente en el material de cobertura para drenar el agua hacia las zonas de escurrimiento preparadas.

El procedimiento de compactación de la capa de cobertura, se efectuará mediante el empleo de un compactador pata de cabra, ya que por sus puntas de tipo trapezoidal, permite la total penetración en el material suelto.

Para la compactación eficiente de los residuos, se recomienda el empleo de un tractor con peso no menor de 35 tons. que genere un peso volumétrico aproximado de 850 kg/m^3 , lo cual se logrará con 3 ó 4 pasadas de equipo.

Siguiendo esta forma de depositación, creamos una plataforma estable que nos permitirá ir avanzando hacia el centro de la celda con los vehículos de recolección y con ello, progresar en el llenado de la macrocelda, permitiéndonos crear circuitos al intersectar estas zonas con el camino perimetral.

Esta secuencia se repetirá para el llenado de las siguientes macroceldas, las cuales seguirán su orden consecutivo. El sentido de depositación será norte a sur. Se repetirá esta secuencia hasta alcanzar las fases indicadas en los planos de configuración progresiva.

La secuencia de llenado para la zona I se limita por un aspecto que es el de la pendiente máxima del camino de acceso, debiendo finalizar nuestra depositación hasta alcanzar la cota 2530, configuración que se define en planos.

6.4.2.2 Zona Superior (Zona II).

La depositación continuará con el mismo procedimiento que para la zona I hasta alcanzar la cota 2530 en la zona II, estando en posibilidad de continuar con la disposición en la zona I, siendo factible configurar la topografía final hasta la cota 2540 como se muestra en los planos; y complementar la disposición a partir del camino central superior hasta finalizar con el llenado.

6.4.2.3 Zona Superior II

El procedimiento para la disposición de desechos es similar al de la zona I, basándose en el principio de ir progresando en altura a partir del fondo del relleno, en una secuencia de tres macroceldas.

Al igual que en el sitio inferior y debido a la gran diferencia de elevaciones entre el fondo del relleno y las cotas superiores que llega a ser del orden de 160 metros, se planea que el llenado se realice en dos fases.

La primera considera como acceso el camino número 2, el cual nos ingresa al fondo del relleno y permitirá llenar las tres celdas según la configuración mostrada en planos, hasta la cota 3560, (siendo factible a partir de ese momento reiniciar el llenado en la zona I).

Para continuar la disposición de desechos en la zona II en la denominada fase 2, será necesario ingresar por el camino de acceso 3, el cual producto de la depositación anterior reduce su diferencia de nivel y nos posibilita a ingresar los vehículos con una pendiente muy aceptable.

Se dará seguimiento a la depositación, hasta alcanzar los niveles de proyecto considerados como topografía final.

Se considera una capa de 60 cm. (compacta) como sello final del relleno sanitario, protegiéndola con una cobertura vegetal y geotextiles que nos prevengan de daños erosivos, se construirán las cunetas y drenes especificados, a fin de limitar la acción destructiva del agua sobre la superficie final, canalizando esa precipitación hacia los drenes generales fuera del sitio, recomendándose su mantenimiento para evitar azolvamiento.

6.4.3 Operación en temporadas de lluvias.

El efecto de precipitaciones pluviales constantes durante la operación de un relleno sanitario provoca una serie de problemas que tienden a dificultar las actividades, retrasando y complicando la operación. Por esta razón es importante considerar los efectos de estas lluvias y estar preparados para poder hacerles frente.

En general el proyecto se ha conceptualizado de tal forma de considerar este efecto y lograr operar eficientemente en temporada de lluvias, a lo cual se han instrumentado las provisiones necesarias, debiéndose únicamente de reforzar los conceptos que a continuación se mencionan; sin necesidad de cambiar la forma y los procedimientos planteados para la operación normal. Debido a las características del terreno en las cotas inferiores de alta permeabilidad y al material constituyente de los caminos; el efecto de presencia de fango en zonas de trabajo y acceso se reduce en forma substancial, sin embargo, se considera un cuidado y mantenimiento más constante de estas zonas, así como la formación de bancos de material de demolición con el propósito de reforzar caminos y frentes de trabajo.

También se considera la preparación de áreas de descarga próximos al acceso a fin de disminuir los recorridos internos. En cuanto al suministro y colocación de material de cobertura y dada su proximidad de extracción, es posible la creación de bancos de material próximos al sitio de descarga, protegiendo con lonas el material.

Un punto que consideramos importante es el cuidado y mantenimiento de las obras hidráulicas de drenaje, en especial cunetas y alcantarillas, esto evitará obstrucciones o daños que limiten sus capacidades proyectadas.

Los caminos cuentan con una protección de geosintéticos en cunetas y taludes que los protegen del efecto de socavación y reblandecimiento de terracerías, a las proporciones adecuadas ante el efecto de lluvias, contribuyendo en forma porcentual mayor las gravas constituyentes de la brecha con una granulometría más uniforme.

7. MONITOREO DEL SITIO.

Los resultados de los programas de monitoreo de lixiviado, agua subterránea y biogas, serán interpretados y a partir de esto, se determinará cualquier medida de mitigación que sea conveniente realizar para el control de cada uno de los agentes que afectan al medio ambiente.

7.1 Monitoreo de lixiviado.

En el centro de aprovechamiento y disposición final de Ixtapaluca se espera muy poca generación de lixiviado, se puede decir esto como resultado de lo siguiente:

- a.- *La pequeña cantidad de líquidos que puedan introducirse dentro del relleno. Se realizan los cálculos en base al programa HELP.*
- b.- *Procedimientos de control para evitar el acceso al sitio de desechos líquidos.*
- c.- *Obras de control del agua superficial, desviando el escurrimiento hacia afuera del sitio.*
- d.- *Mantenimiento del área mínima expuesta.*
- e.- *Colocación de la cubierta diaria, para prevenir la entrada de precipitación en el sitio.*

El lixiviado generado será monitoreado en las fosas de captación. El sistema consistirá de un tubo de 12" de diámetro de PVC para cada una de las fosas, que se extenderá desde la base de la fosa, hasta una altura mayor a la superficie final del relleno. El sistema de extracción de lixiviado será construido cuando sean iniciadas e impermeabilizadas cada una de las etapas. El monitoreo del sistema de colección de lixiviado, se realizará cuando menos cada dos meses, se tomarán muestras del lixiviado para su análisis y determinar el proceso de tratamiento, esto formará parte del programa de monitoreo.

El lixiviado será bombeado, de la fosa de colección a una pipa y de aquí transportado a la laguna de evaporación. Durante la época de lluvias, que equivale al aumento de producción de lixiviado, se efectuarán los arreglos necesarios para disponer el exceso de lixiviado fuera del sitio hacia una planta adecuada de tratamiento en caso de ser necesario.

Se tenderá una capa impermeable de cuando menos 0.30 m. en la base de la fosa de colección antes de la colocación del dren de grava y el tubo de extracción. Los detalles sobre el sistema se muestran en los planos de detalles.

Se colocará un dren de grava controlada en la fosa de colección y una fibra sintética del tipo Geotextil Polyfelt TS700 para evitar la entrada de finos al dren, esto para facilitar el escurrimiento hacia el tubo de extracción y para proteger el sistema.

7.2 Monitoreo del acuífero.

Los estudios geohidrológicos realizados, muestran las siguientes condiciones existentes en el sitio.

- a.- El área donde se construirá el centro de aprovechamiento y disposición final, se ubica al oriente de la Cuenca de México.
- b.- Se identificaron cinco unidades hidrogeológicas en la región. Los estudios realizados indican que el acuífero significativo se encuentra en la unidad III, a una profundidad de 200 m. aproximadamente debajo del sitio del relleno.
- c.- Se realizaron seis sondeos a una profundidad promedio de 65 m. Los materiales encontrados son principalmente aluvión, toba y brecha volcánica, subyaciéndose en ese orden. La descripción litológica y las pruebas de permeabilidad indican permeabilidades variables para los diferentes estratos.
- d.- En ninguno de los sondeos se encontró saturación del material.

Deberá realizarse el monitoreo a diferentes profundidades. La primera en los materiales superficiales no saturados, los líquidos percolados a estos materiales viajarán hacia abajo y retardarán su infiltración, si encuentran lentes de material saturado y podrá producirse un movimiento lateral hacia la periferia del sitio.

Esta zona podrá monitorearse usando pozos de detección de saturación que serán instalados en los límites del relleno. Los pozos de detección de saturación recibirán cualquier líquido percolado que viaje horizontalmente en el relleno y hacia fuera de él. Se llevarán registros de los niveles piezométricos para identificar la presencia de estos líquidos.

Se construirán 28 pozos de este tipo y se localizarán a aproximadamente 100 m. uno de otro y con una profundidad promedio de 40 m., con esta distancia entre pozos, se logrará identificar cualquier migración lateral.

Se construirá un segundo grupo de pozos hacia los materiales saturados para monitorear cualquier posible impacto sobre el acuífero. Estos materiales saturados están relacionados con la unidad geohidrológica III, sin embargo se pueden presentar otro tipo de materiales bajo el sitio.

Los pozos A-1, A-2 y A-3 deberán instalarse primero y su localización y elevación deberá ser definida por un levantamiento. La ubicación para estos pozos fue basada en el comportamiento hidrogeológico para la unidad III, por lo que el pozo A-1, cerca del casco de la Hacienda del rancho Loma Ancha, cerca del lugar donde se realizó el SEV-2, se infiere a una profundidad de 400 m. y deberá monitorear el gradiente aguas arriba, es decir, antes de que las aguas subterráneas circulen bajo el sitio, se definirá a partir del pozo la estratigrafía en la zona. El pozo A-2, se localizará dentro del bloque en el que se desarrollará la disposición final, aproximadamente en la cota 2,440 msnm, se infiere a una profundidad de 300 m. y deberá monitorear el acuífero aguas abajo, es decir, después de que el flujo haya circulado bajo el sitio. El pozo A-3, se ubicará donde se realizó el SEV-8, tendrá una profundidad de 100 m. y su función será monitorear las aguas subterráneas en la parte más baja de la sierra, con el fin de seguir la capa saturada. Cabe mencionar que el pozo profundo realizado por la empresa Proyectos Moro, S.A., podrá también servir para los fines de monitorear el acuífero.

Durante la construcción de los pozos, se redefinirá la estratigrafía del sitio, esta información podrá servir para la evaluación de la saturación de los diferentes estratos. El levantamiento y el nivel piezométrico obtenido de estos pozos puede ser usado para calcular la dirección del flujo y el gradiente del agua subterránea para los materiales saturados.

Después de evaluar la información obtenida, se decidirá si es necesaria la instalación de más pozos, dependiendo del comportamiento del gradiente.

Se deberán tomar muestras en los pozos, cuando menos cada cuatro meses, estas muestras deberán ser analizadas, los parámetros que deberán considerarse dentro del monitoreo se muestran en el Anexo III.

7.3 Monitoreo del biogas.

Dentro de los gases que se producen en un relleno sanitario, se encuentra el metano, el cual es muy explosivo y se convierte en peligroso si migra hacia zonas habitadas o construidas. Para determinar si el gas está saliendo del sitio, se instalarán 28 pozos de monitoreo en toda la periferia del sitio. Los pozos se construirán con tubería de 1" de PVC como se muestra en los planos.

El objetivo de un sistema de control de gas, es el removerlo del sitio, en las mismas cantidades en que este se produce.

El procedimiento para determinar la cantidad de gas que se produce, requiere de una prueba de bombeo del mismo. Una bomba es conectada a un pozo de extracción de gas y es operado a un flujo constante por tres o cuatro semanas. Este flujo es ajustado a un valor mayor o menor y se vuelve a hacer la prueba por otras tres o cuatro semanas. Cuando la cantidad de bombeo es demasiado baja, el gas extra escapará a través de la cubierta o se desplazará lateralmente. Cuando el bombeo es demasiado alto, se introduce oxígeno y nitrógeno, dentro de los desechos, deteniendo esto el proceso anaerobio de descomposición.

Mientras se realiza la prueba, se determina también la distancia óptima entre pozos. El radio de influencia de cada pozo, se mide instalando pozos de monitoreo cerca del pozo de extracción, para determinar el punto máximo donde es creada una presión negativa por la bomba. Esta distancia puede variar significativamente, dependiendo de la profundidad del relleno, las características de los desechos y la impermeabilidad de la capa de cubierta. Cuando la cantidad óptima de bombeo y espaciamiento entre pozos pueda ser determinado, el diseño final podrá ser completado. Para el proyecto de extracción se esta proponiendo la construcción de 87 pozos de extracción de biogas, los cuales se interconectarán entre sí formando un sistema general, en un principio se conectarán los pozos de cada etapa según sea el avance del relleno y se instalarán dos quemadores por etapa en promedio.

Para los propósitos de este proyecto, la producción teórica de gas se basó en los contenidos de carbón, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno de los desechos de acuerdo a su composición física; los datos fueron tomados de los valores de composición de los desechos para las delegaciones de Iztacalco, Coyoacán, Tlahuac, Tlalpan y Xochimilco, que es de los que se cuenta con información, tomándose esta como típica para la generación de biogas. Se asume que el 70% de la generación teórica de gas, será utilizable y que esta generación se presentará en un periodo de 10 años. Aunque el relleno seguirá generando gas por un periodo mucho mayor, se tomó la base de 10 años para el programa de producción, basado en esto, se obtuvo la producción de metano durante la vida del relleno. Es necesario mencionar que estas concentraciones se refieren sólomente a metano y no incluyen la producción de dióxido de carbono.

Como parte del proyecto, se recomienda el convertir el biogas en gas natural comprimido y usarlo como combustible para los vehículos de recolección o la maquinaria del relleno o distribuirlo a quien se interese en el, esto tendría un beneficio de uso del biogas dentro del relleno. El gas natural comprimido, podrá servir como combustible menos contaminante, ya que es mucho menos perjudicial que la gasolina.

Las unidades de gas comprimido, son modulares y podrán tenerse en el sitio, listas para operar. Este diseño modular, permite el adicionar unidades de acuerdo al desarrollo del relleno. De la misma manera, cuando el relleno produzca menos gas al hacerse viejo, estas unidades podrán ser removidas hacia otros sitios.

Ya que las pruebas no han sido completadas, se sugiere un programa de bombeo en un relleno terminado, para probar una pequeña unidad de gas comprimido. De esto se podrá determinar el costo-beneficio del sistema de extracción y producción de gas.

7.4 Monitoreo de post-clausura.

Una vez concluida la vida útil del relleno sanitario, se iniciará un periodo de 10 años de post-clausura, con el fin de mantener control sobre las afectaciones que se producen en el sitio. Para cuando el relleno sanitario sea clausurado, existirán:

- a.- Tres pozos de monitoreo del acuífero.*
- b.- Veintiocho pozos de monitoreo de biogas.*
- c.- Un sistema de colección y detección de lixiviado.*
- d.- Ochenta y siete pozos de extracción de gas.*

Los pozos de monitoreo serán muestreados cada cuatro meses durante los primeros dos años posteriores a la clausura. Después de este primer periodo se realizará el muestreo dos veces al año durante los siguientes 5 años; para el periodo restante, las pruebas serán tomadas cuando menos una vez al año.

Los análisis realizados en los pozos de monitoreo de agua serán idénticos a los realizados durante la vida útil del sitio.

7.5 Operación del monitoreo.

El monitoreo se realizará dentro del relleno mediante inspecciones realizadas cada cuatro meses y una anual, haciendo un balance de los cálculos. La información referente a los reportes del monitoreo deberá contener:

- a.- Procedimiento de relleno y secuencias.*
- b.- Técnicas de compactación.*
- c.- Revisión de los registros de entrada*
- d.- Control de afectaciones.*
- e.- Colocación de la cubierta diaria.*
- f.- Control de agua superficial*

La mencionada inspección cuatrimestral será revisada y aprobada por una firma de ingeniería con experiencia en el diseño y operación de rellenos sanitarios.

Los balances anuales serán también calculados por la firma antes mencionada, dichos balances deberán ser usados por el operador para determinar la volumetría usada al momento, material de cubierta utilizado y cantidad de desechos dispuestos en el sitio.

8. CLAUSURA DEL SITIO.

8.1 Revegetación.

El centro de aprovechamiento y disposición final de Ixtapaluca será abierto y desarrollado en fases. Cuando el relleno en una de las áreas alcance las curvas finales de proyecto, será cubierta y abandonada al momento que el área subsecuente se encuentra en operación para ser rellenada. La capa final de 15 cm. de suelo vegetal será colocada para poder realizar la clausura en la mencionada porción del relleno. Todas las áreas que sean clausuradas serán revegetadas a la brevedad, para proteger el terreno contra la erosión e incrementar así el contenido orgánico de los suelos.

Cada fase completada será cubierta con una capa compactada de 0.30 m de espesor, una capa de 0.15 m de material arcilloso para protección y una capa de 0.15 m de suelo vegetal. Todas las capas con excepción de la de suelo vegetal, serán colocadas tan pronto como sea posible, después de que el área de relleno alcance los niveles de proyecto. La capa vegetal se colocará inmediatamente antes de la siembra de pasto en el sitio. Deberá existir una correcta adherencia entre la capa vegetal y el material subyacente y se retirarán todas las rocas de gran tamaño para beneficiar la siembra de pastos. Se realizarán pruebas en el suelo para ver si es necesario el uso de algún fertilizante, los cuales serán aplicados al momento de la siembra.

8.2 Monitoreo.

Una vez terminada la vida útil del sitio, se iniciará un período de post-clausura de 30 años con el cual se pretende asegurar la calidad ambiental en el sitio.

Los pozos de monitoreo del acuífero se muestrearán cuando menos dos veces al año durante este período de post-clausura y los análisis del agua, serán idénticos a los obtenidos durante la vida del sitio.

8.3 Inspección y mantenimiento.

El mantenimiento en la post-clausura, no deberá ser necesario para el trabajo terminado, sin embargo, los asentamientos en los desechos, podrán potencialmente ocurrir, aunque esto será minimizado por las correctas técnicas de compactación usadas durante la operación. Las inspecciones para determinar si ocurren o no asentamientos, se iniciará inmediatamente después de la clausura del sitio. En áreas donde ya se haya presentado el asentamiento, el operador, deberá reducir las pendientes de terminación que definen la topografía final para evitar cualquier posible encharcamiento en el sitio.

8.4 *Uso del suelo.*

El uso del suelo al final de la vida útil del relleno será determinado por las autoridades municipales. El desarrollo de rellenos sanitarios reduce el posible uso del suelo de acuerdo con lo que señala SEDUE para estos casos. Generalmente, de acuerdo a la experiencia sobre el tema en otros países, los sitios destinados a rellenos sanitarios, se convierten en centros recreativos o deportivos, ya que no se permite construir edificios sobre el área.

9. PLAN GENERAL DE CONSTRUCCION Y RELLENO.

9.1 Construcción.

El Plano 4 del Proyecto, muestra la base de desplante para el sitio, señalando la elevación para la misma. El sitio para la disposición final, será excavado y rellenado en tres etapas generales y cada una de estas dividida en subfases o macroceldas. La base de desplante, está configurada para la instalación de fosas de colección de lixiviado para cada una de las macroceldas como se muestra en el Plano 4. La delimitación de cada una de las subfases está determinada por la ubicación y elevación de los caminos de acceso que, además de tener la función propia de permitir el tránsito de los vehículos recolectores, sirve como barrera impermeable en forma lateral, desvío de aguas superficiales hacia el relleno y se opone al paso del lixiviado hacia el terreno natural. Los detalles del sistema de colección de lixiviados se presentan en los planos de detalles.

Para el caso de la Loma, los primeros 0.30 m. de material producto de la excavación, serán depositados en el lugar destinado por el operador para su utilización como parte del suelo vegetal al clausurar el relleno. El resto del material excavado correspondiente a la toba, será utilizado para material de cubierta diaria y material operacional (construcción de bermas, caminos y presas). El material granular producto de la excavación será utilizado por los mineros y de aquí podrá obtenerse el material para filtros. El operador deberá definir los lugares donde se depositará el material producto de la excavación de la toba, para que al usarlo nuevamente, se realice un número mínimo de movimientos.

Como modelo tipo, menos de 10 ha. serán abiertas, impermeabilizadas y rellenadas a un solo tiempo. La construcción de la interfase impermeable y compactada de suelo, deberá cumplir con los requerimientos de material y compactación. La totalidad de la base de desplante será impermeabilizada con una capa de arcilla de cuando menos 0.60 m de espesor y compactada como se indica en el capítulo de impermeabilización. Esto preveerá la infiltración hacia el acuífero.

Una persona ajena a la operación y con la autoridad necesaria, supervisará en todo momento los trabajos de construcción de la capa impermeable para asegurar un correcto uso de materiales y procesos.

Se tomará una muestra a cada 2000 m³ de interfase para checar su compactación y a cada 5000 m³ de material de protección. Antes de iniciar el relleno en una celda, deberá existir un reporte de conformidad de construcción de la interfase, incluyendo las pruebas de la geomembrana.

Un sistema de colección de lixiviado, será construido en el área del relleno. El sistema incluye una capa de arena que funcionará como dren para el lixiviado con pendientes promedio de 2 % hacia la parte donde se localizan las fosas de captación de lixiviados. La fosa y su tubo de extracción asociado, serán construidos en cada una de las áreas de relleno que pueda drenar hacia esa fosa. Los detalles del sistema se muestran en los Planos.

9.2 Relleno.

Cada una de las fases serán rellenadas consecutivamente. La fase en proceso, será una extensión de la anterior. Para un momento de la obra podrá existir al mismo tiempo, excavación e impermeabilización en una fase, relleno en otra y procesos de clausura en una tercera de acuerdo al avance de la vida útil.

El frente de trabajo activo, tendrá una pendiente adecuada. Los desechos se depositarán en la fase activa en capas de aproximadamente 0.60 m. Para optimizar la compactación se utilizará un equipo especial de compactación de basura. La dirección de ubicación de las celdas diarias, variará de acuerdo a las condiciones que presente el sitio.

Al final de cada jornada de trabajo, se colocará una capa de 0.15 m. de espesor promedio y compactada al 95 % PYSM, Proctor estándar, método A y con humedad correspondiente a la óptima más 4 %, sobre los desechos correspondientes. Cuando una capa de celdas es completada, la siguiente se sobrepondrá a esta y así consecutivamente, hasta completar la fase.

Si por alguna razón un área con desechos con cubierta diaria de 0.15 m. quede expuesta e inactiva por un periodo mayor a un mes, el operador deberá colocar una capa adicional de 0.15 m. para cubrir a la anterior. Esta cubierta intermedia, también será necesaria cuando se termine el relleno de una fase. De la misma manera, podrá ser removida para ser usada como cubierta diaria.

Cada fase será rellenada hasta que alcance su máxima capacidad, antes de iniciar una siguiente fase. Una secuencia adecuada en la clausura del sitio, minimizará problemas de sedimentación y de potencial infiltración hacia los desechos.

El sitio al final de la vida útil del relleno, presentará una topografía como se muestra en planos, con pendientes tipo de 3:1 que permiten el escurrimiento superficial.

9.3 Control de agua superficial y erosión.

El agua superficial en el sitio, será controlada de manera que no se permitirá que el escurrimiento superficial, se dirija hacia un área activa y que cualquier agua que caiga sobre el frente de trabajo no deberá salir del área de la fase activa. Estos objetivos se lograrán de acuerdo a lo siguiente:

- a.- *Minimizar el tamaño del frente de trabajo.*
- b.- *Construcción de estructuras permanentes de desvío a lo largo de los límites de las áreas activas y terminadas. Esto se logrará en gran parte con los caminos de acceso, las cunetas y contracunetas.*
- c.- *Construcción de bermas temporales, para desviar el escurrimiento superficial fuera del frente de trabajo, así como para retener el escurrimiento de los desechos, en los casos necesarios.*

Las estructuras de desvío prevenirán el escurrimiento hacia el relleno tanto como controlarán el escurrimiento dentro del área activa.

La sedimentación será controlada, revegetando las áreas terminadas, tan pronto como sea posible. Las bermas temporales, serán construidas de acuerdo con el avance del relleno y podrán ser removidas cuando se

concluya la fase, al mismo tiempo que se construyan otras para continuar efectivamente con el control de los drenajes. La localización de las bermas temporales, será siempre después de la ubicación de la fosa de captación de lixiviado.

El objetivo de estas estructuras, es mantener el escurrimiento fuera del área de trabajo y conducir el que se encuentre en esta hacia las fosas de recolección.

9.4 Clausura.

El relleno sanitario, será operado en fases y será clausurado en fases. Cuando cada fase alcance las curvas de nivel finales, será cubierta para la clausura, al mismo tiempo que la fase subsecuente es excavada y se encuentra lista para operar.

La capa de 0.15 m. de suelo vegetal, será colocada en todas las áreas terminadas. Será necesaria la revegetación en el menor tiempo posible para evitar la erosión e incrementar el contenido orgánico de los suelos.

La capa final de cobertura, consistirá de un mínimo de 0.30 m. de material compactado con las especificaciones del resto de las compactaciones, un mínimo de 0.15 m. de espesor de material de protección, consistente en la misma toba del sitio y un mínimo de 0.15 m. de suelo vegetal. Las dos primeras capas serán colocadas inmediatamente después de que la fase alcance su elevación final. La capa de suelo vegetal, será colocada previamente a la siembra. Se realizarán análisis del suelo para determinar la necesidad de fertilizantes que soporten las especies a plantar. En el caso de uso de fertilizantes, estos serán aplicados junto con la siembra.

10. TRATAMIENTO.

10.1 Características de los residuos.

A nivel mundial y particularmente en los países industrializados, se tiene la tendencia dentro del manejo de los residuos sólidos a la recuperación de subproductos y su reciclaje, con objeto de abatir los costos, tanto económicos como ambientales, propios de los procesos productivos vigentes. De la misma forma, se han desarrollado diferentes técnicas para la disposición final de los residuos sólidos, que se tratarán a lo largo de este capítulo, mencionaremos en este momento, que estas técnicas se han desarrollado con diversos fines, entre ellos, el poder obtener algún beneficio, a partir de tratamientos que puedan producir combustibles o alguna forma de energía, tomando como materia prima a los desechos sólidos.

El centro de aprovechamiento y disposición final de Ixtapaluca, recibirá los desechos sólidos municipales generados en los municipios de Chalco e Ixtapaluca y las delegaciones de Iztacalco, Iztapalapa, Coyoacán, Tlahuac, Xochimilco, Milpa Alta y Tlalpan. Para que estos residuos puedan ser sometidos a algún tipo de tratamiento, es necesario determinar la composición física de los mismos, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana AA-22-1985.

A partir de la clasificación que hace la norma mencionada, se formaron cinco grupos de subproductos en función de su factibilidad de aprovechamiento, de la siguiente manera:

- a.- **Grupo I:** Subproductos con gran demanda de mercado para reciclamiento.
- b.- **Grupo II:** Subproductos con potencial aprovechamiento, pero que en nuestro país, debido al desarrollo tecnológico, no es posible su transformación en un producto reciclable.
- c.- **Grupo III:** Residuos orgánicos con posibilidad de aprovechamiento mediante composta.
- d.- **Grupo IV:** No tiene posibilidad de aprovechamiento por el momento y su recuperación dependerá del comportamiento de la planta industrial en el país, o bien, puede utilizarse como combustible en procesos de incineración debido a su composición físico-química.
- e.- **Grupo V:** No tiene posibilidad de ser aprovechado debido a su composición, o que el servicio que dan, los hace de un solo uso.

De acuerdo con esta clasificación y en función de la que hace la Norma Oficial Mexicana AA-22-1985, se presenta la Tabla 50, donde se incluyen los porcentajes de aprovechamiento según sea el caso.

Aplicando los porcentajes promedio de los subproductos integrados en los grupos antes mencionados, a la generación de cada uno de los municipios y delegaciones aportantes, se obtiene la cantidad para cada subproducto y sus totales, en la Tabla 51, se muestra el resumen para cada grupo, por área aportante con sus totales.

En relación con los subproductos pertenecientes al Grupo I, se investigaron los porcentajes de recuperación, reportados en bibliografía especializada en la materia, con la finalidad de obtener las cantidades de material factible de ser recuperado en planta, debido a que es imposible recuperar el 100 % de estos materiales presentes en los residuos, por las condiciones en que se encuentran.

TABLA 50
CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS SEGUN SU APROVECHAMIENTO

GRUPO	SUBPRODUCTO	%	% ACUMULADO	TOTAL
I	PAPEL	12.226		
	CARTON	3.952		
	VIDRIO	4.776		
	LATA	2.188		
	MATERIAL FERROSO	1.004		
	MATERIAL NO FERROSO	0.114		
	PLASTICO RIGIDO	2.630		
	PLASTICO DE PELICULA	5.266		
II	MADERA	0.144		
	TRAPO	0.942		
	CUERO	0.268		
	HULE	0.572		
	LOZA Y CERAMICA	0.488		
	POLIESTIRENO EXPANDIDO	0.816		
	MATERIAL DE CONSTRUCCION	0.634		
	ENVASES DE CARTON	1.916		
III	RESIDUOS ALIMENTICIOS	39.648		
	RESIDUOS DE JARDINERIA	5.126		
	HUESO	0.224		
IV	PAÑAL DESECHABLE	6.234		
	FIBRA DURA VEGETAL	0.170		
	FIBRA SINTETICA	1.464		
V	ALGODON	0.204		
	AEROSOLES			
	PINTURAS			
	MEDICINAS			
	POLIURETANO	0.128		
	BATERIAS CASERAS			
	RESIDUO FINO	1.434		
	OTROS	7.434		

10.2 Alternativas de tratamiento para los residuos sólidos municipales.

En la actualidad, existe a nivel mundial, una gran variedad de tecnologías disponibles para el tratamiento de los residuos sólidos municipales. Estas tecnologías se pueden definir de acuerdo a los objetivos del manejo de los residuos en la siguiente forma:

- 1.- Tratamientos para la reducción de volumen antes de la disposición final.
- 2.- Recuperación de materiales.
- 3.- Combustible derivado de la basura (RDF).
- 4.- Pirólisis.
- 5.- Compostaje.
- 6.- Hidrólisis.

A continuación se presenta una descripción de cada una de estas tecnologías de tratamiento.

TABLA 51
CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS GENERADOS

GENERACION MUNICIPAL	GRUPO I ALTA DEMANDA DE RECICLAMIENTO	GRUPO II APROVECHAMIENTO POTENCIAL	GRUPO III APROVECHAMIENTO CON TRATAMIENTO	GRUPO IV SIN APROVECHAMIENTO ACTUAL	GRUPO V NO APROVECHABLE	TOTAL
IZTACALCO	158,797	28,543	222,215	38,855	45,433	493,842
IZTAPALAPA	521,615	93,760	729,930	127,630	149,237	1,622,171
COYOACAN	227,757	40,939	318,715	55,278	65,162	708,301
TLAHUAC	56,041	10,073	78,422	13,712	16,034	174,282
NOCHIMILCO	78,067	14,032	109,244	19,102	22,335	242,780
NEHALPA ALTA	28,163	5,063	39,414	6,892	8,058	85,792
TLALPÁN	71,817	12,909	100,948	17,572	20,547	223,342
CHALCO	91,026	16,362	127,379	22,272	26,043	283,082
IXTAPALUCA	44,217	7,948	61,875	10,819	12,651	137,510
TOTAL	1,277,501	229,629	1,787,691	312,582	363,500	3,972,902

10.2.1 Tratamientos para la reducción de volumen.

Dentro de los tratamientos para la reducción de volumen, se encuentran tres principales tipos: la trituración o pulverización, el empaquetado o enfardado y la incineración.

10.2.1.1 Trituración.

La trituración de los residuos sólidos antes de su disposición final, ofrece algunas ventajas sobre la disposición final de los residuos sin ningún tipo de tratamiento. El principio básico de este tratamiento consiste en la

utilización de una molienda, trituración o un proceso de pulverización para reducir el tamaño de partícula de los residuos y producir un material más homogéneo y más fácil de manejar. Las ventajas que se pueden obtener a partir de esta pulverización son:

- a.- No se producen olores desagradables.
- b.- No atrae o tolera insectos.
- c.- El material triturado no es arrastrado fácilmente por el aire.
- d.- En los sitios de disposición final, no se requiere de la cubierta diaria.
- e.- El espacio requerido para el relleno sanitario o disposición final se puede reducir en un 30 %.
- f.- El asentamiento y maduración de un relleno sanitario es mucho más rápido y más uniforme.

No obstante, el ahorro en el espacio ocupado por un relleno sanitario no es tan claro, como hasta hace pocos años, cuando se había establecido una densidad de maduración de los residuos dentro de los rellenos sanitarios de $0.65-0.75 \text{ ton/m}^3$, que comparada con la densidad de los residuos sin tratamiento de $0.4-0.6 \text{ ton/m}^3$, es relativamente mínima la diferencia y más en la actualidad, con el uso de maquinaria de compactación especial para los rellenos sanitarios, se ha alcanzado una densidad efectiva de los residuos sin tratamiento dentro de los rellenos sanitarios de aproximadamente 0.70 ton/m^3 , convirtiendo cualquier ventaja en marginal.

Existe en el mercado una gran variedad de máquinas trituradoras, sin embargo, los métodos más comunes de la trituración en seco, emplean los martillos, trituradores balísticos y los tambores rotatorios.

En los molinos de martillos, los residuos son alimentados sobre uno o dos rotores que hacen girar a gran velocidad un conjunto de martillos, los cuales golpean de esta forma a los residuos hasta triturarlos a las dimensiones de una rejilla o tamiz que se encuentra en la parte inferior del molino.

Los trituradores balísticos tienen un funcionamiento similar a los molinos de martillos; sin embargo, estos utilizan la fuerza centrífuga de sus impactores para expulsar los materiales demasiado duros hacia el exterior y al mismo tiempo Trituran los materiales blandos.

Los tambores rotatorios, generalmente son utilizados para materiales húmedos, estos equipos están constituidos por un tambor o cilindro metálico que contiene en su parte interior, otro cilindro de menores dimensiones con una gran cantidad de perforaciones, formando así, un tamiz o malla por la cual pasan los residuos, que por la acción de los giros, caen sobre sí mismos y se Trituran. Los materiales gruesos o demasiado duros, son expulsados al final del tambor rotatorio, debido a que estos siempre son instalados con inclinación sobre su horizontal.

10.2.1.2 Empacado o enfardado.

El empacado de los residuos sólidos consiste, como su nombre lo indica, en la formación de pacas de residuos, las cuales son realizadas mediante la compresión de los residuos a altas presiones, por medio de un sistema de pistones hidráulicos. Una gran consideración de este proceso, es evitar que una vez formada la paca, esta se vuelva a expandir o deshacer, por lo cual, es necesario su flejado o atado.

La principal ventaja de este tratamiento, a pesar de la reducción de volumen de los residuos, relativamente baja, es su fácil manejo y transporte, así como un mejor manejo y colocación en los sitios de disposición final.

Actualmente existe una gran variedad de tipos y capacidades de compactadoras para los residuos sólidos y su selección depende en gran medida de objetivos específicos y tipo de materiales a compactar; no obstante, su capacidad de tratamiento es limitada y son poco usuales para el procesamiento de residuos sólidos a gran escala.

Basta mencionar que todos estos equipos utilizan el mismo principio, la compresión por medio de pistones hidráulicos. Un uso principal que ha encontrado este proceso, se ha dado en forma asentada en las estaciones de transferencia.

10.2.1.3 Incineración.

La incineración de los residuos sólidos, es un tipo de tratamiento térmico a través de una combustión controlada, vía una oxidación a altas temperaturas. En la actualidad existe una gran variedad de tecnologías disponibles a nivel internacional, que además están en continuo cambio para cumplir con los estándares del control de emisiones más estrictos, a grado tal, que se han desarrollado tecnologías sofisticadas y aceptables ambientalmente.

El proceso de incineración es relativamente sencillo y los principios básicos de la combustión se aplican a todas las tecnologías. En todos estos procesos, los residuos sólidos son alimentados a un horno (de lecho fluidizado, rotatorio, de parrillas móviles, de hogar fijo, etc.), diseñado especialmente para asegurar la combustión total de los residuos y los gases, a través de un control adecuado de la temperatura, aire de combustión y aire en exceso, turbulencia y tiempo de residencia.

Los productos de la incineración son los gases de combustión y vapor de agua, los cuales después de una depuración o lavado, son descargados a la atmósfera y están compuestos principalmente de vapor de agua y bióxido de carbono (CO₂); asimismo, se produce una ceniza inorgánica relativamente inerte y libre de microorganismos, así como un efluente líquido resultante del apagado de las cenizas y lavado de los gases de combustión, que requiere de un tratamiento antes de su descarga al drenaje.

El diseño más sencillo de un incinerador, es una simple cámara recubierta de material refractario, en la cual los desechos son alimentados en lotes y las cenizas deben ser removidas periódicamente con un rastrillo. Generalmente, se requiere de un combustible auxiliar para la ignición y mantenimiento de la combustión, así como el calentamiento del horno, antes de iniciar la alimentación de los residuos. Requiere también de un postquemador para asegurar la combustión total de los gases.

Los incineradores de residuos sólidos municipales son en su gran mayoría en la actualidad, de parrillas móviles (rotatorias o reciprocantes), donde los desechos son lentamente desplazados a lo largo del horno por el movimiento continuo de las parrillas, esto ha modificado la alimentación por lotes, a una alimentación y descarga de las cenizas continua. Una clasificación de los incineradores de acuerdo al tipo de parrillas que utilizan es la siguiente:

- a.- **Incineradores de parrillas viajeras:** Estas parrillas están formadas por una serie de cadenas sin-fin montadas sobre rodillos impulsores, la atización de la combustión es proveída por la caída vertical entre las parrillas sucesivas.
- b.- **Incineradores de parrillas reciprocantes:** Estas parrillas están formadas por una serie de placas fijas y móviles, las placas pueden ser horizontales o inclinadas.
- c.- **Incineradores de parrillas oscilantes:** Consisten en una serie de parrillas de barras, algunas de las cuales tienen articulaciones.

- d.- **Incineradores de parrillas rotatorias:** Son una serie de grandes tambores rotatorios con ángulos de inclinación con respecto a la horizontal.

Aún cuando los incineradores de parrillas se han diseñado y utilizado para la incineración de residuos sólidos municipales, existe en el mercado una gran variedad de otro tipo de incineradores, los cuales, son apropiados para aplicaciones particulares como son los siguientes:

- a.- **Incinerador de hogar múltiple:** Originalmente fué diseñado para quemar lodos residuales de drenaje; sin embargo, se ha utilizado para quemar algunos otros desechos, incluyendo residuos sólidos municipales, líquidos, lodos y breas industriales. Consiste de una camisa circular recubierta de material refractario y los hogares están colocados verticalmente. Los residuos son alimentados al horno por la parte superior y son gradualmente descargados a los hogares inferiores por medio de brazos móviles. El flujo de los desechos es a contra corriente al flujo de los gases de combustión, la parte media de los hogares representa la zona de combustión con temperaturas entre 750°C y 1000°C, la parte baja del incinerador sirve de descarga de las cenizas y alimentación del aire de combustión.
- b.- **Incinerador de horno rotatorio:** Tiene uno de los diseños más versátiles y consiste de un tambor o cilindro metálico, recubierto de material refractario y montado con una ligera pendiente con respecto a su horizontal, la cual sirve para conducir los materiales residuales o cenizas hacia la parte inferior, donde son descargadas. La temperatura en cualquier parte del horno es en promedio de 900°C a 1650°C, haciendolos adecuados para la incineración de residuos peligrosos o potencialmente peligrosos como los hidrocarburos policlorados y bifenilos policlorados. Se han utilizado ampliamente en la industria del cemento, además, en estos incineradores se pueden quemar residuos líquidos combustibles, como solventes, aceites, etc.
- c.- **Incinerador de lecho fluidizado:** Este tipo de incinerador ha estado en el mercado por cerca de 20 años y ha encontrado aplicaciones limitadas, tal como la incineración de lodos residuales y residuos sólidos combustibles de pequeñas dimensiones o triturados, debido a que su alimentación es generalmente por medio de transportadores sin-fin. Este sistema es excelente para lodos y ha sido experimentado para la gasificación de carbón y la incineración de desechos sólidos municipales. La temperatura de operación es alrededor de los 900°C.

10.2.2 Recuperación de materiales.

La recuperación de materiales a partir de los residuos sólidos, es un método de tratamiento el cual puede ser realizado en dos formas, mecánica o manualmente. La recuperación mecanizada de materiales, en la mayoría de las tecnologías, se lleva a cabo por varios procesos unitarios; los cuales son:

- a.- Reducción de tamaño.
b.- Clasificación por aire.
c.- Separación magnética.
d.- Tamizado.

No obstante, existen una gran variedad de tecnologías diferentes. En este proceso, los residuos son inicialmente triturados por un molino de martillos, posteriormente los materiales ligeros como el papel y plástico de película, son separados por un clasificador de aire, un separador magnético se encarga de extraer los materiales ferrosos, posteriormente otro clasificador de aire, separa los materiales ligeros aún contenidos en los residuos triturados, de aquí, a través de un tromel, se separan dos fracciones; una fina, que es nuevamente triturada y por medio de una clasificación de aire se separan los plásticos y textiles remanentes y una gruesa, que es descargada a una

criba vibratoria de la cual, por medio de un elutriador, se separan los materiales orgánicos y los metales no magnéticos, asimismo, por medio de un equipo llamado JIG, se separa el vidrio y la materia orgánica remanente.

La separación manual de los subproductos, en todas las tecnologías existentes, se realiza a través de transportadores de banda; en donde a cada lado de la banda, se coloca el personal separador y clasificador de los materiales comercializables. Los materiales separados son depositados en tolvas de gravedad y son captados o recibidos en contenedores o depósitos especiales para cada subproducto. Una vez recolectados, los subproductos son acondicionados dependiendo de sus características (empalado, embalado o a granel), para su venta posterior.

10.2.3 Combustible derivado de la basura (RDF).

El procesamiento de los residuos sólidos municipales para producir un producto sólido combustible, es relativamente reciente, sin embargo, existen muchos procesos para la producción del RDF. De varias plantas a nivel comercial y en demostración en los Estados Unidos y en Europa, en la mayoría de los casos, el RDF vendido es utilizado como combustible suplementario del carbón dentro de la industria convencional o en plantas de generación de energía. Un uso atractivo para el RDF, es su utilización como combustible en los hornos de cemento, ya que un alto porcentaje de cenizas puede formar parte del producto final.

La producción del RDF, para su venta como combustible suplementario en calderas, fué producido originalmente en los Estados Unidos. La característica distintiva de este RDF, es que contiene la mayoría de los materiales orgánicos, incluyendo la fracción putrescible. La experiencia en la operación de este proceso, está limitada a la planta de St. Louis y a la primera planta en Ames, Iowa, la cual inició su producción en noviembre de 1975. La información actualmente disponible de once plantas, es que todas estas han enfrentado alguna clase de problemas, como era de esperarse en una tecnología reciente, siendo estos:

- a.- Algunas plantas no son capaces de vender el RDF.
- b.- La mayoría de las plantas han tenido problemas en el manejo y tratamiento de los materiales.
- c.- El RDF, tiene un alto contenido de cenizas y puede causar problemas de escoriación.
- d.- El RDF, puede causar problemas de almacenamiento.
- e.- Es necesario considerar equipos para el control de polvos.

Por lo anterior, es necesaria la evaluación de una firma de ingeniería y se debe esperar unos años para adquirir la experiencia suficiente en la operación.

La Combustion Equipment Associates y sus investigadores, han desarrollado un proceso, el cual reduce el RDF a un polvo fino conocido como ECO FUEL II. La producción del RDF crudo, es preparado de un tamizado inicial, junto con los materiales de mayor tamaño de un molino de varas, seguido de una separación magnética y una clasificación de aire, utilizando los gases calientes del calentador del proceso. La fracción ligera pasa a un tromel secundario, el cual separa los materiales finos incombustibles. Es añadido un agente químico capaz de hacer quebradizos los materiales, para facilitar la destrucción de las fibras duras de celulosa. El RDF pasa entonces a un molino de bolas donde se seca y es finalmente granulado a temperaturas de 100°C a 200°C. El producto del molino de bolas, es tamizado en tres fracciones, el rechazo de materiales de mayores dimensiones, pasa a un relleno sanitario o a la recuperación de aluminio; la fracción de tamaño medio, regresa al molino de bolas; la fracción fina (< 1 mm,) forma el producto ECO FUEL II. El combustible en polvo puede ser pelletizado o aglomerado para su fácil manejo y almacenamiento, estando disponible para su combustión junto con gas o combustóleo en calderas, con un poder calorífico de 16 MJ/KG.

La forma más simple del RDF, es la pulverización ordinaria de los desechos, solamente con la separación magnética de los materiales ferrosos. Los residuos pulverizados han sido quemados en calderas de generación de energía eléctrica, en las etapas iniciales del proyecto de demostración en St. Louis, pero fué abandonado, debido al desgaste excesivo en el sistema de alimentación de la caldera por el RDF y la enorme producción de cenizas. Los residuos de una estación de transferencia, son entregados a la planta de pulverización, una vez los residuos pulverizados en partículas menores a 75 mm., se almacena cerca del 90% en contenedores y son transportados cerca de 2 Km. a una planta de generación de energía eléctrica. Allí son descargados a un transportador de tablillas inclinado e inyectados a través de quemadores colocados en la pared posterior de la caldera. Este sistema de alimentación es la característica clave de este proceso del combustible pulverizado.

10.2.4 Pirólisis.

El término pirólisis es utilizado frecuentemente como un término genérico, para describir las alternativas a la incineración, pero tal empleo, no es estrictamente preciso. El término pirólisis, significa la descomposición térmica de los materiales orgánicos en ausencia de oxígeno, en productos sólidos, líquidos o gaseosos; la producción de estos, depende de las condiciones de proceso; la destilación destructiva, describe una pirólisis optimizada para producir líquidos, mientras la carbonización produce productos sólidos, específicamente carbón.

Se han desarrollado una gran variedad de procesos pirolíticos para el tratamiento de los residuos sólidos; sin embargo, relativamente muy pocos de estos han alcanzado la etapa a nivel planta piloto y ninguno ha sido demostrado a gran escala en forma exitosa.

A continuación se mencionan cuatro procesos que han alcanzado su mayor etapa de desarrollo, uno de estos es una pirólisis exacta y los otros tres, son tan solo reacciones de gasificación; Proceso Occidental, Union Carbide Purox, Andaco-Torrax y Monsato Landgard.

El Proceso Occidental de pirólisis, utiliza un RDF de alta calidad y un reactor de lecho arrastrado, para llevar a cabo una reacción rápida a temperaturas relativamente bajas, 500°C; el producto es un aceite pirolítico.

El proceso Union Carbide Purox, utiliza desechos pulverizados en un reactor de columna vertical. El calor es suministrado por la combustión de carbón en la base del reactor, en una corriente de oxígeno puro. Las temperaturas elevadas, 1,600°C funden la ceniza y el principal producto es un gas de poder calorífico medio.

El proceso Andaco-Torrax, es similar al de Union Carbide, solo que los desechos son alimentados al reactor de columna vertical sin tratamiento previo y se utiliza aire como fuente de oxígeno para la combustión. El producto gaseoso tiene un poder calorífico bajo.

El proceso Monsato-Landgard, utiliza residuos pulverizados y un reactor de tambor rotatorio, parte de los desechos son quemados utilizando aire y el gas de bajo poder calorífico, es quemado en el mismo lugar para producir vapor. La planta más grande de este tipo de proceso fué diseñada para procesar 900 Ton/día, pero se ha enfrentado a una gran cantidad de problemas.

10.2.5 Compostaje.

Los procesos biológicos como la fabricación de composta, obviamente están restringidos a la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales, de tal forma que todos estos procesos, requieren de un pretratamiento de los residuos, como es la separación de la mayoría de los materiales y una reducción de volumen.

El composteo de los residuos sólidos municipales, tiene una larga historia de más de cuatro décadas. La mayoría de las plantas en operación en los países industrializados, han experimentado dificultades en la comercialización del producto terminado. Este producto comúnmente denominado composta, es un tipo de fertilizante de muy bajo grado, por lo cual es valorizado como un regenerador o acondicionador de suelos.

La práctica exitosa del composteo, debe estar basada en una buena comprensión del proceso microbiológico, el cual ha estado sujeto a muchas investigaciones. En las etapas iniciales del composteo, los organismos mesofílicos (principalmente bacterias) se multiplican, la temperatura se incrementa rápidamente en la masa activa, cerca de los 40°C y estos organismos mueren. Los organismos termofílicos (principalmente actinomicetos y hongos), toman su lugar alrededor de los 60°C, los hongos mueren y la reacción se lleva a cabo por la formación de esporas, especies de bacterias y actinomicetos. Las temperaturas de 60°C, son necesarias para asegurar la destrucción de los organismos patógenos. En esta etapa, los vegetales de rápida degradación y los compuestos putrescibles, empiezan a consumirse y la tasa de reacción disminuye; asimismo, la tasa de generación de calor llega a ser menor que las pérdidas de calor en la superficie y la masa comienza a enfriarse. Como la temperatura decrece, varios tipos de microorganismos atacan lentamente a los componentes celulósicos y lignínicos de los residuos. Después que la temperatura ambiente es alcanzada nuevamente, se requiere posteriormente de un período de curación y maduración, este período es necesario para que la celulosa y la lignina se degraden totalmente. La aplicación de composta cruda toma nutrientes del suelo y puede dañar las plantas.

Las tasa de degradación para la obtención de un producto final estable, está controlada por un gran número de factores ambientales que están interrelacionados, incluyendo el tamaño de partícula, cantidad de nutrientes aprovechables, contenido de humedad, aeración y agitación, P.H., tamaño de la pila de composta, etc., las cuatro etapas básicas de este proceso son preparación, digestión, maduración y terminación del producto final.

La preparación generalmente involucra la separación de las fracciones orgánica e inorgánica. En la mayoría de los trabajos publicados, se supone una separación manual de los materiales inorgánicos, así como aquellos con valor comercial, junto con una separación magnética de los materiales ferrosos y una reducción de tamaño (molienda) de los materiales remanentes. Una clasificación por aire, puede ser empleada para reemplazar la separación manual. La preparación de los residuos puede reducir la adición de nutrientes, principalmente nitrógeno, para alimentar a los microorganismos y acelera la descomposición de la materia orgánica, los lodos de drenaje son frecuentemente utilizados como una fuente de nutrientes.

Una gran mayoría de equipos mecánicos se han desarrollado para incrementar la velocidad de descomposición por medio de la aeración forzada y agitación, donde el tiempo de retención es de 3 a 6 días. Estos equipos se pueden clasificar en tres grandes categorías, de la siguiente forma:

- a.- **Digestores de tambor rotatorio**, estos son básicamente la versión alargada de un pulverizador en húmedo.
- b.- **Tanques digestores**, los residuos son depositados en estos tanques, los cuales tienen una base perforada a través de la cual, se hace introducir aire, una agitación mecánica es proporcionada por brazos móviles.

- c.- *Digestores de silo, estos son graduados a los incineradores de hogar múltiple, los residuos son alimentados por la parte superior y son gradualmente movidos hacia abajo por medio de cepillos; los cuales proporcionan también la agitación y aeración.*

10.2.6 Hidrólisis.

Este proceso es especial para residuos sólidos municipales, que esten formados en su mayoría por materiales celulósicos. La celulosa se puede hidrolizar por medio de un ácido, una base o enzimas como catalizador para producir azúcar, la cual puede ser fermentada para producir alcohol etílico u otros productos, incluyendo proteínas de celula simple y ácidos de bajo peso molecular.

Los residuos municipales con gran contenido de celulosa principalmente papel y cartón, son propicios para ser procesados por medio de una hidrólisis ácida para producir etanol o por medio de una hidrólisis enzimática para producir proteínas. Esta hidrólisis enzimática ha sido desarrollada recientemente por la Universidad de California. Las características de este producto son las siguientes:

- a.- *El suministro debe ser principalmente celulósico y debe estar triturado en partículas de tamaño fino.*
- b.- *La hidrólisis se lleva a cabo a bajas temperaturas (30-60°C) en un solución con un contenido del 5 % al 10 % de sólidos. El tiempo de retención es alrededor de 48 a 64 hrs. La solución de azúcar resultante debe estar diluida (2.5 al 5 %), para prevenir la inhibición de la reacción enzimática.*
- c.- *La recuperación de las enzimas para su reutilización es difícil y se pierde una gran cantidad por absorción de la fracción no celulósica del estrato.*
- d.- *Se deben mantener condiciones estériles para la pérdida de las enzimas o azúcares.*

10.3 Selección de la alternativa de tratamiento.

Como se puede observar en el capítulo anterior, los métodos de tratamiento actualmente disponibles para los residuos sólidos municipales son:

- 1.- *Tratamientos para la reducción de volumen antes de la disposición final.*
 - a.- *Trituración.*
 - b.- *Empacado.*
 - c.- *Incineración.*
- 2.- *Recuperación de materiales.*
- 3.- *Combustible derivado de la basura (RDF).*
- 4.- *Pirólisis.*
- 5.- *Compostaje.*
- 6.- *Hidrólisis.*

10.3.1 Discriminación de alternativas.

10.3.1.1 Tratamientos para la reducción de volumen.

Con respecto a los tratamientos para la reducción de volumen, la trituración o pulverización de los residuos sólidos municipales, se considera una alternativa poco factible para su aplicación en el manejo de los residuos sólidos municipales a ser dispuestos en el sitio Ixtapaluca. Esta consideración se basa en las características de este proceso, en virtud de que se tendría que adquirir una gran planta de trituración, con un alto costo de compra, mantenimiento y consumo de energía, además las ventajas sobre la disposición final de los residuos sin ningún tipo de tratamiento son relativamente marginales, así como el impedimento para la recuperación de materiales potencialmente recuperables, aunado a la poca creación de fuentes de trabajo.

Este tipo de tratamiento crea, en forma lateral, otras grandes desventajas, como son, el impedimento de la creación de industrias recicladoras y una principal, que hace discriminar esta alternativa, es que no contribuye en forma significativa al manejo de los residuos sólidos y aún más, no logra incrementar la vida útil de los rellenos sanitarios o su incremento es insignificante.

El empaclado o embalado de los desechos, presenta las mismas desventajas de la pulverización, solo que puede contribuir a un mejor manejo en la disposición final, sin embargo, se tendría que cambiar el sistema de transferencia y operación del sitio, razones por demás para considerar como factible este tipo de tratamiento.

La incineración de los residuos sólidos municipales, como alternativa a la disposición final, es considerada como factible, en virtud de la gran reducción de volumen, que puede ser entre un 80 % y 90 % con respecto al volumen original. Esta característica es la que la convierte en una alternativa atractiva, dado que con esto se incrementa la vida útil del relleno sanitario, con ahorro en la operación y control del relleno; sin embargo, los altos costos de inversión, mantenimiento y operación, así como, la incineración de materiales potencialmente reciclables, hace que se requiera de un análisis más profundo y detallado.

10.3.1.2 Recuperación de materiales.

La recuperación de los materiales de los residuos sólidos municipales, se considera como factible, por medio de la separación manual, debido a que presenta algunas ventajas que son considerables, como lo es, la creación de una gran cantidad de empleos, se obtienen ganancias considerables por la venta de los materiales recuperados y la vida útil de los rellenos se incrementa en proporciones similares al porcentaje de los subproductos recuperados.

10.3.1.3 Combustible derivado de la basura (RDF).

Esta alternativa a la disposición final de los residuos sólidos a depositarse en el sitio Ixtapaluca, se considera como poco factible; en primer lugar, debido a que es una tecnología reciente y poco experimentada, la mayoría de las plantas existentes han experimentado diferentes problemas, como la falta de mercado para este combustible y se requiere además de varios procesos unitarios, convirtiéndolo en un proceso caro y complejo; a pesar de esto, el proceso presenta ventajas considerables, como la casi inutilización de los rellenos sanitarios, por el poco rechazo que se produce en este tipo de tratamiento cuando primero, se realiza una separación de los materiales inertes como vidrio,

lata, metales, etc., esto última, representa también una desventaja, ya que para la producción de este combustible, se requiere de un pretratamiento de los residuos.

10.3.1.4 Pirólisis.

De todas las alternativas de tratamiento para los residuos sólidos municipales, esta es una de las menos factibles de llevar a cabo, debido, a que es un proceso aún en experimentación, aunado a esto, los productos obtenidos de este proceso, ya sea, carbón, aceite pirolítico o un gas de bajo poder calorífico, resultan poco competitivos con los materiales similares existentes en el mercado y su comercialización se dificulta.

Por otra parte, este proceso requiere de un pretratamiento de los residuos, como es la separación de los materiales inertes en el caso de una pirólisis exacta y cuando se realiza una gasificación, se requiere de un relleno sanitario para disponer los materiales residuales que son elevados, ya que su reducción se da en peso y no en volumen.

10.3.1.5 Compostaje.

Esta es una de las alternativas, ambientalmente más aceptables, dado que permite integrar a la materia orgánica al ciclo natural; sin embargo, requiere de un pretratamiento de los residuos para separar los materiales inorgánicos, aunque, esto puede convertirse en una ventaja, si se considera una recuperación de materiales como la que se describió anteriormente en el inciso referente a la recuperación; de esta forma se elevarían todos los beneficios de esta recuperación manual, aunados al proceso de compostaje. Además, los requerimientos de espacio destinados al relleno sanitario donde se depositaría el rechazo, se vuelven mínimos, ya que el material de rechazo del proceso mencionado oscilaría entre un 5 % y un 10 % del volumen original a disponer.

A pesar de todas estas ventajas, esta alternativa se considera poco factible, debido a la falta de un mercado estable para la composta, problema que enfrentan la mayoría de las plantas actualmente en operación; no obstante, no hay que descartar en forma tajante esta alternativa, ya que, de encontrar mercado para el producto final de la composta, esta sería la mejor de las alternativas, desde el punto de vista ambiental, económico y social.

10.3.1.6 Hidrólisis.

Este proceso se encuentra aún en experimentación y requiere un pretratamiento de los residuos sólidos municipales, ya que está enfocado al aprovechamiento de los materiales con gran contenido de celulosa. Esta alternativa se considera como poco factible por lo antes mencionado y por que además no reduce el volumen necesario para el relleno sanitario en gran medida.

Como resultado de la discriminación de alternativas para el tratamiento de los residuos sólidos municipales, se han identificado como factibles, con base a las características y experimentación de los procesos, las siguientes tecnologías de tratamiento:

- a.- Recuperación de los materiales.
- b.- Incineración de los residuos sólidos.
- c.- Compostaje.

Por otro lado, teniendo como justificación un reporte del manejo de los residuos sólidos municipales, se presenta la Tabla 52.

TABLA 52
EXPERIENCIA DE TRATAMIENTOS EN PAISES INDUSTRIALIZADOS

PAIS	GENERACION TON/AÑO (MILLONES)	TRATAMIENTO			RELLENO SANITARIO (%)
		INCINERACION (%)	COMPOSTAJE (%)	OTROS* (%)	
USA	178.0	8.0		10.0	82.0
CANADA	16.0	6.0		1.0	93.0
DINAMARCA	2.0	32.0	4.0		64.0
SUIZA	2.5	80.0	2.0		16.0
REINO UNIDO	48.0	2.0			96.0
JAPON	41.0	72.0	1.5	2.0	4.5
FRANCIA	18.0	36.0	8.0	9.0	47.0
RFA	19.0	28.0	2.0	1.0	69.0
ESPAÑA	10.5	5.0	19.0		76.0
ITALIA	15.0	18.5	5.5	41.0	35.0

* otros: Combustible derivado de la basura y separación mecánica.

Esta tabla puede avalar en parte, la discriminación de las alternativas no contempladas como factibles.

Una vez seleccionadas las alternativas de tratamiento factibles para los residuos sólidos municipales a disponer en el sitio de Ixtapaluca y conociendo la cantidad a disponer, se presenta el análisis económico de estas alternativas.

10.3.2 Análisis económico.

10.3.2.1 Recuperación de materiales.

La estimación de las inversiones y costos de operación están basados en una planta típica de selección manual de subproductos, debido a que es mucho más conveniente la creación de empleos y la utilización extensiva de mano de obra.

Esta planta se localiza en los Estados Unidos y tiene las siguientes características:

<i>Localización:</i>	<i>High Point, NC.</i>
<i>Puesta en marcha:</i>	<i>Febrero de 1991.</i>
<i>Capacidad:</i>	<i>550 Ton/día.</i>
<i>Area ocupada:</i>	<i>32,375 m² (8 acres).</i>
<i>Area de construcción:</i>	<i>5,574 m² (60,000 ft²).</i>
<i>Costos de capital:</i>	<i>\$ 9'920,000,000 (3'200,000 USD)</i>
<i>Costos de operación:</i>	<i>\$ 32,700/ton (12 USD/ton)</i>
<i>Operación:</i>	<i>234 días/año con un turno de 8 hrs.</i>

De esta forma podemos estimar la inversión fija y los costos de operación para una planta similar pero de mayor capacidad. Este estimado se realiza para la cantidad esperada de ingreso de residuos sólidos municipales al sitio Ixtapaluca, de 4,200 ton/día.

$$I_b = I_a \times \frac{C_b^n}{C_a^n}$$

en donde:

- I_b = Inversión fija de la planta proyectada b.*
- I_a = Inversión fija de la planta conocida a.*
- C_b = Capacidad proyectada de la planta b.*
- C_a = Capacidad instalada de la planta a.*
- n = Exponente cuyo valor fluctúa entre 0.3 y 0.5, para instalaciones muy pequeñas, entre 0.6 y 0.7 para plantas promedio y entre 0.8 y 0.95 para plantas muy grandes.*

$$I_b = 3'200,000 \times \frac{4200^{(0.875)}}{550^{(0.875)}}$$

$$I_b = 18'952,904 \text{ USD} = \$ 58,920'002,400$$

la estimación de los costos de operación se realiza con respecto al porcentaje anual, derivado de la relación del costo anual de operación contra la inversión fija.

$$550 \text{ ton/día} \times 365 \text{ días} \times \$ 32,700/\text{ton} = \$ 6,564'525,000$$

$$\frac{6,564'525,000}{9,920'000,000} \times 100 = 66.17 \%$$

el costo de mantenimiento con respecto a la inversión fija, corresponde al 66.17 %. Ahora para la planta con capacidad de 4,200 ton/día, el costo de mantenimiento es:

$$\$ 58,920'002,400 \times 0.6617 = \$ 38,987'365,590$$

$$\frac{\$ 38,987,365,590}{4,200 \text{ ton} \times 365 \text{ días}} = \$ 25,432 / \text{ton.}$$

10.3.2.2 Incineración.

De la misma forma, la estimación de los costos de capital y operación para una planta incineradora de residuos sólidos, de una capacidad de 4,200 ton/día, se basan sobre una planta en operación en los Estados Unidos.

Localización:	Pinellas County, FL.
Puesta en marcha:	1983-1986 (ampliación).
Capacidad:	3,125 Ton/día.
Area ocupada:	89,031 m ² (22 acres).
Costos de capital:	73'028,000 USD
Costos de operación:	40.13 USD/ton
Operación:	365 días/año

Estimado de la inversión fija para una planta de 4,200 ton/día:

$$I_b = 73'028,000 \times \frac{4,200^{(0.875)}}{3,125^{(0.875)}}$$

$$I_b = 94'588,953 \text{ USD} = \$ 293,224'639,400$$

siguiendo el mismo criterio que para el análisis anterior, la relación porcentual del costo de operación anual con respecto a la inversión fija, corresponde al 62.68 %. El estimado de los costos de operación para una planta de 4,200 ton/día es el siguiente:

$$\frac{94,588,953 \times 0.6268}{4,200 \text{ ton} \times 365 \text{ días}} = 38,674 \text{ USD/ton.} = \$ 119,891/\text{ton}$$

10.3.2.3 Compostaje.

Siguiendo el mismo análisis, para la estimación de los costos de una planta de compostaje de 4,200 ton/día, con separación de la materia orgánica de la inorgánica, mediante procesos mecánicos, se tiene una planta en operación en los Estados Unidos con las siguientes características:

<i>Localización:</i>	<i>Buena Vista, IA.</i>
<i>Puesta en marcha:</i>	<i>Diciembre de 1990.</i>
<i>Capacidad:</i>	<i>100 Ton/día.</i>
<i>Area ocupada:</i>	<i>404,685 m² (100 acres).</i>
<i>Area de construcción:</i>	<i>1,791 m² (19,280 ft²).</i>
<i>Costos de capital:</i>	<i>1'900,000 USD</i>
<i>Costos de operación:</i>	<i>25 USD/ton</i>
<i>Operación:</i>	<i>250 días/año con un turno de 8 hrs.</i>

Estimado de la inversión fija para una planta de compostaje de 4,200 ton/día.

$$I_b = \$ 155,045'235,100$$

estimado de los costos de operación en relación con la inversión fija:

$$\frac{100 \text{ ton/día} \times 25 \text{ USD/ton} \times 365 \text{ días} \times 100}{1'900,000 \text{ USD}} = 48.03 \%$$

$$\frac{155,045'235,000 \times 0,4803}{4,200 \text{ ton} \times 365 \text{ días}} = \$ 48,577 /\text{ton.}$$

Como se puede apreciar en los tres casos los costos de operación se redujeron, esto implica una economía de escala; mientras más grande sea una planta, los costos de operación se reducen, no así la inversión fija.

10.3.3 Estimado de los ingresos para una planta de 4,200 Ton/día.

10.3.3.1 Recuperación manual de subproductos.

Tenemos en la Tabla 53, los resultados de los análisis realizados:

TABLA 53
INGRESOS POTENCIALES POR RECUPERACION DE SUBPRODUCTO

SUBPRODUCTO	% RECUPERADO	CANTIDAD (TON) ⁽¹⁾	(\$/TON)	INGRESOS POTENCIALES (\$/DIA)
CARTON	3.00	126.00	180,000	22'680,000
PAPEL	3.55	149.10	200,000	29'820,000
CUBERO ⁽²⁾	0.27	11.34		
ENV. CARTON	1.10	46.20	120,000	5'444,000
HUESO	0.31	13.02		
LATA ⁽³⁾	1.65	69.30	120,000	8'316,000
MAT. FERROSO	0.47	19.74	300,000	5'922,000
MAT. NO FERROSO ⁽⁴⁾	0.34	14.28	1'800,000	25'704,000
PLASTICO DE PELICULA	3.02	126.84	150,000	19'026,000
PLASTICO RIGIDO	1.59	66.78	200,000	13'356,000
TRAPO	1.87	78.54	200,000	15'708,000
VIDRIO COLOR	1.49	65.58	100,000	6'558,000
VIDRIO TRANSPARENTE	2.05	86.10	100,000	8'610,000
TOTAL				161'244,000

(1) Datos de la Dirección Técnica de Desechos Sólidos.

(2),(3) No se logró identificar el precio de estos subproductos.

(4) En materiales no ferrosos, se ha considerado el precio del aluminio, debido a que en la basura es un material que se puede encontrar en forma de lata.

10.3.3.2 Incineración.

La planta incineradora de Pinellas County, base para el análisis de la planta de 4,200 ton/día, tiene un sistema de recuperación de la energía calorífica en forma de energía eléctrica. Lo cual se considera para la entrada de ingresos; asimismo, las características principales de los residuos sólidos que incineran y la recuperación de energía son:

P.C.I.	= 3,500 BTU/lb = 1944.44 Kcal/kg
Humedad (materiales combustibles) = 50 %	
Vapor producido a cada 750°C y 600 psig	
Recuperación de energía eléctrica	= 505 Kw-Hr/ton.

De lo anterior, se puede inferir que la producción de energía eléctrica en la planta de incineración de 4,200 ton/día es la siguiente. En virtud de que las características de los residuos incinerados en Pinellas County, son similares a las de los desechos sólidos municipales de la Ciudad de México.

$$4,200 \text{ ton/día} \times 505 \text{ Kw-Hr/ton} = 2'121,000 \text{ Kw-Hr/día}$$

de esta producción de energía eléctrica, el 90 % puede ser vendida, ya que se estima que el 10 % sería para suministrar la energía necesaria para operar la planta. Este porcentaje es el que actualmente requiere la planta incineradora de Pinellas County. Entonces la energía eléctrica disponible para su comercialización es:

$$2'121,000 \text{ Kw-Hr/día} \times 0.90 = 1'908,900 \text{ Kw-Hr/día}$$

los ingresos potenciales por la venta de esta energía eléctrica, si se toma en cuenta que el gasto del Kw-Hr en la tarifa 01 (doméstica) para el Distrito Federal, corresponde a un costo de \$ 99.26/kw-hr; además, considerando que esta energía se vendiese o entregase a la C.F.E. para que ella la comercialize, con una ganancia del 40 %, lo cual representa solo el 60 % de los ingresos potenciales para la planta, se tiene lo siguiente:

$$1'908,900 \text{ Kw-Hr/día} \times \$ 99.26/\text{Kw-Hr} = \$ 189'477,414/\text{día}$$

$$\$ 189'477,414/\text{día} \times 0.6 = \$ 113'686,448/\text{día}$$

10.3.3.3 Composteo.

Para el análisis de los ingresos de una planta de composta, de una capacidad de 4,200 ton/día, se basa en la recuperación de subproducto, de la planta de recuperación de materiales de una capacidad de 4,200 ton/día, lo que implica los mismos ingresos potenciales por la venta de los subproductos.

$$\text{Ingresos por subproductos} = \$ 161'244,000/\text{día}$$

después de la recuperación de subproducto, se tiene que la cantidad restante de residuos para la elaboración de la composta es la siguiente:

$$4,200 \text{ ton/día} \times (0.7932) = 3,331.44 \text{ ton/día}$$

de las cuales aproximadamente el 20 % corresponde a material de rechazo o material no compostable, se tiene que el material compostable es:

$$3,331.44 \text{ ton/día} \times 0.8 = 2,665 \text{ ton/día}$$

Y la cantidad de rechazo es de: 666 ton/día. Ahora bien, de la cantidad de material compostable el 50 % se pierde en forma de humedad y gases, principalmente CO_2 , debido a la degradación de los materiales por las reacciones bioquímicas, se tiene que la obtención de composta es de:

$$2,665 \text{ ton/día} \times 0.5 = 1,327.50 \text{ ton/día}$$

Sin embargo, no se ha dado un costo a esta composta, debido a que en México no se ha identificado un mercado estable para este producto y se carece de este dato.

Nota: Los valores de los porcentajes para la elaboración de la composta, se basan en datos de trabajo de la planta industrializadora de desechos sólidos.

De todo lo anterior se genera Tabla 54, que se presenta a continuación y que nos habla de la factibilidad de selección de tratamiento para los desechos sólidos.

TABLA 54
INGRESOS POTENCIALES DE ACUERDO AL TRATAMIENTO

	ALTERNATIVAS		
	RECUPERACION	INCINERACION	COMPOSTAJE
CAPACIDAD (TON/DIA)	4,200	4,200	4,200
INVERSION REQUERIDA (\$)	58,920 X 10 ⁶	293,325 10 ⁶	155,045 X10 ⁶
COSTOS DE OPERACION (AÑO)	38,987 X10 ⁶	183,931 X10 ⁶	77,469 X10 ⁶
DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA	TOTAL	TOTAL	TOTAL
GENERACION DE DESECHOS T/D	3,331.44 ⁽¹⁾	1,050.00 ⁽²⁾	249.86 ⁽³⁾
TIPO DE TECNOLOGIA	SENCILLA	COMPLEJA	MODERADA
DISPONIBILIDAD TECNOLÓGICA	NACIONAL	EXTRANJERA	NACIONAL
INGRESOS (AÑO) ⁽⁴⁾ MILLONES	48,372	34,106	48,373

- (1) Los valores estimados por la Dirección Técnica de Desechos Sólidos, reportan un 20.68 % de recuperación.
- (2) Los procesos de incineración reducen el volumen de los residuos sólidos entre un 80 % a un 90 % y en peso entre un 70 % a un 80 %.
- (3) Los procesos de composteo de residuos sólidos municipales producen un rechazo que oscila entre un 5 % a un 10 %, después de la recuperación de materiales.
- (4) Se ha considerado que estas plantas trabajan 300 días/año y tres turnos/día.

Finalmente podemos estimar que la alternativa de tratamiento más factible de ser adoptada, es la recuperación manual de subproductos; sin embargo, la recuperación de la inversión se amortizará en más de 6 años. Asimismo, se tendría un rechazo que necesariamente requeriría un sitio de disposición final, aunque esto no es privativo de este tratamiento, sino de cualquier tipo de tratamiento.

10.4 Fuentes de financiamiento.

Como se puede apreciar del análisis económico, la alternativa de tratamiento más factible es la recuperación de materiales, sin embargo, el monto de la inversión que se tiene que erogar para la construcción de la planta, amado a los costos del capital de trabajo son considerablemente altos.

Por tal motivo, se requerirá de una fuente de financiamiento, aunque los ingresos por la comercialización de los subproductos permita tener un panorama halagador y esperar que la recuperación de la inversión se logre alcanzar en un poco más de 6 años; sin embargo, con los costos de financiamiento, esto se puede ir más allá y todo dependerá, del tipo y fuente de financiamiento.

Dentro de México, existe como fuente de financiamiento para este tipo de obras Banobras, pero debido a la diversidad de ventanillas y a los largos trámites es poco recomendable; asimismo, existen fuentes de financiamiento externo, como lo es, el Banco Mundial, el cual puede otorgar créditos blancos para este tipo de procesos o aquellos que estén relacionados con la Ecología.

10.5 Localización de la planta de tratamiento.

En general, la localización de una planta industrial está basada en dos principios fundamentales, la fuente de origen de la materia prima y el mercado de consumo, además de la disponibilidad de todos los servicios y mano de obra; sin embargo, para la localización de una planta de tratamiento de residuos sólidos, esto puede ser un tanto relativo, debido a que hay que considerar casi siempre un sitio de disposición final para el rechazo que siempre existirá en cualquier tratamiento.

De tal forma que se presenta a continuación un diagrama esquemático del comportamiento de la localización de una planta industrial y su similitud con la localización de una planta de tratamiento.



Como podemos apreciar, para que cualquier planta sea rentable económicamente, esta debe considerar o tomar muy en cuenta el costo de transportación y más cuando se trata de manejar grandes volúmenes o cantidades de materiales. Ahora bien, dado que se ha planteado como una alternativa factible de tratamiento, la recuperación

manera de subproductos, se plantean las siguientes consideraciones base para determinar la localización idónea de la planta.

- a.- La venta de subproductos. Se puede concertar que sean vendidos en planta, debidamente empacados o embalados, aunque su precio puede disminuir.
- b.- La fuente de generación de residuos sólidos. Generalmente es toda una población, municipio o ciudad y muchas veces se tienen estaciones de transferencia, con lo cual, los vehículos de transferencia realizan diversos recorridos para llegar a un sitio de disposición final. (relleno sanitario).
- c.- Todos los vehículos recolectores o transferencias deben confluir en la planta a pesar de sus diferentes trayectorias, ya sea un sitio de disposición final o una planta de tratamiento. En virtud de esto, se considera que la localización de una planta de tratamiento de residuos sólidos debe estar lo más cerca posible de un relleno sanitario o sitio de disposición final. No obstante, para llevar su localización precisa, se deben contemplar todos los aspectos considerados en la localización de cualquier planta, como son: disponibilidad de mano de obra, facilidad de transporte, disponibilidad de energía eléctrica y combustibles, fuentes de suministro de agua, disposiciones legales, fiscales o de política económica; servicios públicos, condiciones climatológicas, actitud de la comunidad y consideraciones ambientales.

Con respecto a todo lo visto anteriormente, es una obligación para nosotros, recomendar la realización de un estudio de factibilidad técnico-económica que permita una mayor claridad a todos estos aspectos, esto es llevar desde un estudio de mercado, selección de la tecnología, hasta el tipo de organización de la planta. Asimismo, se recomienda a pesar del estudio de factibilidad, la instalación de una planta a nivel piloto, la cual permitirá definir y comprobar todas las bondades de este tipo de proceso; así como, sus ventajas y desventajas tanto técnicas como políticas, económicas, sociales y ambientales, además puede ser instalada y cambiada cerca de cualquier sitio de disposición final.

Esta planta a nivel piloto, puede ser diseñada y construida totalmente en México, debido a que todos los equipos necesarios para el proceso ya son fabricados en México y se tiene experiencia en su funcionamiento.

Esta planta a nivel piloto estará conformada por los siguientes equipos:

EQUIPO	CANTIDAD
TRANSPORTADOR DE TABLILLAS(ALIMENTADOR)	1
TRANSPORTADOR DE BANDA	1
SEPARADOR MAGNETICO	1
TRANSPORTADOR VIBRATORIO	1
TRANSPORTADOR DE BANDA (SELECCION)	3

Se tendrán los siguientes ingresos potenciales para la planta piloto de 12 ton/día.

SUBPRODUCTO	% RECUPERADO	CANTIDAD (KG)	(\$/KG)	INGRESOS POTENCIALES (\$/DIA)
CARTON	3.00	360.0	180	64,800
PAPEL	3.55	426.0	200	85,200
ENV. CARTON	1.10	132.0	120	15,840
LATA	1.65	198.0	120	23,760
MAT. FERRRROSO	0.47	56.4	300	16,920
MAT. NO FERROSO	0.34	40.8	1,800	73,440
PLASTICO DE PELICULA	3.02	362.4	150	54,360
PLASTICO RIGIDO	1.59	190.8	200	38,160
TRAPO	1.87	224.4	200	44,880
VIDRIO COLOR	1.49	178.8	100	17,880
VIDRIO TRANSPARENTE	2.05	246.0	100	24,600
TOTAL				459,840

Como resumen una planta de este tipo para 12 ton/día, presenta las siguientes características:

CAPACIDAD	12 TON/DIA
INVERSION APROXIMADA	\$ 2,148,024,000.00
COSTOS DE OPERACION	\$ 86,400/TON
INGRESOS POTENCIALES	\$ 459,840.00/DIA

11. GERENCIAMIENTO.

La operación, control y mantenimiento del centro de aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos de Ixtapaluca, requiere de una plantilla de personal perfectamente estructurada y bien definida en cuanto a sus funciones, de manera tal que las actividades que diariamente deban efectuarse, se hagan de manera eficiente, con lo cual dicho sitio operará conforme a lo planeado. A continuación se presenta la descripción tanto de los puestos como de las funciones asignadas a cada uno de ellos, correspondientes al cuerpo de personal que se consideró como el mínimo necesario para la operación del centro Ixtapaluca.

11.1 Residente general.

11.1.1 Actividad.

El ocupante de este puesto, deberá ser preferentemente un Ingeniero o un Técnico especializado en el campo en cuestión y que tendrá la misión de planear, dirigir, supervisar y corregir las diferentes operaciones o actividades para el buen funcionamiento, conservación, mantenimiento, conclusión y clausura del sitio de disposición final. Así mismo, estará bajo su cargo y responsabilidad la coordinación de las actividades de tipo técnico-administrativo, como son las de concentrar la información y elaborar informes semanales para el Jefe Inmediato, además de acatar y cumplir con las ordenes que este último emita.

11.1.2 Funciones.

El residente general, es el principal responsable de la buena o mala operación del sitio, debiendo formular por tanto, su planeación y programación, así como vigilar su comportamiento y controlar su avance; con base principalmente en la calendarización de la obra propuesta en el proyecto.

Deberá informar a su Jefe inmediato, de todos los avances que se vayan logrando conforme a lo planeado y establecido en la calendarización; así como llevar un control del costo real de la tonelada de basura que en promedio se dispone diariamente, de manera tal que pueda dar tal información, cuando le sea solicitada por sus superiores; será el encargado también de reportar los resultados que tenga la planta de recuperación de subproducto, señalando la cantidad de cada subproducto recuperado en función del tiempo y de tonelada de desechos sólidos tratados con esta tecnología y sin olvidar que será la persona más indicada para establecer los horarios de funcionamiento del sitio.

En coordinación con el Jefe de Operación y Construcción y en segunda instancia con los operadores de la maquinaria, establecerá al menos semanalmente y si es posible en forma diaria, el o los frentes de trabajo para la operación del relleno sanitario, de acuerdo con el plan operativo y la calendarización previamente establecida en el proyecto ejecutivo de la obra. No deberá olvidar, que se tratará de aprovechar al máximo, la cantidad de tierra destinada a emplearse como material de cubierta para el relleno. De la misma forma reportará los problemas o inconvenientes y en general los resultados de la recuperación de materiales.

Solicitará a su Jefe inmediato los suministros de combustible, aceites, grasas y refacciones que necesite la maquinaria, así como los equipos especiales y los materiales requeridos para el buen mantenimiento y conservación

del centro a su cargo. Además, también deberá solicitar con cierta anticipación, las revisiones periódicas, servicios y composuras de tipo mayor que requiera la maquinaria, cuando estas le sean requeridas por el operador mismo, a través del Jefe de Operación y Construcción.

Solicitará a sus superiores y proporcionará a sus subordinados y colaboradores en el trabajo diario, los implementos requeridos tanto para el trabajo como para su protección personal, así como los materiales que se consideren necesarios, para cumplir en forma adecuada con sus actividades diarias.

Será el responsable de la coordinación de todas las áreas y pedirá a los jefes de estas, un reporte cuando menos semanal de las actividades dentro de cada una de las diferentes áreas.

11.2 Secretaria del Residente general.

11.2.1 Actividad.

Es la empleada encargada de reproducir en máquina, con buena ortografía y limpieza, escritos, cartas y otro tipo de documentos. Maneja su archivo mediante registros y debe realizar además todas aquellas labores propias de una oficina, como son, por ejemplo, las de recepción, registro y entrega de documentos.

11.2.2 Funciones.

Esta empleada se ubicará en las oficinas del Residente general, para brindarle todo su apoyo en cuestiones de tipo administrativo, además de ser la encargada de archivar todos los documentos relativos al costo, funcionamiento, información técnica y administrativa del sitio; así como, contestar toda la correspondencia referente a las actividades propias que se llevarán a cabo diariamente, con relación al control, operación y mantenimiento.

11.3 Jefe de Operación y Construcción.

11.3.1 Actividad.

Este trabajador que es el responsable directo del buen funcionamiento del centro de aprovechamiento y disposición final, controlará las entradas y salidas de materiales, producto, mercancías u otros artículos que se manejan en la bodega o almacén, del cual es responsable. Vigila el orden dentro del establecimiento, supervisa o recibe las refacciones y los materiales solicitados, mediante la documentación establecida; lleva registros, listas y archivos de los movimientos ejecutados diariamente; hace reportes y relaciones de materiales faltantes. Puede formular pedidos de materiales, refacciones y combustibles, además de solicitar las reparaciones que requieran los equipos mecánicos de la planta de recuperación o del relleno sanitario.

11.3.2 Funciones.

Se puede decir que este empleado es el brazo derecho del Residente general, en lo que se refiere al control de la recuperación de subproducto y a la operación y construcción del relleno sanitario; porque cualquier otra persona que labore dentro de estos rubros en las instalaciones del sitio, estará bajo su mando.

Tendrá a su cargo el establecimiento de los frentes de trabajo, jornadas de trabajo, actividad de los equipos de construcción, recuperación y operación, checando que estos se encuentren siempre en buenas condiciones; trabajando en conjunto con el Jefe de Control, establecerá las modificaciones necesarias en el campo, de acuerdo a las situaciones particulares que se presenten en el sitio para dar seguimiento al proyecto de operación y construcción, así como para la recuperación de subproducto.

Elaborará informes semanales de las actividades desarrolladas, señalando inventarios de materiales, subproducto recuperado y maquinaria, así como avances de acuerdo a la calendarización del relleno.

A través de este trabajador se hará la petición de los suministros necesarios para el correcto funcionamiento del centro de aprovechamiento y disposición final.

Será el jefe inmediato de operadores, seleccionadores, mecanico, almacenista, acomodadores y la secretaria de la jefatura.

11.4 Operadores de maquinaria.

11.4.1 Actividad.

Son los trabajadores que operarán la maquinaria pesada para la correcta construcción y operación del relleno sanitario y se encontrarán dentro de este grupo los choferes de los camiones de volteo y un chofer asignado a la residencia general. Revisan el funcionamiento del equipo y serán los encargados de realizar actividades de desmonte, excavación de canales, afine de superficie y taludes, preparación y nivelación de terrenos, acarreos; así como cumplir con las actividades propias para la disposición final de los residuos mediante el método del relleno sanitario como son: su esparcimiento, acomodo y compactación, sin faltar el esparcido, distribución y compactación del material de cubierta del relleno. Podrán realizar algunas reparaciones sencillas a la maquinaria, o bien, cuando el caso así lo amerite, solicitarán al Residente del Relleno Sanitario, a través del Jefe de Operación y Construcción, las reparaciones que requiera dicha maquinaria para su correcto funcionamiento.

11.4.2 Funciones.

Estos trabajadores son parte fundamental en la operación del relleno sanitario, inicialmente realizarán la preparación de la base de desplante del relleno, conforme a los niveles indicados en el proyecto ejecutivo, ya sea excavando, afinando, extendiendo o compactando la zona destinada al relleno, empleando el equipo mecánico recomendado para tal fin, como se indica en el manual de operación.

Una vez que les sea señalado el frente de trabajo por parte del Jefe de Operación y Construcción procederán a realizar la compactación de los residuos sólidos depositados por los vehículos recolectores, previo esparcimiento de los mismos, pasando con la maquinaria pesada sobre ellos de tres a cuatro veces, sobre el talud inclinado.

Finalmente deberán extender y compactar sobre la celda formada con la basura de un día, el material de cubierta tanto en los taludes como en el respaldo, empleando tierra producto de la excavación, cuidando de aprovecharla al máximo. Esta operación se debe realizar diariamente. El operador podrá retirarse, hasta que haya dejado perfectamente cubierta la celda del día.

Dentro del relleno sanitario se tendrán ocho operadores y siete choferes.

11.5 Seleccionadores.

11.5.1 Actividad.

Son los trabajadores que operarán la planta de recuperación de subproducto y no se requerirá para estos puestos una mano de obra calificada, aquí se podrá crear una buena fuente de trabajo para trabajadores no calificados de la zona. La actividad que desarrollarán será la de separar los subproductos factibles de reciclar, estarán bajo las órdenes del Jefe de Operación y Construcción.

Se nombrará un jefe de unidad con el mismo trabajo de los demás, pero que funcionará como coordinador del grupo y reportará cualquier anomalía o desperfecto que pudiera presentarse durante el proceso de separación.

11.5.2 Funciones.

La función fundamental de estos trabajadores será el seleccionar a partir de los desechos sólidos que circulen por las bandas de la planta seleccionadora, los materiales que les sean indicados y depositarlos dentro de los contenedores destinados a cada uno de los tipos de subproducto a recuperar.

11.6 Mecánico.

11.6.1 Actividad.

Es el trabajador que ejecuta labores de lubricación, limpieza y mantenimiento de las partes móviles del equipo mecánico destinado a la operación del relleno; lava el motor, revisa los niveles de combustibles en el carter, en la caja de velocidades y en la transmisión, reponiendo el faltante o cambiándolo. Además, según las indicaciones del operador, lubricará las partes provistas de graseras. Se auxiliará para cumplir con su función, con herramientas propias del oficio. Tendrá también como responsabilidad el mantenimiento y limpieza de las partes mecánicas de la planta de recuperación.

11.6.2 Funciones.

Dentro de la operación del relleno sanitario, este trabajador ayuda al operador a llenar el tanque del combustible; a levantar, inclinar o nivelar la hoja topadora; además será el responsable del correcto funcionamiento de todos los equipos, deberá reportar inventario de refacciones y combustible al Jefe de Operación y Construcción señalando faltantes de acuerdo a las necesidades mismas del correcto funcionamiento de la maquinaria y de la planta recuperadora. Se tendrán dos mecánicos dentro del relleno.

11.7 Almacenista.

11.7.1 Actividad.

Es el trabajador encargado de llevar los registros de los materiales, refacciones e insumos necesarios para la correcta construcción y operación del relleno sanitario y funcionamiento de la planta de recuperación. Deberá

conocer las necesidades de suministro, así como realizar los inventarios mensuales de materiales, refacciones, combustibles y todo lo necesario.

11.7.2 Funciones.

Estará en contacto directo con el mecánico y operadores para proveer a estos de las refacciones y combustibles necesarios para el correcto funcionamiento de la maquinaria.

LLevará un control de las entradas y salidas de material para permitir en cualquier momento el que sean checadas las existencias dentro del almacén.

A través de este trabajador se hará la petición de los suministros necesarios para el correcto funcionamiento del centro de aprovechamiento y disposición final.

11.8 Acomodadores.

11.8.1 Actividad.

Es el trabajador encargado, de acuerdo a las instrucciones del Jefe de Operación y Construcción, de señalar a los choferes de los camiones recolectores y de volteo, el sitio exacto (no muy lejos del frente de trabajo o en el área de selección de subproducto), en donde deben descargar los residuos sólidos o el material de cubierta según sea el caso, de manera tal que no se tengan que realizar demasiados movimientos con la maquinaria pesada, para el cumplimiento del trabajo asignado.

11.8.2 Funciones.

Dentro de la operación del sitio Ixtapaluca, este trabajador ayuda al operador a levantar, inclinar o nivelar la hoja topadora; además acomodará con un rastrillo ciertos materiales voluminosos para su adecuada compactación; limpiará las orugas o dientes de la maquinaria pesada y ayudará a colocar las cadenas para remolcar aquellos camiones que se atasquen en el área de trabajo, de igual manera participará en la selección de material cuidando que los desechos sólidos no se esparzan al ser descargados e indicará el modulo en turno para recibir desechos sólidos.

Existirán dos personas encargadas de estos trabajos con la maquinaria pesada y dos para la recuperación.

11.9 Secretaria del Jefe de Operación y Construcción.

11.9.1 Actividad.

Es la empleada encargada de reproducir en máquina, con buena ortografía y limpieza, escritos, cartas y otro tipo de documentos. Maneja su archivo mediante registros y debe realizar además todas aquellas labores propias de una oficina, como son, por ejemplo, las de recepción, registro y entrega de documentos.

11.9.2 Funciones.

Esta empleada será la encargada de archivar todos los documentos relativos a la construcción y operación del sitio; así como contestar toda la correspondencia referente a las actividades propias que se llevarán a cabo diariamente, con relación a las actividades de la jefatura.

11.10 Jefe de control.

11.10.1 Actividad.

Este trabajador es el responsable directo del control en el funcionamiento del sitio, vigila el acceso de los desechos tanto en cantidad como en calidad, está encargado de los procesos de monitoreo del relleno y es el encargado de tomar las medidas correctivas o de mitigación de efectos impactantes al medio ambiente, tendrá a su cargo la oficina de topografía que cuidará el trazo y avance de los trabajos de acuerdo al proyecto ejecutivo.

11.10.2 Funciones.

Deberá reportar las fallas de la báscula al Residente General y le informará diariamente sobre la cantidad de residuos sólidos que se hayan recibido, llevando un control sobre cada viaje y camión recolector. Además deberá supervisar cuando sus demás actividades así se lo permitan, el pesaje de los vehículos recolectores; actividad de la cual será responsable, el basculista del relleno sanitario.

Elaborará informes semanales de las actividades desarrolladas, señalando a partir de los monitoreos, la situación que guarda el relleno con respecto a la generación de lixiviado, biogas y cualquier efecto que pueda traer problemas. Elaborará reportes sobre la cantidad de subproducto recuperado y el destino final o comercialización del mismo.

Tendrá bajo su cargo al encargado del monitoreo, a los basculistas, a los encargados de casetas, a los jefes de grupo, al topógrafo y a la secretaria de la jefatura.

Al ser el responsable del monitoreo, su actividad se prolongará hasta diez años posteriores a la clausura del sitio junto con el encargado.

11.11 Encargado de control ambiental.

11.11.1 Actividad.

Será el responsable directo de los monitoreos en el sitio acatando el programa de monitoreo señalado en el proyecto cuidando siempre que los efectos del relleno sanitario no afecten al medio ambiente.

11.11.2 Funciones.

Llevará registros de todas y cada una de las pruebas de monitoreo, entregando los reportes al Residente General y señalando la congruencia de los resultados obtenidos con los esperados e indicando las medidas a tomar para corregir las desviaciones significativas.

11.12 Encargado de caseta.

11.12.1 Actividad.

Es la persona encargada de llevar un control de los vehículos que ingresen al sitio, así como de las salidas de estos. Realiza las labores de vigilancia durante el día, controla las entradas y salidas de materiales, productos, mercancías u otros artículos que se manejan en las instalaciones dentro de las horas de trabajo normal; así mismo, cierra y abre la puerta de acceso al sitio, lleva registros y listas de los movimientos ejecutados diariamente y al terminar su jornada rinde un informe de las irregularidades observadas al Jefe de Control; cumpliendo también labores de vigilancia dentro y fuera del sitio, para evitar el tiro clandestino y/o indiscriminado de basura, en zonas donde no deba hacerse.

Para poder desarrollar este trabajo efectivamente, es necesario contar con dos personas, una que controle el acceso y otra la salida, tratando de abarcar el horario asignado a la operación del sitio.

11.12.2 Funciones.

Deberán permanecer en la caseta asignada a esta función (de vigilancia). Su actividad es la de abrir y cerrar las puertas de acceso a los camiones recolectores, permitiendo el paso a los que transporten únicamente residuos sólidos de los considerados como municipales.

Solamente permitirá el paso de personas ajenas a la operación del sitio, cuando presenten una autorización por parte del Residente General, o de algún otro Jefe Superior.

No permitirá la descarga de residuos sólidos de manera indiscriminada dentro de las instalaciones ni en sus alrededores, por parte de los choferes de los camiones; indicándoles además, los sitios donde se localizan los frentes de trabajo para que en ellos según indicaciones del acomodador depositen la basura que transportan en el sitio correspondiente ya sea recuperación o al relleno sanitario.

11.13 Encargado de Báscula.

11.13.1 Actividad.

Será el encargado de cumplir con la función del pesaje de todo vehículo que penetre en las instalaciones, que transporte residuos sólidos.

11.13.2 Funciones.

Es la persona encargada de pesar todos los vehículos que ingresen al sitio; para el presente proyecto se contará con dos básculas, una en el acceso y otra en la salida, por esta razón deberán existir dos encargados de las básculas. Deberán llevar un control de los vehículos que ingresen, señalando matrícula del vehículo, peso lleno, peso vacío, características del vehículo y procedencia. Deberán entregar un reporte diario de su actividad.

11.14 Encargado de Topografía.

11.14.1 Actividad.

Es el encargado de dar trazo para la celda diaria y llevar un control de los niveles de proyecto. Verificará tanto los niveles de excavación como de las capas impermeables checando pendientes y puntos de referencia.

11.14.2 Funciones.

Llevará un registro del avance de los trabajos, señalando pendientes, niveles y puntos de referencia. Será el encargado de definir a los operadores, los puntos que referencien la celda diaria, taludes de proyecto, niveles del material de cubierta, trazo de caminos y canales de desvío. Habrá dos personas realizando esta actividad.

11.15 Secretaria del Jefe de Control.

11.15.1 Actividad.

Es la empleada encargada de reproducir en máquina, con buena ortografía y limpieza, escritos, cartas y otro tipo de documentos. Maneja su archivo mediante registros y debe realizar además todas aquellas labores propias de una oficina, como son, por ejemplo, las de recepción, registro y entrega de documentos.

11.15.2 Funciones.

Esta empleada será la encargada de archivar todos los documentos relativos al control; así como contestar toda la correspondencia referente a las actividades propias que se llevarán a cabo diariamente, con relación a las actividades de la jefatura.

11.16 Jefe Administrativo.

11.16.1 Actividad.

Este trabajador es el responsable directo del control administrativo en el funcionamiento del centro de aprovechamiento y disposición final, vigila los costos de operación, selección, construcción, control y en general todas las actividades relacionadas con la disposición final.

11.16.2 Funciones.

Deberá llevar registros de los costos para poder definir el costo por tonelada de desecho dispuesta en el sitio. Controlará, desde el punto de vista administrativo, todas las actividades dentro del sitio. Elaborará reportes mensuales informativos de la situación financiera señalando ingresos y egresos, así como el balance correspondiente. Tendrá bajo su cargo al Jefe de Personal, al Jefe de Contabilidad, la secretaria de la jefatura y dependerán de él, el velador y checkador.

11.17 Jefe de Personal.

11.17.1 Actividad.

Será la persona encargada de la selección del personal que laborará en el sitio, recabando toda la información necesaria para cada uno de los trabajadores. Será responsable de los pagos a los trabajadores y personal en general. Será también el jefe de compras de insumos y materiales necesarios.

11.17.2 Funciones.

También tendrá a su cargo todos los trámites administrativos del personal que trabaja en la operación del centro de aprovechamiento y disposición final, tales como: control de las tarjetas de asistencia, establecimiento de jornadas de trabajo, supervisión de los horarios de personal y roles de trabajo, etc., llevará un expediente para cada uno de los trabajadores concentrando en ellos toda la información referente a los mismos.

11.18 Jefe de Contabilidad.

11.18.1 Actividad.

Es la persona encargada de llevar los registros contables relacionados con la operación. Llevará los libros que marca la ley para el control de las actividades. En caso de que la operación sea a través de una empresa privada, será el responsable de las declaraciones fiscales reglamentarias.

11.18.2 Funciones.

Elaborar las declaraciones correspondientes ocasionadas por la actividad desarrollada. Presentará informes mensuales de su actividad al Residente General.

Llevará registros contables a través de polizas de los ingresos y egresos ocasionados.

11.19 Secretaria del Jefe Administrativo.

11.19.1 Actividad.

Es la empleada encargada de reproducir en máquina, con buena ortografía y limpieza, escritos, cartas y otro tipo de documentos. Maneja su archivo mediante registros y debe realizar además todas aquellas labores propias de una oficina, como son, por ejemplo, las de recepción, registro y entrega de documentos.

11.19.2 Funciones.

Esta empleada será la encargada de archivar todos los documentos relativos a la administración; así como contestar toda la correspondencia referente a las actividades propias que se llevarán a cabo diariamente, con relación

a las actividades de la jefatura. Funcionará para la jefatura en general, es decir, apoyará a las áreas de personal y contabilidad.

11.20 Velador del Relleno Sanitario.

11.20.1 Actividad.

Es el trabajador que realiza las labores de vigilancia durante la noche. Recorre las diferentes áreas del sitio para detectar irregularidades y evitar el tiro clandestino de basura en sitios donde no se deba hacer, vigila al personal que entra y sale del sitio después de las horas de trabajo normal, cierra puertas, y al término de su jornada, rinde un informe de su trabajo al Jefe de Control.

11.20.2 Funciones.

La función de este trabajador dentro de la operación, será únicamente la de reportar los vehículos particulares que descarguen sus residuos sólidos en las áreas próximas, cuando no pueda prohibir tal irregularidad.

No permitirá el acceso al sitio, a ninguna persona ajena a la operación, ni tampoco a ningún vehículo que transporte basura durante las horas de no operación.

11.21 Checador.

11.21.1 Actividad.

Es la persona encargada de controlar los horarios y asistencias de los trabajadores, tendrá también funciones de vigilancia con el fin de evitar ingresos clandestinos al sitio.

11.21.2 Funciones.

Llevará un control diario de la asistencia y puntualidad de los trabajadores, presentando su informe al término de la jornada de trabajo al Jefe Administrativo. Realizará un recorrido cuando menos una vez a la semana a lo largo de la cerca de protección para reportar cualquier daño que esta pudiera presentar.

Para el total de la plantilla se considerará un costo mensual de aproximadamente \$ 125'000,000.00 lo que representa para la vida útil del sitio, un monto de \$ 57,500,000,000.00.

- b) *Con el sistema de impermeabilización propuesto, se garantiza casi en un 100% la no contaminación del acuífero.*
- c) *El proyecto es viable totalmente desde el punto de vista ambiental.*

2.2 RECOMENDACIONES

- a) *Es necesario mantener observación constante del programa de clausura y postclausura del sitio para evitar cualquier posible contaminación.*
- b) *Es recomendable la perforación de dos pozos profundos, uno aguas arriba del sitio y el segundo aguas abajo; con el fin de monitorear la calidad del agua en el acuífero y detectar cualquier posible percolación de lixiviado al mismo; aunque, de acuerdo con los análisis realizados y el sistema de impermeabilización propuesto, esto tiene poca probabilidad de suceder.*
- c) *Relacionado con el punto anterior se recomienda el monitoreo constante de las fosas de lixiviado para evitar acumulación excesiva de contaminante en las mismas. A partir de esta observación se podrá generar un programa de bombeo de lixiviado.*
- d) *Es necesario verificar el funcionamiento de los pozos de extracción de biogás para evitar algún problema de explosividad o incendio.*

CONCLUSIONES GENERALES

Es necesario mencionar que el proyecto no se ha realizado hasta el momento básicamente por razones políticas, ya que el Estado de México, no quiere aceptar desechos provenientes del Distrito Federal; sin embargo la solución de diseño planteada cumple con cualquier norma y restricción posible en la implementación de un sitio de disposición final.

El estudio puede servir como base o referencia para la realización de nuevos proyectos de este tipo, señalando que las condiciones de topografía, geología, hidrogeología y clima de cada sitio determinarán las condiciones específicas de proyecto; sin embargo, el diseño de celda diaria, la selección de maquinaria, el proceso constructivo, el diseño de desvío de agua superficial, el diseño de fosas de lixiviado, el diseño de pozos de extracción de biogás y el diseño de caminos pueden servir de guía para futuros proyectos similares.

En México el desarrollo de los sistemas de aprovechamiento de los residuos sólidos se encuentra muy por abajo del de los países desarrollados; sin embargo, el estudio de las alternativas de tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos, puede llevarnos a mediano plazo a minimizar el problema de la disposición final. Todo esto lleva a una educación a nivel familiar de la selección de desechos a partir de la fuente de origen para hacer más eficiente el proceso.

En la actualidad se hacen experimentos a nivel piloto para acelerar la estabilización de los residuos sólidos municipales, con el fin de tener una reutilización constante de los sitios de disposición final, ya que, dentro del Valle de México se han encontrado muchos obstáculos para la implementación de estos sitios.

Es necesario mencionar que no es alcance del proyecto, el determinar el costo de esta obra; sin embargo, se mencionan algunos valores dentro del estudio; los cuales, se refieren en pesos. Para efectos de actualización, se dividirá entre mil para obtener nuevos pesos en las referencias mencionadas.

Finalmente, el proyecto es una guía para el diseño de sitios de disposición final bajo el sistema de relleno sanitario en cualquier sitio con las observaciones específicas mencionadas con anterioridad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez concluido el diseño del Centro de Aprovechamiento y Disposición Final de Ixtapalca, se pueden establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1.- Desde el punto de vista ingenieril:

1.1 CONCLUSIONES

- a) *El sitio cumple con los requerimientos de vida útil necesarios para establecer un relleno sanitario.*
- b) *Las obras de control del escurrimiento superficial, caminos, impermeabilización del sitio, control de lixiviados, pozos de extracción de lixiviado, pozos de extracción de biogás y obras menores, tienen el diseño adecuado para garantizar el correcto funcionamiento y operación del sitio. Se han tomado en cuenta dentro del diseño todas las posibles circunstancias que puedan ocasionar daños al ambiente (contaminación de aire, suelo y agua) y se incluyen las protecciones que resultan del análisis de todas y cada una de estas situaciones.*
- c) *Se considera como una buena opción el implantar sitios de disposición final en lugares destinados a la explotación de bancos de material; siempre y cuando, estos sitios cumplan con las limitantes mínimas enumeradas dentro del estudio para la selección de sitios; ya que esto puede abaratar los costos de construcción del sitio.*
- d) *Desde el punto de vista de suministro de material para base impermeable, cubierta diaria, final y caminos de acceso, el sitio es altamente favorable, ya que ofrece poder cubrir totalmente esta necesidad.*
- e) *Se concluye finalmente que el proyecto es una opción satisfactoria para la disposición final de los residuos sólidos generados por la población involucrada dentro del estudio.*

1.2 RECOMENDACIONES

- a) *Es necesario, en este tipo de obras, mantener el control del tipo de residuos a disponer para evitar daños a los sistemas de protección que fueron diseñados para desechos sólidos municipales.*
- b) *Es necesario tener un programa de control del mantenimiento tanto de los equipos involucrados en la construcción y operación, como de las obras de ingeniería; para garantizar que el sitio opere en forma correcta.*
- c) *Se recomienda la realización de algunos estudios complementarios como son:*
 - *Aprovechamiento del biogás. Estudiar la posibilidad de obtener energía o combustible a partir del biogás que se genera dentro del relleno sanitario.*
 - *Tratamiento del lixiviado. Realizar estudios de tratabilidad para encontrar el proceso probablemente físico-químico más adecuado para la descontaminación del lixiviado.*
- d) *Es recomendable el iniciar la producción de composta al mismo tiempo que se inicie la operación del sitio; esto puede optimizar el aprovechamiento de los residuos orgánicos y da la posibilidad de extender la vida útil del sitio de disposición final, generando además un ingreso, al poder comercializar la composta.*

2.- Desde el punto de vista ambiental.

2.1 CONCLUSIONES

- a) *Se ha tomado en cuenta dentro del diseño, la realización de las obras necesarias para la mitigación de los impactos al ambiente generados por este tipo de proyectos.*

12. BIBLIOGRAFIA

- 1.- **SEDUE**.
Manual de Rellenos Sanitarios.
(s/f)
- 2.- **Corbitt, R.A.**
Standar Handbook of Environmental Engineering.
McGraw-Hill
1990
- 3.- **Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Ellassen, R.**
Solid Wastes engineering principles and management issues.
1977.
- 4.- **Pavoni, S.; Herr, J.; Hagerty, J.**
Handbook of Solid Waste Disposal Materials and Energy and Recovery.
John Wiley and Sons. N.Y.
1975
- 5.- **The Pinellas County Planning Department.**
The Solid Waste and Resource Recovery Element of Pinellas County's General Plan and Element of the Comprehensive Plan of Pinellas County.
Department of Natural Resources.
1986
- 6.- **D.D.F.**
Estudio de Factibilidad para el Ordenamiento de la Disposición Final de los Residuos Sólidos.
1991
- 7.- **Durcey, S.**
Waste to Energy: Market Update.
World Wastes.
1987
- 8.- **García, E.**
Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen.
Instituto de Ingeniería, UNAM.
1988
- 9.- **Johnson, B.**
Oregon Incinerator Offsets Dwindling Landfill Capacity.
World Wastes.
1987
- 10.- **Buchholz, J.**
Waste to Energy: Analyzing the Market.
World Wastes.
1986